



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

ANÁLISIS TÉCNICO DE LA ALBAÑILERÍA DE ECO-LADRILLOS

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Técnico Universitario en Construcción

Alumno:

Diego Andrés Urzúa Contreras

Profesor Guía:

Ing. Emilio Cesar Guerra Urbina

2019

DEDICATORIA

A Dios, quién por su gracia me llamo en Jesucristo, a ser su hijo. A mis padres, Ricardo y Marisol, quienes a lo largo de mi vida se han esforzado por darme la oportunidad de ser quién soy ahora. A mi hermana Dayann por apoyarme incondicionalmente. Y a todas las personas que me acompañaron en este proceso. ¡A Dios sea la Gloria!

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor guía don Emilio Guerra Urbina, por toda su cooperación y ayuda incondicional.

Al departamento de construcción, que financiaron la compra de materiales para el desarrollo de la presente investigación y cada uno de los profesores que me acompañaron en el transcurso de mi carrera.

A don Tomás Pacheco y Paul Gálvez, por su apoyo en la realización de los ensayos en Casa Central.

A Bastián Villagrán y Karina Chacana quienes fueron de gran inspiración para la realización de este trabajo.

A Juan Pablo Gavilán y Geovanne Gallardo por los ensayos realizados en sus memorias de título, los que fueron de gran ayuda para el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos Hugo y Kim quienes me ayudaron en la fabricación de eco-ladrillos y la construcción de muretes.

Al apoyo docente del taller de construcción, Enrique Apablaza y Esteban Atenas.

A Ecosansano por los eco-ladrillos donados.

Y a todas aquellas personas que, con valiosos consejos, con aportes y paciencia, contribuyeron al desarrollo de mi Trabajo de Título.

Sinceramente, Diego Urzúa Contreras.

RESUMEN EJECUTIVO

KEYWORDS: ECO-LADRILLOS - CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE – ALBAÑILERÍA – PET – ENSAYOS MURETE – ENSAYO PRISMA

El eco-ladrillo es una técnica que se basa en la mitigación del impacto ambiental generado por residuos sólidos domésticos, el cual busca proporcionarles un adecuado destino final, contribuyendo a un trato amigable con el medio ambiente.

El presente estudio corresponde a una evaluación que explora el comportamiento de las botellas de plástico PET rellenas con residuos sólidos inorgánicos, formando en su conjunto un eco-ladrillo como material de albañilería como caso de estudio.

Se evaluó el comportamiento mediante ensayos de compresión de unidad de albañilería y ensayos de compresión axial y diagonal para determinar sus propiedades de soporte mediante la fabricación de muretes y prismas con las dos soluciones constructivas existentes de los eco-ladrillos: eco-ladrillos en disposición horizontal y eco-ladrillos en disposición vertical. Además, se tomaron los resultados de ensayos anteriores en la Universidad de Valparaíso para realizar una comparación con otros tipos de albañilería, con el fin de tener una evaluación más completa de este material.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN EJECUTIVO	iii
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABLAS	x
SIGLA Y SIMBOLOGÍA	xiii
Sigla	xiii
Simbología	xiii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES	3
1.1 PROBLEMÁTICA	4
1.2 EL ECO-LADRILLO	6
1.3 ELEMENTOS ESTRUCTURALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS CON ECO-LADRILLOS	7
1.3.1. Elementos verticales	7
1.3.2 Elementos horizontales	7
1.3.3 Refuerzos antisísmicos	7
1.4 MÉTODOS CONSTRUCTIVOS CON ECO-LADRILLOS	8
1.4.1 Eco-ladrillo en disposición horizontal	8
1.4.2 Eco-ladrillo en disposición vertical	12
1.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ECO-LADRILLOS	14
1.5.1 Ventajas de los eco-ladrillos	14
1.5.2 Desventajas de los eco-ladrillos	15
1.6 PROPIEDADES DEL PET	15
1.7 PROTOTIPO DE SISTEMA CONSTRUCTIVO DE PANELES PRE-FABRICADOS DE ECO-LADRILLOS CON ESTRUCTURA DE MADERA	17
1.7.1 Consideraciones técnicas	18
1.7.2 Muro ensayado al corte	19
1.7.3 Muro ensayado a compresión	20
1.7.4 Resultados	21
1.8 COMPACTADOR MECÁNICO DE RESIDUOS PARA ELABORACIÓN DE ECO-LADRILLOS	22
CAPÍTULO 2: EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS ALBAÑILERÍA DE ECO-LADRILLOS	24
2.1 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO	25
2.2 FABRICACIÓN DE ECO-LADRILLOS	25
2.2.1 Peso de los eco-ladrillos	26
2.3 ENSAYO DE MORTERO	28
2.3.1 Características técnicas de los morteros precodificados	28
2.3.2 Normativa del ensayo de mortero	30

2.3.3	Fabricación de muestras	31
2.3.4	Resistencia mecánica.....	35
2.4	ENSAYO DE COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA	37
2.4.1	Normativa del ensayo de compresión en unidades de albañilería	37
2.4.2	Elaboración unidades de albañilería	38
2.5	ENSAYO DE RESISTENCIA BÁSICA AL CORTE DE MURETES DE ECO-LADRILLOS .	40
2.5.1	Normativa de ensayo de compresión diagonal.....	40
2.5.2	Requisitos de ensayo	40
2.5.3	Fabricación de muretes	43
2.6	ENSAYO DE RESISTENCIA BÁSICA A LA COMPRESIÓN AXIAL DE PRISMAS DE ECO-LADRILLOS	48
2.6.1	Normativa del ensayo compresión axial.....	48
2.6.2	Requisitos de ensayo	48
2.6.3.	Fabricación de prismas	50
2.7	ENSAYO DE AISLACIÓN TÉRMICA DE MUROS CONSTRUIDOS CON ECO-LADRILLOS	52
2.7.1	Normativa del ensayo de aislación térmica	52
2.7.2	Fabricación de muestras	53
2.7.3	Construcción de cámara térmica	53
2.8	AISLACIÓN ACÚSTICA DE MUROS DE ECO-LADRILLOS	55
2.8.1	Normativa del ensayo de aislación térmica	55
2.9	RESISTENCIA AL FUEGO DE MUROS CONSTRUIDOS CON ECO-LADRILLOS	56
2.9.1	Normativa del ensayo de resistencia al fuego.....	56
2.9.2	Criterios de resistencia al fuego	57
2.9.3	Clasificación	58
2.9.4	Ensayo para determinar la resistencia al fuego de muros construidos con eco-ladrillos.....	59
CAPÍTULO 3: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS ALBAÑILERÍAS DE ECO-LADRILLOS		63
3.1	REQUISITOS DE LOS MATERIALES PARA CONSTRUIR CON ECO-LADRILLOS.....	64
3.1.1	Cemento	64
3.1.2	Cal	64
3.1.3	Arenas.....	64
3.1.4	Agua	65
3.1.5	Aditivos	65
3.1.6	Otros materiales	66
3.1.7	Propiedades de los morteros.....	66
3.2	RESULTADOS DEL ENSAYO DE MORTERO	66
3.2.1	Resultados de los ensayos de flexo-tracción	66
3.2.2	Resultados de los ensayos de compresión	70
3.2.2.4	Comparación resultados del ensayo de mortero.....	74
3.3	RESULTADOS DE LOS ENSAYO DE COMPRESIÓN DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA ..	75
3.3.3	Propiedades de unidades de albañilería PRINCESA S.A.	82
3.3.4	Comparación de unidades de albañilería.....	84
3.4	RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA BÁSICA AL CORTE.....	85

3.4.3	Resultados del ensayo de resistencia básica al corte en muretes de albañilería tradicional	92
3.4.4	Comparación de resultados del ensayo de resistencia básica al corte	93
3.5	RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL.....	94
3.5.1	Resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial en prismas de eco-ladrillos en disposición horizontal.....	95
3.5.2	Resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial en muretes de eco-ladrillos en disposición vertical	97
3.5.3	Resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial en muretes de albañilería tradicional.....	100
3.5.4	Comparación de resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial...	101
3.6	ENSAYO DE AISLACIÓN TÉRMICA DE MUROS	102
3.6.1	Comparación de resultados	103
3.7	RESULTADO DEL ENSAYO ACÚSTICO.....	111
3.7.1	Comparación de resultados de los ensayos acústicos	112
3.8	RESISTENCIA AL FUEGO DE MUROS CONSTRUIDOS CON ECO-LADRILLOS	114
3.8.3	Limitaciones constructivas.....	120
3.9.1	Elementos estructurales de muros de albañilería	123
3.9.2	Presupuesto muro de albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal	124
3.9.3	Presupuesto muro de albañilería de eco-ladrillos en disposición vertical	131
3.9.4	Presupuesto muro de albañilería de ladrillo Titán Reforzado	138
3.9.5	Presupuesto muro de albañilería de ladrillo fiscal	145
3.9.6	Comparación de presupuestos	152
	LOS ECO-LADRILLOS	154
	CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS DE MORTERO	154
	ALBAÑILERÍA DE ECO-LADRILLOS EN DISPOSICIÓN HORIZONTAL	155
	ALBAÑILERÍA DE ECO-LADRILLOS EN DISPOSICIÓN VERTICAL	155
	BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN	156

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dimensiones y Rendimientos por *m*2 de eco-ladrillos. 7

Figura 2: Muro Eco-ladrillos Técnica Ecotec..... 9

Figura 3: Vista trasera, detalle unión alambre – eco-ladrillo..... 9

Figura 4: Vista frontal método ecotec..... 10

Figura 5: Vista planta método ecotec. 10

Figura 6: Muro Eco-ladrillo Técnica Hug it Forward..... 12

Figura 7: Vista frontal método Pura Vida. 13

Figura 8: Vista lateral método Pura Vida..... 13

Figura 9: Marco estructural para ensayo de compresión y corte..... 19

Figura 10: Compactador mecánico de residuos para elaboración de eco-ladrillos. 23

Figura 11: Eco-ladrillo mediano fabricado. 26

Figura 12: Peso de un eco-ladrillo..... 27

Figura 13: Probetas de mortero de estuco fabricadas. 34

Figura 14: Probetas de mortero de pega fabricadas. 34

Figura 15: Ensayo a compresión y flexión en probetas rilem. 35

Figura 16: Ensayo de flexión de probetas de mortero..... 36

Figura 17: Ensayo de compresión de probetas de mortero. 36

Figura 18: Moldaje para la fabricación de una unidad de albañilería de eco-ladrillo..... 38

Figura 19: Vista frontal de una unidad de albañilería de un eco-ladrillo..... 39

Figura 20: Fabricación de una unidad de albañilería de eco-ladrillo. 39

Figura 21: Cabezales para el ensayo de compresión diagonal de muretes de albañilería. ... 41

Figura 22: Moldaje del murete de eco-ladrillos en disposición horizontal. 43

Figura 23: Vista frontal del murete de eco-ladrillos en disposición horizontal..... 44

Figura 24: Vista lateral del murete de eco-ladrillos en posición horizontal. 44

Figura 25: Moldaje de murete de eco-ladrillos en disposición vertical. 46

Figura 26: Vista frontal del murete de eco-ladrillos en disposición vertical. 46

Figura 27: Vista lateral del murete de eco-ladrillos en disposición vertical..... 47

Figura 28: Vista frontal del murete de eco-ladrillos en disposición vertical con capa de anclaje.
..... 47

Figura 29: Vista frontal del prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal. 50

Figura 30: Vista frontal del prisma de eco-ladrillos en disposición vertical..... 51

Figura 31: Cámara de ensayo. 53

Figura 32: Aislación tapa y panel entre cámaras con lana de mineral 54

Figura 33: Esquema ensayo fuego panel eco-ladrillos en disposición horizontal. 60

Figura 34: Esquema ensayo fuego panel eco-ladrillos en disposición vertical..... 62

Figura 35: Anomalía en probeta de mortero de estuco interior. 68

Figura 36: Muestra de mortero de pega ensayada a compresión..... 71

Figura 37: Unidad de albañilería en disposición vertical sin pulir. 75

Figura 38: Unidad de albañilería en disposición vertical pulida por ambas caras..... 76

Figura 39: Muestra posicionada en forma vertical para ensayar. 77

Figura 40: Unidad de albañilería en disposición vertical ensayada.	78
Figura 41: Superficie real v/s superficie de apoyo.	79
Figura 42: Muestra posicionada en forma horizontal para ensayar.	80
Figura 43: Vista frontal de la unidad de albañilería en disposición horizontal ensayada.	81
Figura 44: Vista lateral de la unidad de albañilería en disposición horizontal ensayada.	82
Figura 45: Murete eco-ladrillos en disposición horizontal para ser ensayado.	85
Figura 46: Gráfico de carga (KN) vs Tiempo (hora) del ensayo de murete de eco-ladrillos en disposición horizontal.	86
Figura 47: Grietas en la arista de murete de eco-ladrillos en disposición horizontal.	87
Figura 48: Grieta en la diagonal del murete de eco-ladrillos en disposición horizontal.	88
Figura 49: Murete eco-ladrillos en disposición vertical para ser ensayado.	89
Figura 50: Gráfico de carga (KN) vs Tiempo (hora) del ensayo de murete de eco-ladrillos en disposición vertical.	90
Figura 51: Grietas en la diagonal del murete de eco-ladrillos en disposición vertical.	91
Figura 52: Grietas en la arista del murete de eco-ladrillos en disposición vertical.	92
Figura 53: Prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal para ser ensayado.	95
Figura 54: Gráfico de carga (KN) vs Tiempo (hora) del ensayo de prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal.	96
Figura 55: Grietas en prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal.	97
Figura 56: Prisma de eco-ladrillos en disposición vertical para ser ensayado.	98
Figura 57: Gráfico de carga (KN) vs Tiempo (hora) del ensayo de prisma de eco-ladrillos en disposición vertical.	99
Figura 58: Grietas en prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal.	100
Figura 59: Disposición de los elementos dentro de la cámara de ensayo térmico.	103
Figura 60: Gráfico de temperatura (°C) vs tiempo (minutos) en cara 1 de muro ensayados.	104
Figura 61: Gráfico de temperatura (°C) vs tiempo (minutos) en cara 2 de muros ensayados.	105
Figura 62: Gráfico de temperatura (°C) vs tiempo (minutos) de temperatura ambiente en laboratorio.	107
Figura 63: Gráfico de temperatura (°C) vs tiempo (minutos) en cámara 1 de ensayos. ...	108
Figura 64: Gráfico de temperatura (°C) vs tiempo (minutos) en cámara 2 de ensayos. ...	109
Figura 65: Disposición de elementos dentro de la cámara de ensayo acústico.	112
Figura 66: Gráfico de presión sonora (dB(A)) vs tiempo (minutos) en muros ensayados..	113
Figura 67: Ensayo a llama directa en panel de eco-ladrillos en disposición horizontal.	115
Figura 68: Gráfico de temperatura en C1 (°C) vs tiempo (min) en paneles de eco-ladrillos en disposición horizontal.	115
Figura 69: Gráfico de temperatura en C2 (°C) vs tiempo (min) en paneles de eco-ladrillos en disposición horizontal.	116
Figura 70: Ensayo a llama directa en panel de eco-ladrillos en disposición vertical.	117
Figura 71: Gráfico de temperatura en C1 (°C) vs tiempo (min) en paneles de eco-ladrillos en disposición vertical.	118

Figura 72: Gráfico de temperatura en C2 (°C) vs tiempo (min) en paneles de eco-ladrillos en
disposición vertical. 119

Figura 73: Vista interior del panel Eco V-1 120

Figura 74: Muro de albañilería confinada de eco-ladrillos en disposición horizontal..... 124

Figura 75: Muro de albañilería confinada de eco-ladrillos en disposición vertical. 131

Figura 76: Muro de albañilería confinada de ladrillos titán reforzado..... 138

Figura 77: Muro de albañilería confinada de ladrillos fiscal e =20 cm..... 145

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Dosificaciones de mortero en volumen. 11

Tabla 2: Propiedades del PET. 17

Tabla 3: Peso de botellas PET. 26

Tabla 4: Peso de eco-ladrillos compactados y cantidad de material reciclado. 27

Tabla 5: Características técnicas Presec A-01 pega albañilería normal. 28

Tabla 6: Características técnicas Presec I-01 Estuco interior. 29

Tabla 7: Características técnicas Presec E-01 Estuco exterior. 30

Tabla 8: Grados de morteros según la resistencia a la compresión a los 28 días. 31

Tabla 9: Fabricación de probetas de mortero de pega. 32

Tabla 10: Fabricación de probetas de mortero de estuco interior. 33

Tabla 11: Fabricación de probetas de mortero de pega. 33

Tabla 12: Características de los ladrillos cerámicos. 38

Tabla 13: Valores indicativos de la resistencia básica al corte. 42

Tabla 14: Fabricación de murete de eco-ladrillos en disposición horizontal. 45

Tabla 15: Fabricación de murete de eco-ladrillos en disposición vertical. 48

Tabla 16: Fabricación de prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal. 51

Tabla 17: Fabricación de prisma de eco-ladrillos en disposición vertical. 52

Tabla 18: Distancia definida entre el soplete y el panel. 56

Tabla 19: Clasificación de resistencia al fuego según tiempo de duración. 58

Tabla 20: Tabla de distancia, tiempo y temperaturas durante el ensayo. 61

Tabla 21: Grados de Cemento y sus especificaciones. 64

Tabla 22: Granulometrías de las arenas. 65

Tabla 23: Resultados ensayo de flexión mortero de pega. 67

Tabla 24: Resultados ensayo de flexión mortero de estuco interior. 68

Tabla 25: Resultados ensayo de flexión mortero de estuco exterior 69

Tabla 26: Comparación de resultados ensayo de flexión en morteros. 70

Tabla 27: Resultados ensayo de compresión mortero de pega. 71

Tabla 28: Resultados ensayo de compresión mortero de estuco interior. 72

Tabla 29: Resultados ensayo de compresión mortero de estuco exterior. 73

Tabla 30: Comparación de resultados ensayo de compresión en morteros. 74

Tabla 31: Resultado del ensayo de compresión de la unidad de albañilería en disposición vertical. 77

Tabla 32: Resultado del ensayo de compresión de la unidad de albañilería en disposición horizontal. 80

Tabla 33: Propiedades del ladrillo Titán Liviano. 83

Tabla 34: Propiedades del ladrillo chonchón. 83

Tabla 35: Comparación de resistencias de unidades de albañilería. 84

Tabla 36: Calculo de resistencia básica al corte en murete de eco-ladrillos en disposición horizontal. 86

Tabla 37: Calculo de resistencia básica al corte en murete de eco-ladrillos en disposición vertical..... 90

Tabla 38: Resultados del ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería de ladrillo Titán liviano. 93

Tabla 39: Resultados del ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería de ladrillo chonchón..... 93

Tabla 40: Comparación de resistencia básica al corte de las distintas de albañilerías. 94

Tabla 41: Cálculo de resistencia a la compresión axial en prisma de eco-ladrillos en disposición vertical..... 96

Tabla 42: Cálculo de resistencia a la compresión axial en prisma de eco-ladrillos en disposición vertical..... 99

Tabla 43: Resultados del ensayo de compresión axial en prismas de albañilería de ladrillo Titán liviano..... 101

Tabla 44: Resultados del ensayo de compresión axial en prismas de albañilería de ladrillo chonchón..... 101

Tabla 45: Comparación de resistencia a la compresión axial de las distintas de albañilerías. 102

Tabla 46: Temperaturas (°C) en cara 1 de muros ensayados. 104

Tabla 47: Temperaturas (°C) en cara 2 de muros ensayados. 106

Tabla 48: Temperaturas (°C) en caras 1 y 2 de muros ensayados. 106

Tabla 49: Temperatura ambiente (°C) en laboratorio para muros ensayados. 107

Tabla 50: Temperaturas (°C) en cámara 1 de muros ensayados..... 109

Tabla 51: Temperaturas (°C) en cámara 2 de muros ensayados..... 110

Tabla 52: Temperaturas (°C) en cámaras 1 y 2 de muros ensayados. 110

Tabla 53: Resumen de niveles de sonido (dB(A)) de paneles ensayados. 113

Tabla 54: Resistencia al fuego requerida para los elementos de construcción de edificios. 121

Tabla 55: Tipo de elemento constructivo según destino, superficie edificada y número de pisos. 122

Tabla 56: Presupuesto muro de albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal e = 35 cm..... 125

Tabla 57: APU pilar de hormigón armado 0,20 X 0,35 X 2,4 m. 126

Tabla 58: APU albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal e = 30 cm. 127

Tabla 59: APU estuco interior 1:3 e = 2,5 cm. 128

Tabla 60: APU estuco exterior 1:3 + aditivo impermeabilizante e = 2,5 cm. 129

Tabla 61: APU cadena de hormigón armado 0,25 X 0,35 X 3,40 m. 130

Tabla 62: Presupuesto muro de albañilería de eco-ladrillos en disposición vertical e = 15 cm. 132

Tabla 63: APU pilar de hormigón armado 0,15 X 0,27 X 2,40 m. 133

Tabla 64: APU albañilería de eco-ladrillos en disposición vertical e = 10 cm. 134

Tabla 65: APU estuco interior 1:3 e = 2,5 cm. 135

Tabla 66: APU estuco exterior 1:3 + aditivo impermeabilizante e = 2,5 cm. 136

Tabla 67: APU cadena de hormigón armado 0,15 X 0,30 X 3,54 m. 137

Tabla 68: Presupuesto muro de albañilería de ladrillos titán reforzado e = 19 cm. 139

Tabla 69: APU pilar de hormigón armado 0,19 X 0,21 X 2,40 m. 140

Tabla 70: APU albañilería de ladrillos titán reforzado e = 14 cm. 141

Tabla 71: APU estuco interior 1:3 e = 2,5 cm. 142

Tabla 72: APU estuco exterior 1:3 + aditivo impermeabilizante e = 2,5 cm. 143

Tabla 73: APU cadena de hormigón armado 0,19 X 0,25 X 3,42 m. 144

Tabla 74: Presupuesto muro de albañilería de ladrillos titán reforzado e = 19 cm. 146

Tabla 75: APU pilar de hormigón armado 0,20 X 0,20 X 2,40 m. 147

Tabla 76: APU albañilería de ladrillo fiscal e = 15 cm. 148

Tabla 77: APU estuco interior 1:3 e = 2,5 cm. 149

Tabla 78: APU estuco exterior 1:3 + aditivo impermeabilizante e = 2,5 cm. 150

Tabla 79: APU cadena de hormigón armado 0,20 X 0,25 X 3,40 m. 151

Tabla 80: Comparación de costos de construcción de las distintas soluciones de albañilería.
..... 152

Tabla 81: Comparación de costos de construcción por m2 de las distintas soluciones de albañilería. 152

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

Sigla

APU: Análisis de Precios Unitarios.

CONAMA: Comisión Nacional del Medio Ambiente.

NCH: Norma Chilena.

OGUC: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

RSD: Residuos Sólidos Domésticos.

PET: Tereftalato de Polietileno.

RM: Región Metropolitana.

SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental.

Simbología

Cm: Centímetros.

D: tamaño máximo nominal

dB: Decibeles

e: espesor.

h: altura.

Kg: kilogramos

Kg/cm²: Kilogramo dividido por centímetro cuadrado.

KN: kilo Newton

L: largo.

Lt: litros.

m: metros.

mm: milímetros.

mm^2 : milímetro cuadrado.

m^2 : metro cuadrado.

m^3 : metro cubico.

MPa: mega pascal.

Min: minutos.

N: Newton.

S: segundo.

Ton: tonelada

%: porcentaje.

°C: grados Celsius.

INTRODUCCIÓN

El plástico se ha convertido en la actualidad en uno de los materiales más comunes y usados por nuestra sociedad: desde envases de bebida o detergente, materiales de construcción, electrodomésticos, elementos de jardinería, decoración, mobiliario, entre otros. Y así hasta abarcar prácticamente cualquier sector. Prácticamente cada producto que se compra en un super mercado está envuelto en plástico, el que generalmente termina en la basura y en el peor de los casos en los océanos, ya que el costo de recolección y reciclaje es más alto que el costo de fabricar uno nuevo.

Una solución para este problema es el "eco-ladrillo", el que cada día crece en popularidad, debido que su uso baja enormemente las cantidades de desechos en el medio ambiente, convirtiéndose en un material de construcción sustentable y ecológico. Este material se hace a partir de botellas plásticas PET, la idea es darle una segunda vida útil a este tipo de desechos que según estudios demoran cientos de años en descomponerse.

El eco-ladrillo es una solución a la contaminación ambiental, además es un material que se podría utilizar para la construcción de viviendas, sobre todo en zonas vulnerables como un método constructivo sustentable y ecológico. No tan solo se puede utilizar eco-ladrillos en la construcción de viviendas, ya que sus aplicaciones son variadas.

Actualmente no existe una normativa para los eco-ladrillos, por lo que es necesario investigar las propiedades que posee este tipo de albañilería y compararla con las propiedades de los materiales que se utilizan actualmente en la industria de la construcción, para sí determinar la factibilidad que tiene este material en la construcción de viviendas.

En esta investigación se construyeron muretes y prismas de eco-ladrillos con los dos métodos constructivos existentes: eco-ladrillos en disposición horizontal y eco-ladrillos en disposición vertical, para realizar ensayos de compresión axial y diagonal para determinar su comportamiento ante la acción de cargas. Además, se tomaron experiencia realizadas en 2014 para tener una evaluación más completa de este material.

Con los resultados de los ensayos, se realizó una comparación con otros materiales para determinar si es factible o no la construcción con eco-ladrillos.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

- Evaluar las propiedades que poseen las albañilerías de eco-ladrillos.

Objetivos Específicos

- Presentar la albañilería de eco-ladrillos como solución constructiva y sustentable.
- Realizar ensayos de resistencia para determinar el comportamiento ante la acción de cargas y detallar los ensayos de aislación acústica y térmica y el ensayo de resistencia ante la acción del fuego.
- Mostrar las ventajas y desventajas que tiene el eco-ladrillo como material de construcción.
- Comparar la albañilería de eco-ladrillos con otras soluciones constructivas similares.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 PROBLEMÁTICA

Según Javier, O (2002) "el crecimiento acelerado que han experimentado las grandes ciudades en los últimos 50 años y el aumento del ingreso per cápita de los países en desarrollo, se manifiesta en un mayor consumo de bienes y facilidad para desechar o producir residuos, esta situación ha provocado que el manejo de los residuos se torne cada vez más complejo y de un creciente interés para diversos sectores de la comunidad". (Orccosupa 2002, p, 2)

"Estudios realizados en la RM de Santiago, muestran el incremento de la cantidad de residuos sólidos domésticos (RSD) producidos desde 0,47 Kg/habitante por día en el año 1971 a 1,03 Kg/habitante por día para el 2000, que significa un incremento anual de 2% a 3%. De las 3.337.200 toneladas anuales que se producen a nivel nacional, cerca del 55% (1.835.460 ton/año) se generan en la RM". (CONAMA, 2000, citado por Orccosupa, 2002, p. 2).

"Según proyecciones difundidas por COMANA RM. (2001) en los próximos 20 años la cantidad de RSD se triplicaría, pasando de 6.000 a 18.000 ton/diarias. Esto produciría grandes problemas en la gestión y el financiamiento del servicio de aseo por parte de los municipios". (CONAMA, 2000, citado por Orccosupa, 2002, p. 2).

Estudios estiman que en 2009 los desechos sólidos alcanzaron 16,9 millones de toneladas, de las cuales 6,5 millones correspondieron a residuos municipales y 10,4 millones a residuos industriales. El sector de la construcción desempeña un rol protagónico en este campo, ya que es el mayor generador de residuos aportando entre un 26% y un 34% en el periodo 2000 – 2009 respecto al total de residuos generados por el país. A nivel local, en tanto, se debe considerar que la Región de Valparaíso genera 483.739 (ton/año), siendo la comuna de Valparaíso la principal con 104.332 (ton/año) seguida de Viña del Mar con 98.537 (ton/año) (CONAMA. 2010, citado por Gavilán, 2014).

"Información emitida por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos revela que aproximadamente se consumen cada año, alrededor del mundo entre 500 billones y un trillón de bolsas plásticas. Reciclándose menos del 1% de las bolsas, por el hecho en que es más costoso reciclar una bolsa que producir una nueva". (Gavilán, 2014).

"Información emitida por el Ministerio del Medio ambiente a través del Sistema Nacional de Información Ambiental, (2018), señala que "en el año 2016, en Chile se generaron cerca de 21,2 millones de toneladas de residuos. El 97% equivale a residuos no peligrosos y el 3% a residuos peligrosos. Los residuos no peligrosos, contemplan residuos de origen industrial (59,8%), sólidos municipales (35,3%) y lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (1,9%). Respecto a los residuos no peligrosos generados, el 76% fue eliminado y el 24% es valorizado. Los residuos son eliminados principalmente en rellenos sanitarios y vertederos. Si bien los rellenos sanitarios son instalaciones que cumplen las exigencias sanitarias y ambientales establecidas, esto no es suficiente desde el punto de vista ambiental, se debe evitar la disposición final de residuos en vertederos y basurales, también

se hace necesario disminuir la cantidad en rellenos sanitarios, para ello es clave el reciclaje” (Ministerio del Medio Ambiente, 2018, p. 68).

Una de las mayores problemáticas del plástico es su degradación, ya que es muy pasiva. Se calcula que este tarda entre 100 y 1.000 años en descomponerse, por lo que está considerado un material de descomposición muy lento y a largo plazo. Una botella de plástico tarda de media 500 años en desintegrarse, aunque si está enterrada este tiempo se prolonga aún más. En nuestro país el reciclado de plástico no es muy común, esto se debe a los bajos precios que se cobran por la recolección y disposición final de los residuos sólidos y la inexistencia de un sistema eficiente de recolección de plásticos.

Los grandes actores involucrados en el proceso de generación de RSD son los: productores, que transforman la materia prima de la naturaleza en bienes de consumo; los intermediarios, que mediante la comercialización participan en la forma de presentación de bienes y servicios y finalmente los consumidores, que constituyen la población objetivo del proceso productivo. Estos últimos tienen la posibilidad de influenciar o condicionar su compra al mercado mediante sus preferencias, hábitos de consumo y conciencia ambiental.

En el Día Mundial de los Océanos, Greenpeace, (2019), alertó respecto de la creciente amenaza que el plástico está generando a los ecosistemas marinos del planeta. “Según estimaciones se dice que cada año llegan ocho millones de toneladas de residuos a nuestros océanos. Aunque se desconoce con precisión la cantidad de plástico en el mar, se estiman entre los 5 y 50 mil millones de fragmentos, sin incluir los pedazos que hay en el fondo marino y en las costas. De esa enorme cantidad de plástico, el plástico visible que queda en la superficie llega a un 15% del total, mientras que cerca de un 70% queda hundido”.

El problema que están generando los residuos que deja el ser humano están causando grandes problemas en el mundo, y esto está afectando a distintas especies, incluyendo a las que están en peligro de extinción. Esto debe ser un incentivo para tomar conciencia de la catástrofe que está produciendo el uso del plástico, y que los gobiernos formen leyes y políticas para eliminar la producción de este material desde su origen y reciclar el ya existente, de esa forma se asegurará la supervivencia de distintas especies, incluyendo la del género humano, dando un mejor futuro a las generaciones que están por venir.

Existen algunas alternativas para el manejo alternativo de desechos sólidos, como por ejemplo el eco-ladrillo, el que es objeto de la presente investigación, pero esta alternativa solo significa una etapa intermedia que nos ayuda a aprender y responsabilizarnos de nuestra propia basura, sin tirarla ni quemarla.

El próximo paso a nivel de aprendizaje y toma de conciencia, debe ser la disminución del consumo de todos los productos empacados o envueltos en material plástico.

Sin embargo y debido a que el proceso de concientización es lento, aún queda suficiente material plástico para construir eco-ladrillos.

Es importante recordar 5 pasos:

- Rechazar: es evitar la compra de productos que estén empaquetados en plástico, hechos total o parcialmente de plástico, o que contengan materiales tóxicos.
 - Reciclar: es transformar un material usado en materia prima o en productos nuevos.
 - Reducir: es disminuir el volumen de la basura que producimos cada día.
 - Reparar: es arreglar algo para volver a usarlo, en vez de desecharlo.
 - Reutilizar: es usar algo varias veces, (las bolsas de nylon, la ropa usada, entre otros).
- El papel se debe usar de ambos lados y es preferible usar baterías recargables.

1.2 EL ECO-LADRILLO

El eco-ladrillo es una técnica que se basa en la mitigación del impacto ambiental generado por residuos sólidos domésticos, el cual busca proporcionarles un adecuado destino final, contribuyendo un trato amigable con el medio ambiente.

La elaboración del producto consta en el llenado de una botella PET con residuos inorgánicos, ambos elementos se deberán encontrar limpios y secos. Se debe compactar el material de relleno con una vara hasta procurar que la botella quede incompresible. Una vez llenado con el material bien compactado, se procede a sellar la botella con su tapa respectiva.

Según Pura Vida Atitlán, institución fundadora del eco-ladrillo, en su Manual Sistema Constructivo Pura Vida, “una construcción es tan fuerte como sus columnas. Los eco-ladrillos, cumplen una función de “material de relleno” en la estructura portante de una construcción (vigas y columnas)”. (Pura Vida, 2011)

La elaboración del eco-ladrillo Pura Vida, forma parte del programa Pura Vida, iniciado en enero de 2005 como un proyecto piloto en la comunidad de San Marcos la Laguna para resolver los problemas de basura de la comunidad. Luego de dos años de experiencia y éxito visible, el proyecto piloto Pura Vida se convirtió en un movimiento ecológico alrededor del Lago de Atitlán. Pura Vida cree que, como parte de la naturaleza, los seres humanos somos responsables de la basura que producimos. Las comunidades deben compartir esta responsabilidad con organizaciones ambientales, corporaciones, autoridades políticas locales, profesores, padres y niños. Pura Vida está construyendo con basura mientras construye la conciencia ecológica de las comunidades. Hoy en día hay escuelas, casas, baños, muros, bancas, etc. contruidos con esta técnica. Pura vida ganó el premio de honor CII Centro de Investigación Facultad de Ingeniería Universidad San Carlos de Guatemala para Guatemala en auto sustentabilidad ecológica del World Energy Globe 2008. (Diseño Sin Fronteras, Noruega)

El volumen de las botellas que nos sirven como depósitos plásticos para la basura inorgánica, dependerá de dos aspectos: el tipo de envase que tiene mayor comercialización en la región y la sección de nuestros elementos estructurales.

Antes de realizar el diseño, el desarrollo de planos y el cálculo presupuestario de una edificación, es muy importante analizar con qué tipo de eco-ladrillos se va a construir.

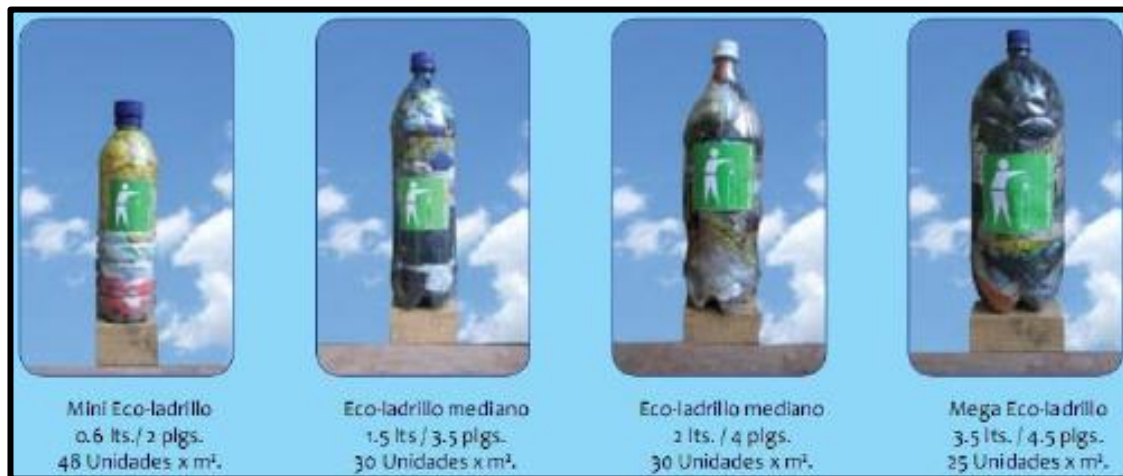


Figura 1: Dimensiones y Rendimientos por m^2 de eco-ladrillos.

Fuente: Manual Sistema Constructivo Pura Vida, 2011.

1.3 ELEMENTOS ESTRUCTURALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS CON ECO-LADRILLOS

1.3.1. Elementos verticales

Pueden ser de diversos tipos de materiales, entre ellos destaca la madera. Se debe asegurar que el ancho de las piezas sea el mismo que el del eco-ladrillo que se va a utilizar como relleno. Se permite una distancia máxima de 1,50 metros entre estos elementos.

1.3.2 Elementos horizontales

La distancia entre estos elementos será de 90 centímetros, lo cual es determinado por el ancho que nos permitirá tensar muy bien la tela metálica o malla galvanizada.

1.3.3 Refuerzos antisísmicos

Contribuyen a que la edificación tenga un mejor comportamiento ante movimientos sísmicos, y es a base de elementos estructurales, colocados a 45° entre columnas y vigas en las cuatro esquinas de cada pared.

1.4 MÉTODOS CONSTRUCTIVOS CON ECO-LADRILLOS

Existen 2 metodologías para construir con eco-ladrillos, que dependen de la disposición de la botella a utilizar:

- Disposición horizontal (de cabeza o tizón). Método Ecotec.
- Disposición Vertical. Método Hug it Forward o Pura Vida.

1.4.1 Eco-ladrillo en disposición horizontal

La técnica Ecotec fue inventada para botellas rellenas con arena, sin embargo, los eco-ladrillos se pueden usar de la misma manera. La técnica se caracteriza por usar los eco-ladrillos de manera horizontal, éstos se amarran mediante alambre galvanizado en su cuello y fondo. Se aplica un mortero de pega con razón C:A (Cemento : Arena) 1:4 y con una razón 1:0,5 de Cemento : Agua, con juntas horizontal y vertical (tendel y llaga) de un espesor de 2 cm. La mezcla debe ser seca, a diferencia de la construcción con bloques de cemento o ladrillos, puesto que las botellas no absorben agua.

Según las experiencias de trabajo de María Adelaida Jaramillo Sanín, Ingeniera Ambiental, Magister en Ingeniería. Docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Medellín, los muros con esta técnica son más estables, pero existen inconvenientes; el primero es el espesor de los muros (aproximadamente 36 cm) por el largo de las botellas, si hablamos de una de 2,5 lt. Esto resta área a los m^2 de construcción. Al usar eco-ladrillos “acostados” es necesario una mayor cantidad de estos, se considera un aumento de casi 4 veces más eco-ladrillos que con la técnica Hug it Forward.



Figura 2: Muro Eco-ladrillos Técnica Ecotec.

Fuente: Elcolombiano.cl

Se refuerza la unión de pega entre los eco-ladrillos enlazando los cuerpos de la botella con alambre negro #18.

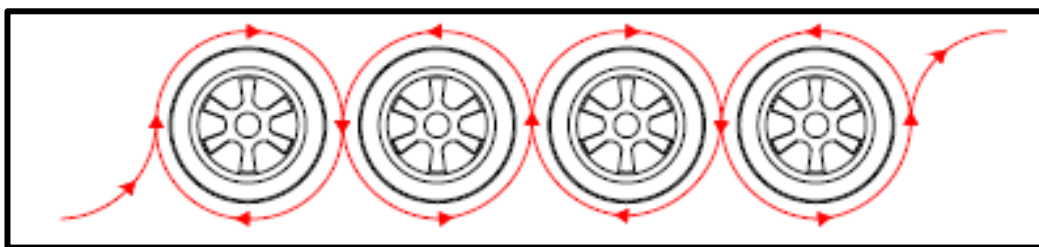


Figura 3: Vista trasera, detalle unión alambre – eco-ladrillo.

Fuente: Gavilán, 2014.

Una vez completada 2 hiladas de muro de eco-ladrillo, se procede a reforzar la unión de pega entre estos, enlazando los cuellos de las botellas con alambre negro #18 entre ambas hiladas formando una triangulación como se muestra en la figura.

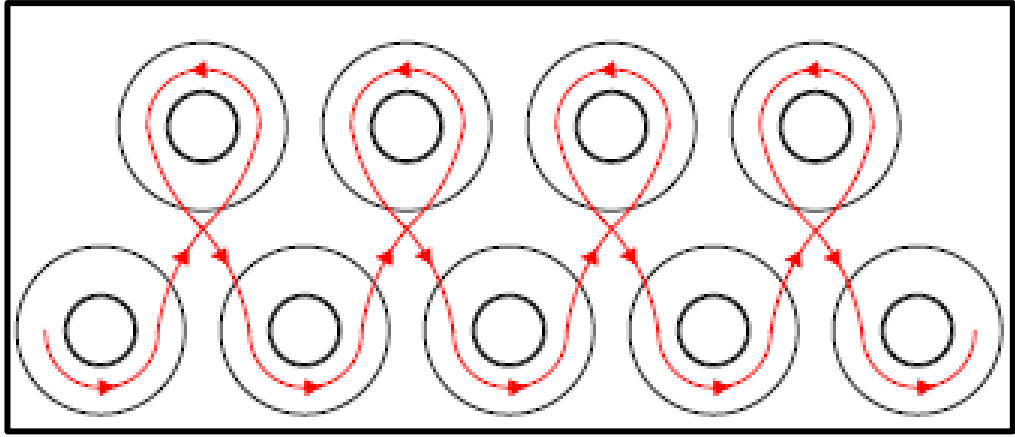


Figura 4: Vista frontal método ecotec.

Fuente: Gavilán, 2014.

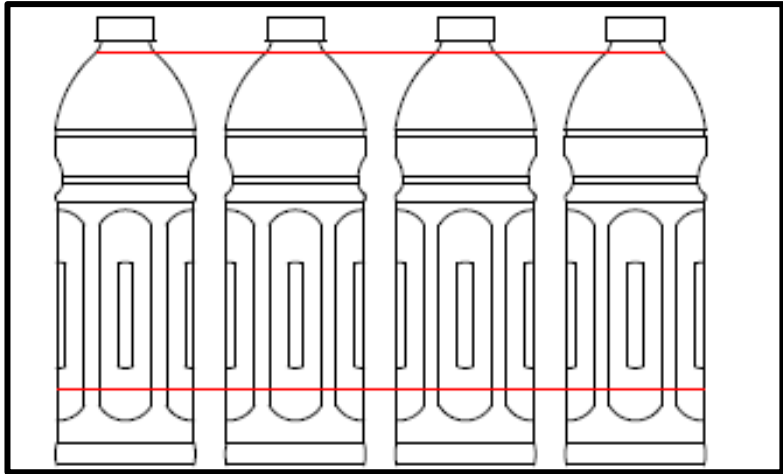


Figura 5: Vista planta método ecotec.

Fuente: Gavilán, 2014.

1.4.1.1 Terminación método Ecotec

Se definen 2 capas mortero de estuco para terminación del muro.

1.4.1.1.1 Capa de anclaje método Ecotec

Esta primera capa tiene el rol de asegurar la adherencia del estuco al soporte, dando a éste propiedades uniformes y una baja absorción para recibir la segunda capa con un espesor entre 0,7 y 1 cm.

Esta primera capa debe ser rugosa, tener fuerte adherencia y ser colocada con consistencia muy fluida, para evitar que la succión del soporte y las condiciones climáticas, si son adversas, “quemen” o sequen demasiado el estuco. Si faltara agua, el cemento no podría completar su hidratación durante el fraguado. La dosis de aglomerante de esta capa es alta y está compuesta con arena fina (D = 1,25 mm).

El rol de esta capa se limita al anclaje; dado que no queda continua, no tiene función de impermeabilización y sus grietas no entorpecen el funcionamiento del estuco.

1.4.1.1.2 Capa de cuerpo del estuco método Ecotec

La segunda capa, que constituye el cuerpo del estuco y es su parte principal, asegura lo esencial de la impermeabilización y la regularidad superficial de la obra.

Por eso ella debe tener una buena compacidad y una baja tendencia a la fisuración. De allí la necesidad de utilizar un aglomerante adecuado y una arena bien graduada (D = 5 mm) que reduzcan la retracción con un espesor de 1,5 a 2 cm.

Las dosis de aglomerante y de agua son menores que las de la primera capa, con el fin de reducir la retracción del mortero

El cuerpo del estuco es compactado por “chicoteo” enérgico, necesario para consolidarlo, pero no es alisado para no provocar la fisuración por la salida de lechada a la superficie.

Soporte	Albañilería de ladrillos cerámicos, hormigón o bloques de hormigón		ALTERNATIVA CON ADITIVOS
	Exposición moderada	Exposición severa	
Capa de anclaje	Cemento : arena 1 : 2	Cemento : arena 1 : 2	Cemento : arena 1 : 2
Cuerpo del estuco	Cemento : cal : arena 1 : 1 : 5	Cemento : cal : arena 1 : 1 : 4	Cemento : arena 1 : 5 Agregar aditivo para mortero
Capa de terminación	Cemento : cal : arena 1 : 1 : 6	Cemento : cal : arena 1 : 1 : 5	Cemento : arena 1 : 6 Agregar aditivo para mortero

Tabla 1:Dosificaciones de mortero en volumen.

Fuente: Manual del Constructor Grupo Polpaico, 2013.

1.4.2 Eco-ladrillo en disposición vertical

La técnica se caracteriza por usar los eco-ladrillos de manera vertical, consta de crear una especie de "sándwich" mediante la colocación de maya hexagonal galvanizada con una abertura de entramado pequeña adosada a la estructura del muro o tabique.

La función del eco-ladrillo en esta disposición es de relleno en la albañilería confinada. Los elementos verticales de la estructura deberán ser del mismo ancho que el eco-ladrillo, se permite una distancia máxima de 1,50 m entre estos elementos. La distancia entre elementos horizontales será de 90 cm para reforzar la estructura de relleno, lo cual es determinado por el ancho que nos permitirá tensar la malla galvanizada por ambas caras del muro con alambre negro #18. La estructura se reforzará mediante secciones colocadas a 45° entre las columnas y vigas en las 4 esquinas de cada pared, para mejorar su comportamiento sísmico.



Figura 6: Muro Eco-ladrillo Técnica Hug it Forward.

Fuente: Pura vida, 2011.

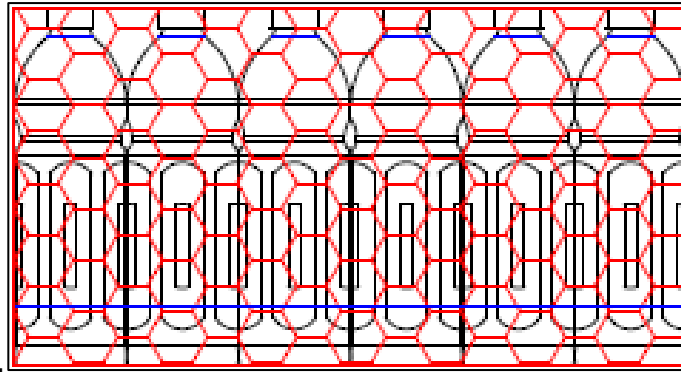


Figura 7: Vista frontal método Pura Vida.

Fuente: Gavilán, 2014.

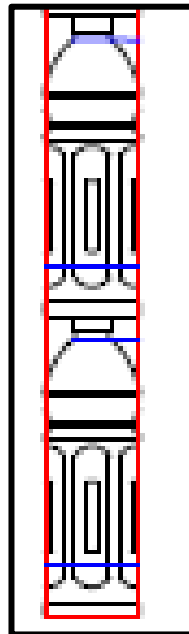


Figura 8: Vista lateral método Pura Vida.

Fuente: Gavilán, 2014.

1.4.2.1 Terminación método Pura Vida

Se definen 2 capas mortero de estuco para terminación del muro.

1.4.2.1.1 Capa de anclaje método Pura Vida

En cuanto al recubrimiento, se define una capa de revoqué sobre la malla galvanizada con razón cemento: arena de 1:2 según la tabla 1, de espesor variable debido a la forma irregular de la botella, para recibir el estucado final. La mezcla de esta primera capa debe tener una masa poco espesa para lograr una mejor unión a la malla galvanizada y el plástico de los envases. Si la mezcla es demasiado espesa. Ésta no se sujetará al plástico. Esta primera aplicación siempre debe de llevar cemento y se recomienda no usar cal para evitar la corrosión de la malla galvanizada. Hay que procurar rellenar los espacios entre los eco-ladrillos con más basura/plástico seco y limpio para utilizar menor cantidad de recubrimiento.

1.4.2.1.2 Capa de cuerpo del estuco método Pura Vida

Es su segunda mano, se aplica una mezcla de razón 1:4 con un espesor entre 1,5 a 2 cm.

El acabado final puede ser una mezcla entre cal y arena en porción 1:5. Para obtener una mejor terminación.

Otra alternativa de acabado es el denominado "Lodocreto", en el cual la primera y segunda mano siguen las mismas especificaciones que las descritas anteriormente. Para el acabado final se utiliza una mezcla de cemento y tierra o barro de la región en proporción 1:4. No se deberá utilizar tierra negra o de cultivo para este tipo de recubrimiento.

Según las experiencias de trabajo de María Adelaida Jaramillo Sanín. Esta técnica es apropiada donde se tiene poca cantidad de eco-ladrillos, ya que se necesitan en menor cantidad.

Cabe destacar que la estructura soportante de una edificación con eco-ladrillos puede ser de distintos materiales, ya sea madera, metálico u hormigón armado. Todo dependerá de las solicitudes que está posea.

1.5 **VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ECO-LADRILLOS**

1.5.1 Ventajas de los eco-ladrillos

Según Pura Vida, inventores del eco-ladrillo las ventajas son:

- Reduce la contaminación del medio ambiente.
- Es una tecnología de reciclaje sencilla, fácil y realizable alrededor del mundo entero.
- Es higiénica por quedar sellada con su tapa.

- Es fácil de almacenar y transportar.
- Es una tecnología de reciclaje que hace uso de la energía humana renovable.
- Utiliza todos los desechos plásticos suaves y limpios sin distinción.
- Ahorra el transporte de basura.
- Destina metros cúbicos de plástico a la construcción, evitando que terminen en rellenos sanitarios.
- Se elimina el trabajo de los basureros.
- Ahorro de emisiones, al reemplazar materiales de construcción contaminantes.
- Ahorra la compra y el transporte de materiales de construcción convencional.
- Es un material totalmente aislante.
- Es antisísmico, en caso de terremotos. (fuente Manual Sistema Constructivo Pura Vida).

1.5.2 Desventajas de los eco-ladrillos

Según Valpo Interviene, organización no gubernamental preocupada por la protección del medio ambiente y la recuperación de espacios públicos, las desventajas del eco-ladrillo son:

- Las botellas podrían reciclarse y así evitar su contacto con el medio ambiente por más tiempo.
- Los residuos con los que están llenados son tan heterogéneos que es difícil corroborar que no tengan materia orgánica, metales pesados o alguna sustancia tóxica.
- Luego de la construcción, ya no pueden ser reciclados.
- Aun es una técnica nueva, que requiere más estudios sobre sus propiedades constructivas.
- Un eco-ladrillo puede almacenar hasta 5 m² de basura no reciclable.

1.6 **PROPIEDADES DEL PET**

El PET o tereftalato de polietileno, es un material duro, rígido, resistente y tenaz. Además, dispone de un bajo coeficiente de fricción y de una elevada estabilidad dimensional. La temperatura de su uso continuo se encuentra entre -40 °C y aproximadamente +110 °C.

Polietilentereftalato				Pet
Propiedades mecánicas a 23º	unidad	ASTM	DIN	valores
Peso específico	Gr/cm3	D-792	53479	1.39
Resist. A la tracc. (fluencia / rotura)	Kg/cm²	D-638	53455	900 / --
Res. A la compresión (1 y 2 % def)	Kg/cm²	D-695	53454	260 / 480
Resistencia a la flexión	Kg/cm²	D-790	53452	1450
Res. Al choque sin entalla	Kg.cm/cm²	D-256	53453	> 50
Alargamiento a la rotura	%	D-638	53455	15
Módulo de elasticidad (tracción)	Kg/cm²	D-638	53457	37000
Dureza	Shore d	D-2240	53505	85 – 87
Coef. De roce estático s/acero		D-1894		--
Coef. De roce dinámico s/acero		D-1894		0.20
Res. Al desgaste por roce				Muy buena
Propiedades térmicas	unidad	ASTM	DIN	valores
Calor específico	Kcal/kg.ºc	C-351		0.25
Temp. De flexión b/carga (18.5kg/cm²)	ºc	D-648	53461	75
Temp. De uso continuo en aire	ºc			-20 a 110
Temp. De fusión	ºc			255
Coef. De dilatación lineal de 23 a 100ºc	Por ºc	D-696	52752	0.00008
Coef. De conducción térmica	Kcal/m.h.ºc	C-177	52612	0.25
Propiedades eléctricas	unidad	ASTM	DIN	valores
Constante dieléctrica a 60 hz		D-150	53483	3,4
Constante dieléctrica a 1 khz		D-150	53483	3,3
Constante dieléctrica a 1 mhz		D-150	53483	3,2
Absorción de humedad al aire	%	D-570	53472	0,25
Resistencia superficial	Ohm	D-257	53482	> 10 a la 14

Resistencia volumétrica	Ohms-cm	D-257	53482	> 10 a la 15
Rigidez dieléctrica	Kv/mm	D-149		22
Propiedades químicas		Observaciones		
Resistencia a hidrocarburos		Buena		
Resistencia a ácidos débiles a temp. Ambiente		Buena		
Resistencia a álcalis débiles a temp. Ambiente		Buena		
Resistencia a prod. Químicos definidos		Consultar		
Efecto de los rayos solares		Algo lo afectan		
Aprobado para contacto con alimentos		Si		
Comportamiento a la combustión		Arde con mediana dificultad		
Propagación de llama		Mantiene la llama		
Comportamiento al quemarlo		Gotea		
Color de la llama		Amarillo anaranjado tiznado		
Olor al quemarlo		Aromático dulce		

Tabla 2: Propiedades del PET.

Fuente: JQ INDUSTRIA, 2019.

1.7 PROTOTIPO DE SISTEMA CONSTRUCTIVO DE PANELES PRE-FABRICADOS DE ECO-LADRILLOS CON ESTRUCTURA DE MADERA

El programa Diseño Sin Fronteras es una iniciativa NorksForm, Centro Noruego para el Diseño y la Arquitectura, y desarrollado en Guatemala por el INDIS, Instituto de Investigación en Diseño de la Universidad Rafael Landívar.

El programa trabaja desde el 2001 en Guatemala, en el desarrollo de una propuesta de vivienda y albergue progresivo para situaciones de emergencia. Dentro de este proyecto, se ha establecido una alianza con el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala – CII/USAC. El trabajo conjunto busca desarrollar y

validar técnicamente las diferentes tecnologías constructivas que podrían ser utilizadas en esta propuesta de albergue unifamiliar.

Para ello, se construyó el prototipo demostrativo de una vivienda de 36 m^2 en terrenos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos. Dicho prototipo fue construido por estudiantes de esa facultad y presentó diferentes tecnologías alternativas para la construcción. Entre ellas destaca el uso de los eco-ladrillos, promovidos por Pura Vida en el país.

El objetivo general de este proyecto que tuvo este proyecto era brindar en tiempo de emergencia, una respuesta de techo mínimo para las familias que han perdido sus viviendas por eventos o desastres naturales, orientando la construcción progresiva y mejoramiento de las viviendas en el medio rural y en condiciones de extrema pobreza, a través de la autogestión y autoconstrucción.

1.7.1 Consideraciones técnicas

Se construyó una vivienda compuesta por dos módulos de 18 m^2 cada uno. La estructura de la vivienda está confirmada por bastidores de madera con dimensiones de 2,20 x 2,40 m, considerando un vano (puerta) de 1,09 X 2,21 m. En este caso CII Centro de Investigación Facultad de Ingeniería Universidad San Carlos de Guatemala trabajaban dos columnas principales soportando las cargas verticales. El sistema como propuesta de paneles prefabricados terminados representa un mayor peso del elemento y el difícil transporte del panel, por lo que la recomendación siempre será, el de prefabricar únicamente los paneles, y el de formalizar el sistema constructivo hasta que estén colocados en el lugar definitivo de construcción. Se determina que el análisis de este muro refleja una porción estándar del resto de la construcción ya que, al ensayar una pequeña sección del panel sin cambiar la altura ni el espesor, y reduciendo los anchos del panel siempre y cuando se tome en cuenta las dos columnas principales, se obtienen resultados equivalentes.

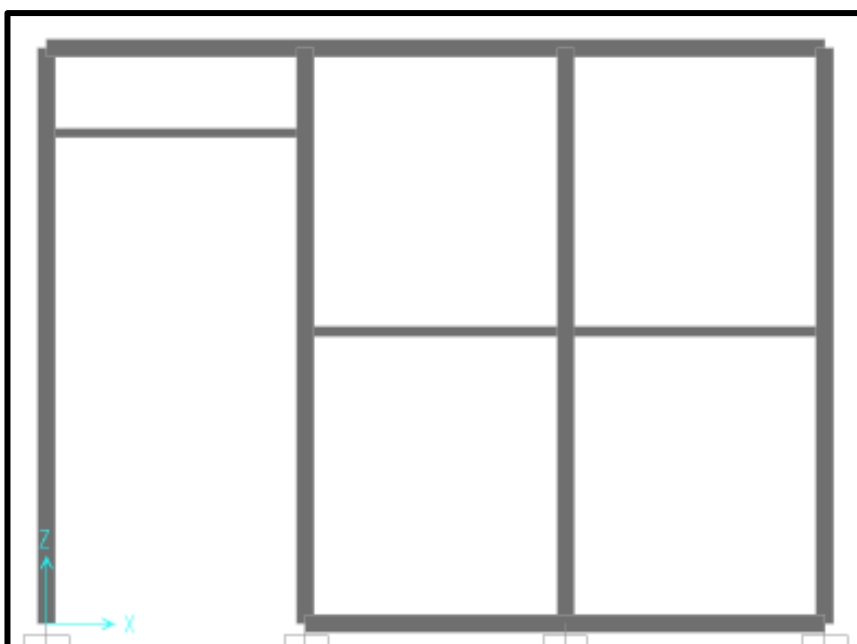


Figura 9: Marco estructural para ensayo de compresión y corte.

Fuente: INDIS/ URL y CII/USAC, 2011.

Estos paneles se rellenan con eco-ladrillos, de forma que queden acomodados uniformemente dentro de este. Los marcos de madera deben de ser preferentemente del mismo ancho de las botellas con las que se rellenan y luego se forran dichos marcos con malla de gallinero. Otra de las formas de aplicar esta técnica de construcción es por medio de marcos de concreto o de estructura metálica, para la cual las botellas plásticas y la malla de gallinero sirven como las paredes de la casa o ambiente, y se le puede agregar un recubrimiento de mortero de cal o cemento. Este no es el caso a que fue desarrollado los ensayos de este laboratorio, pero son aplicables en tanto que la estructura de concreto armado supera las características de la madera. ANÁLISIS DE MARCOS DEL SISTEMA "PURA VIDA" El proyecto consiste en el análisis estructural de los marcos —pura vida por medio de ensayos realizados por el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por medio del cual se determinarán la configuración estructural óptima para su construcción luego de ser sometidos a diferentes tipos de ensayos de laboratorio.

1.7.2 Muro ensayado al corte

El corte en los muros es muy importante ya que es el resultado de las fuerzas ya sea de sismo más que todo y algunas veces por fuerzas de viento ocasionadas por el muro que se encuentra empotrado perpendicular a él. Para realizar los ensayos respectivos se elaboraron muros con El sistema pura vida y se pusieron a ensayo en El laboratorio a los 21 días de edad.

1.7.2.1 Descripción del ensayo

Se le aplicó una carga horizontal en intervalos de carga igual a 50 psi = 50 kg. En la parte superior con el gato hidráulico, colocando los dos deformómetros, uno midiendo la deriva máxima y el otro el volteo máximo.

La carga máxima que soportó el muro fue de 650 kg. con una deriva de aproximadamente 4 cm., mostrando en la parte intermedia un levantamiento de 2.5 cm., hubo desprendimiento de partículas a los 500 kg.

1.7.2.2 Recomendaciones post-ensayo

Realizado el ensayo, se recomienda hacer la estructura más rígida para que tenga una mayor resistencia a la carga horizontal, esta carga se puede simular o igual a la carga que le ocasiona un sismo a una edificación. Al tener la estructura más rígida se obtendrá una mayor resistencia a las fuerzas horizontales ocasionadas por los sismos.

Dentro de las mejoras que se hicieron en la construcción destacan: el incrementó el tamaño de los rigidizantes colocados en las esquinas a 45 Grados, de 0.40 cm a 0.60 CM. Se cambió la orientación del peralte de los rigidizante, siendo clavados en su lado más ancho y no del peralte como estaba inicialmente, así se aumentó la sección clavada entre las columnas y las vigas. Se sujetaron los rigidizantes con dos clavos de 2" en vez de uno de 2.5".

1.7.3 Muro ensayado a compresión

Para el análisis por cargas verticales se tomará en cuenta que en las juntas de los muros y los elementos de piso ocurren rotaciones locales debidas al aplastamiento del mortero. Por tanto, para muros que soportan losas de concreto monolíticas o prefabricadas, se supone que la junta tiene suficiente capacidad de rotación para que pueda considerarse que, para efectos de distribución de momentos en el nudo muro–losa, la rigidez a flexión fuera del plano de los muros es nula y que los muros sólo quedan cargados axialmente. En el análisis se consideró la interacción que pueda existir entre el suelo, la cimentación y los muros. Cuando se consideren los efectos a largo plazo, se tomarán los módulos de elasticidad y de cortante para cargas sostenidas. Para el ensayo a corte se construyó un modelo del muro con el sistema Pura Vida y se puso a prueba en el laboratorio a los 21 días de edad.

1.7.3.1 Descripción del ensayo

Se colocó el panel en forma vertical entre dos vigas de acero, y se colocaron tres deformómetros en la parte central del panel dos a los costados, o sea en el ancho de panel y otro en la parte frontal, para determinar el pandeo que se obtendría al aplicar la carga de compresión, y se le aplicó carga en la viga superior, Se le aplicó una carga axial al muro en libras para determinar la compresión máxima que fue de 24000 lb. Alcanzando una deformación de 7.28 cm en la parte frontal, que fue la deformación relevante en este ensayo.

1.7.3.2 Recomendaciones hechas

Realizado el ensayo se recomienda mejorar el confinamiento que se maneja entre las breizas y las columnas para darle una mayor rigidez y pueda soportar una mayor carga de compresión.

El tipo de madera utilizada debe tener un secado óptimo para evitar las fisuras y los pandeos por los distintos cambios de temperatura que se manejan en Guatemala.

Dentro de las mejoras que se hicieron en la construcción destacan: aumento una breiza más, de 1 a 2, a lo largo de los vanos de puerta. Se trató de poner a secar en sombra (almacenado) las piezas a usar en construcción con 22 días previo al inicio de la construcción. Se hace la salvedad de que la madera es un material —Vivoll que sufre una expansión y una compresión según el clima, pero que esta naturaleza del material no varía sus propiedades mecánicas de estabilidad.

1.7.4 Resultados

De las observaciones se estipula que el sistema Pura Vida, posee características físicas que permiten una absorción aceptable de las fuerzas a que puede ser sometido ante la inclemencia, uso y temporalidad. Los desprendimientos no representan un peso nocivo y las deformaciones que sufrió no motivan su destrucción total, por lo que los resultados de estos ensayos sugieren la consideración de que es un sistema físicamente recomendable para la construcción.

1.8 COMPACTADOR MECÁNICO DE RESIDUOS PARA ELABORACIÓN DE ECO-LADRILLOS

Investigadores de la Universidad de Medellín inventaron un dispositivo que acelera la elaboración de eco-ladrillos. Este despliega cuatro brazos dentro de la botella que permiten que en su interior se compacten más de 50 bolsas plásticas. Esa presión se genera por medio de una palanca que distribuye mejor las fuerzas. La máquina no usa electricidad sin que es mecánica, se acciona manualmente.

El compactador mecánico de eco-ladrillos consiste en un dispositivo que permitirá la compresión de residuos reciclables/no reciclables dentro de botellas de plástico, que finalmente con los residuos compactados en su interior se construirá el eco-ladrillo.

La estructura del compactador permite cambiar la longitud o altura de los brazos, por lo cual no hay problema si se quiere trabajar con una botella de 250 mililitros o si se trata de una de tres litros.

El mecanismo está dividido en varias secciones: la base y el brazo-compactador. Como pieza principal está el brazo-compactador, el cual tiene la característica de adaptarse al volumen de las botellas PET. El dispositivo tendrá la funcionalidad de ser un compactador mecánico manual, el cual no rompe con los procesos culturales ni genera un gasto energético en el proceso de fabricación de los ladrillos Ecológicos.

No obstante, los valores exactos de resistencia, rapidez y otras variables aún son materia de estudio, pues según el grupo investigador conocer el ahorro en tiempo gracias al dispositivo es el paso que sigue luego de obtener el título de invención.

“Sabemos que es más rápido y se puede lograr una mejor compactación, pero aún están por definir todos esos valores con exactitud” fueron las palabras de Mario Alberto Luna del Risco, profesor y líder de esta iniciativa.

La Superintendencia de Industria y Comercio otorgó a la Universidad de Medellín patente de invención para la creación titulada: “compactador mecánico de residuos para elaboración de eco-ladrillos” mediante la Resolución N° 55947. Esta tendrá vigencia a partir del 13 de febrero de 2015, hasta 13 de febrero de 2035.

La implementación y uso del compactador mecánico permitirá que personas de escasos recursos, organizaciones no gubernamentales, grupos que trabajan en pro de personas que actualmente no tienen viviendas dignas, puedan de manera rápida elaborar eco-ladrillos para la construcción de viviendas (sostenibles).

En el desarrollo del prototipo funcional la Universidad de Medellín invirtió un valor aproximado de once millones quinientos (\$11.500.000) en pesos colombianos.

La tecnología es el resultado de un caso de innovación registrado en el año 2015 y que desde la Universidad de Medellín participan los profesores del Grupo de Investigación en

Energía (GRINEN) Mario Alberto Luna del Risco, Sebastián Villegas Moncada, Carlos Andrés Arredondo Orozco, el estudiante en ingeniería de telecomunicaciones Santiago Saldarriaga Escobar y el estudiante en ingeniería ambiental José Daniel Uribe Guarín.



Figura 10: Compactador mecánico de residuos para elaboración de eco-ladrillos.

Fuente: El colombiano.

CAPÍTULO 2: EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS ALBAÑILERÍA DE ECO-LADRILLOS

2.1 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO

En el año 2014 se realizaron estudios en la Universidad de Valparaíso para determinar las propiedades de los eco-ladrillos. Dentro de estas se encuentran sus características térmicas y acústicas, además de su resistencia ante la acción del fuego.

Para determinar estas propiedades se construyeron paneles con eco-ladrillos utilizando los dos métodos constructivos mencionados en el primer capítulo para someterlos a distintas pruebas y ensayos utilizando referencias de las distintas normas existentes en Chile.

El fin del presente capítulo es la metodología de los ensayos realizados a este material en la Universidad de Valparaíso, y especificar los ensayos de compresión de unidad de albañilería, de compresión axial y compresión diagonal que se realizaron en la presente investigación.

Para determinar la resistencia básica a la compresión axial que posee un muro de eco-ladrillo se construyeron prismas con los dos métodos existentes para someterlos a ensayos, y para determinar la resistencia básica al corte que posee un muro de eco-ladrillo se construyeron muretes con los dos métodos existentes para someterlos a ensayos. Estos muretes son muy similares a los que se construyeron para determinar las propiedades térmicas y acústicas y su resistencia ante la acción del fuego, pero el mortero utilizado es distinto.

2.2 FABRICACIÓN DE ECO-LADRILLOS

Para la construcción de las muestras a ensayar se elaboraron eco-ladrillos con botellas PET de 1,5 litros de la marca comercial "WATTS" y residuos inorgánicos domiciliarios, separando los residuos entre duros y blandos, triturando los primeros para luego depositarlos en las botellas y compactándolos, obteniendo un eco-ladrillo mediano hecho en casa.



Figura 11: Eco-ladrillo mediano fabricado.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.2.1 Peso de los eco-ladrillos

Se procedió a pesar los eco-ladrillos fabricados para saber cuánto pesa el producto final y así determinar la cantidad de residuos sólidos domésticos que se reciclan con este material.

Se pesaron siete botellas sin rellenar y diez eco-ladrillos compactados, obteniéndose los siguientes resultados:

Eco-ladrillo	Peso botella (kg)
1	0,05109
2	0,04641
3	0,05347
4	0,04769
5	0,05217
6	0,0499
7	0,04921
Promedio	0,050

Tabla 3: Peso de botellas PET.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Eco-ladrillo	Peso eco-ladrillo (kg)	Peso botella (kg)	Peso RSD (kg)
1	0,30455	0,050	0,255
2	0,34958	0,050	0,300
3	0,34571	0,050	0,296
4	0,28931	0,050	0,239
5	0,31741	0,050	0,267
6	0,31734	0,050	0,267
7	0,25727	0,050	0,207
8	0,27555	0,050	0,226
9	0,27418	0,050	0,224
10	0,24241	0,050	0,192
Promedio	0,297	--	0,247

Tabla 4: Peso de eco-ladrillos compactados y cantidad de material reciclado.

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 12: Peso de un eco-ladrillo.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.3 **ENSAYO DE MORTERO**

En este trabajo se determinó utilizar mortero predosificados en seco para la fabricación de muretes, prisma y probetas de eco-ladrillos para realizar ensayos. Estos son: mortero de pega Topex, mortero de estuco interior Topex y mortero de estuco exterior Topex.

Debido a que la empresa distribuidora no posee las características técnicas claves (resistencia, tamaño máximo nominal, etc.) al público, el profesor guía recomendó tomar las especificaciones técnicas de morteros predosificados de la marca Presec para este estudio. Estos morteros son: Presec A-01 pega albañilería normal, Presec I-01 Estuco interior y Presec E-01 Estuco exterior.

Cabe destacar que de los morteros Topex solo se especifica la dosis de agua, y esta se especifica en las siguientes características técnicas.

2.3.1 Características técnicas de los morteros precodificados

2.3.1.1 Presec A-01 pega albañilería normal

Resistencia característica	100 kg/cm ²
Resistencia a la tracción	3 kg/cm ²
Grado de resistencia hidráulica	6 – 7
Retentividad	Grado 1 (> 70%)
Tamaño máximo nominal	2,5 mm
Rendimiento	14 lt/saco
Dosis de agua	3 ± 0,5 lt/saco
Consistencia	Plástica
Espesor de aplicación	10 mm min.
Suministro	Sacos de 25 kg

Tabla 5: Características técnicas Presec A-01 pega albañilería normal.

Fuente: Presec.

2.3.1.2 Presec I-01 Estuco interior

Resistencia característica	60 kg/cm ²
Resistencia a la tracción	3 kg/cm ²
Grado de resistencia hidráulica	6 – 7
Retentividad	Grado 1 (> 70%)
Tamaño máximo nominal	2,5 mm
Rendimiento	14 lt/saco
Dosis de agua	3,5 ± 0,5 lt/saco
Consistencia	Plástica
Espesor de aplicación	10 – 15 mm por carga
Suministro	Sacos de 25 kg

Tabla 6: Características técnicas Presec I-01 Estuco interior.

Fuente: Presec.

2.3.1.3 Presec E-01 Estuco exterior

Resistencia característica	60 kg/cm ²
Resistencia a la tracción	3 kg/cm ²
Grado de resistencia hidráulica	7 – 8
Retentividad	Grado 1 (< 70%)
Tamaño máximo nominal	2,5 mm
Rendimiento	14 lt/saco
Dosis de agua	No + de 4 lt/saco
Consistencia	Plástica

Espesor de aplicación	10 – 15 mm por carga
Suministro	Sacos de 25 kg

Tabla 7: Características técnicas Presec E-01 Estuco exterior.

Fuente: Presec.

2.3.2 Normativa del ensayo de mortero

Para determinar la resistencia mecánica que poseen los morteros Topex utilizados, se desarrollaran ensayos para estudiar el comportamiento de estos. Para realizar este ensayo se tomó referencia las normas chilenas vigentes que se nombran a continuación:

NCh 2256/1 Of 2013 Morteros – Parte1: Requisitos generales. Esta norma fija los requisitos generales que deben cumplir todos los morteros cuyo aglomerante básico es el cemento, así también los requisitos específicos según su uso en la construcción.

NCh 158 Of. 67: Cementos – Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento. Esta norma establece los procedimientos para determinar la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros de cemento.

Los morteros son una mezcla constituida por cemento, arena y eventualmente otro material conglomerante que con adición de agua reacciona y adquiere resistencia. Se clasifican según su grado de resistencia a compresión, por tipos de consistencia, por retentividad y por otras características, en este estudio los clasificaremos según su resistencia.

Con respecto a su clasificación a su resistencia especificada a la compresión se realiza mediante los trozos resultantes del ensayo de flexión a la edad de 28 días de la probeta 40 mm x 40 mm x 160 mm (RILEM)

Grado del mortero	Resistencia especificada MPa
M _a 1,0	1,0
M _a 2,5	2,5
M _a 5,0	5,0
M _a 10,0	10,0
M _a 15,0	15,0
M _a 20,0	20,0

M _a d	d
Nota: Se puede especificar otros grados de resistencia, d, mayores que M 20,0.	

Tabla 8: Grados de morteros según la resistencia a la compresión a los 28 días.

Fuente: NCh 2256/1 Of 2013.

Se debe considerar que 1 MPa es equivalente a 10,18716 kgf/cm².

Para realizar este ensayo se utilizarán moldes normalizados que estén divididos en tres compartimentos prismáticos, que permitan confeccionar tres probetas de las siguientes dimensiones:

- Longitud: 160 mm, tolerancias ± 0,4 mm.
- Ancho: 40 mm, tolerancias ± 0,1 mm.
- Altura: 40 mm, tolerancias ± 0,1 mm.

El molde se cubrirá interiormente con una delgada capa de desmoldante y se introducirá en cada uno de los compartimentos una primera capa de mortero, directamente desde el mezclador. Esta capa se nivelará por medio de una espátula plana con dos movimientos de ida y vuelta apoyándose sobre el borde superior de la mesa, la que se hará funcionar para compactar la primera capa, luego se colocará la segunda capa de mortero, la que se enrasará y compactará. Una vez terminada la compactación se enrasa con una regla metálica, mantenida en posición vertical, que se desplazará con un movimiento de tierra perpendicular a la longitud del molde.

Terminado el llenado, el molde se debe cubrir con una plancha de material no absorbente, para evitar la evaporación del agua.

La NCh 158 especifica que las muestras se deben desmoldar 20 minutos antes del ensayo, pero por falta de moldes se desmoldarán a los 4 días para ingresarlos a la cámara de curado hasta el día del ensayo.

2.3.3 Fabricación de muestras

Para efecto de este estudio y comparación de resultados se fabricaron nueve probetas por cada tipo de mortero los que se ensayaron a la edad de 28 días.

Como los morteros son predosificados, solo se le agrego la dosis de agua según las especificaciones del fabricante.

Cabe destacar que las muestras de mortero de estuco interior y exterior se debieron fabricar nuevamente, debido a que se desmoldaron antes de tiempo destruyéndose al instante, por lo que se pesó la cantidad de mortero a usar y se calculó la cantidad de agua dependiendo de la dosis dada por el fabricante.

El mortero de pega se extrajo desde el mezclador cuando se estaban fabricados los muretes de eco-ladrillos.

2.3.3.1 Fabricación probetas mortero pega

Probetas Rilem Mortero Topex de Pega				
Probetas	Dia de fabricación	Fecha de ensaye	Edad (días)	Dosis de agua (lt)
1	Lunes 12 de agosto de 2019	09-sept	28	3,5
2	Lunes 12 de agosto de 2019	09-sept	28	3,5
3	Lunes 12 de agosto de 2019	09-sept	28	3,5
4	Lunes 26 de agosto de 2019	23-sept	28	3,5
5	Lunes 26 de agosto de 2019	23-sept	28	3,5
6	Lunes 26 de agosto de 2019	23-sept	28	3,5
7	Lunes 26 de agosto de 2019	23-sept	28	3,5
8	Lunes 26 de agosto de 2019	23-sept	28	3,5
9	Lunes 26 de agosto de 2019	23-sept	28	3,5

Tabla 9: Fabricación de probetas de mortero de pega.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.3.3.2 Fabricación probetas mortero estuco interior

Probetas Rilem Mortero Topex de Estuco Interior				
Probetas	Dia de fabricación	Fecha de ensaye	Edad (días)	Dosis de agua (lt)
1	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
2	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
3	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
4	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
5	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
6	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0

7	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
8	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
9	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0

Tabla 10: Fabricación de probetas de mortero de estuco interior.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.3.3.3 Fabricación probetas mortero estuco exterior

Probetas Rilem Mortero Topex de Estuco Exterior				
Probetas	Dia de fabricación	Fecha de ensaye	Edad (días)	Dosis de agua (lt)
1	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
2	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
3	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
4	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
5	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
6	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
7	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
8	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0
9	Martes 27 de agosto de 2019	24-sept	28	4,0

Tabla 11: Fabricación de probetas de mortero de pega.

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 13: Probetas de mortero de estuco fabricadas.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

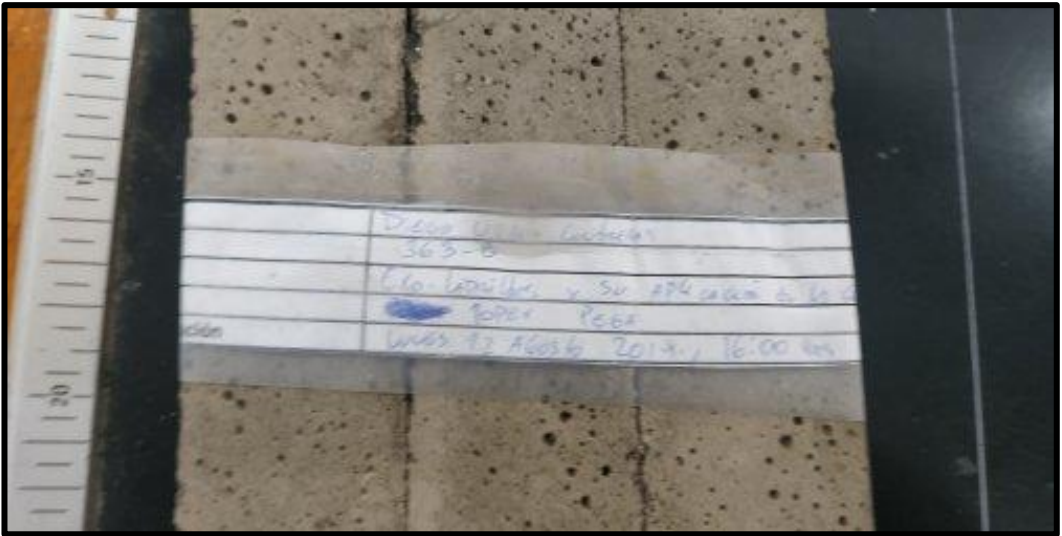


Figura 14: Probetas de mortero de pega fabricadas.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.3.4 Resistencia mecánica

La resistencia mecánica se obtiene mediante el ensayo de flexión y compresión, utilizando el procedimiento establecido en la NCh 158 Of 1967.

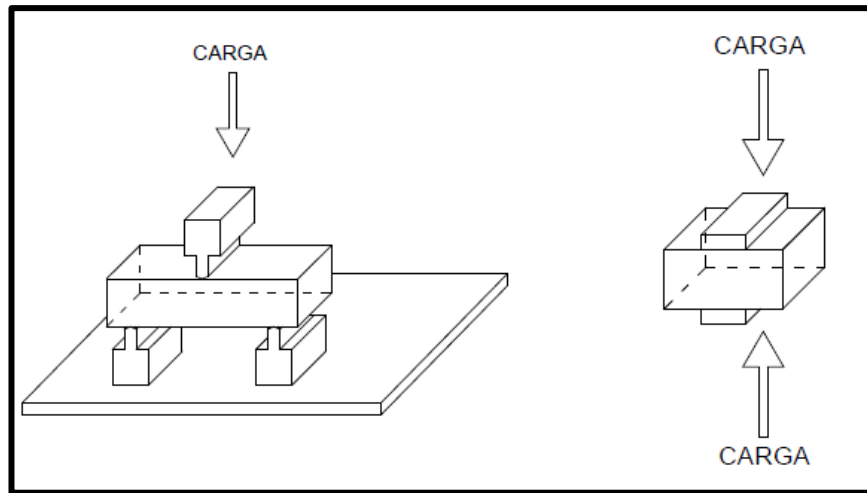


Figura 15: Ensayo a compresión y flexión en probetas rílem.

Fuente: Gavilán, 2014.

2.3.4.1 Ensayo de flexión

La probeta se apoyará en una de las caras laterales del moldaje, sobre los rodillos de apoyo de la máquina de flexión, aplicando una cara a través de un rodillo superior con una velocidad de carga de 5 ± 1 kg/s como lo muestra la figura 12.

Los trozos de las probetas rotas a flexión, se conservarán húmedos hasta el momento en que cada uno de ellos se someta a compresión.



Figura 16: Ensayo de flexión de probetas de mortero.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.3.4.2 Ensayo de compresión

Cada trozo obtenido en el ensayo a flexión se ensayará a compresión en una sección de 40 mm × 40 mm, aplicándose la carga a las dos caras provenientes de las laterales del moldaje, colocándose entre las placas de la máquina de compresión.

La velocidad de carga será tal que la presión sobre la probeta aumente entre 10 y 20 kg/cm² por segundo.



Figura 17: Ensayo de compresión de probetas de mortero.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.4 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

La construcción de eco-ladrillo utiliza la misma técnica que los ladrillos y bloques de hormigón, por lo que es de suma importancia saber cuánta carga soporta una unidad de albañilería.

Estudios anteriores determinaron el un eco-ladrillo en disposición vertical no posee resistencia alguna, deformándose inmediatamente cuando se le aplica una carga. Por el contrario, al eco-ladrillo en disposición horizontal se le aplico una carga promedio de 250 kg, obteniendo una resistencia promedio de $1,887 \text{ kg/cm}^2$, un 95,28% menos resistente que un ladrillo fiscal, que resiste 40 kg/cm^2 según la NCh 2123 Of. 1997, por lo que es necesario mejorar la resistencia que tiene una unidad de este tipo de albañilería

2.4.1 Normativa del ensayo de compresión en unidades de albañilería

Para mejorar la resistencia de los eco-ladrillos, se decidió considerar que la unidad de esta albañilería será el eco-ladrillo recubierto con mortero de pega Topex, y para determinar su resistencia se tomó como referencia la siguiente norma chilena vigente:

NCh 167 Of. 2001 construcción – Ladrillos cerámicos – Ensayos. Esta norma establece el procedimiento para realizar los ensayos de resistencia a la compresión de los ladrillos cerámicos.

Esta norma define la resistencia a la compresión como la relación entre la carga máxima que resiste la unidad, cuando esta actúa perpendicularmente.

Para este ensayo se dispondrá de dos probetas (eco-ladrillo recubierto con mortero), una en disposición horizontal y otra en disposición vertical, para ser sometidas a compresión obteniendo la resistencia de cada unidad de albañilería.

Con el objetivo de conseguir la planeidad en las caras de aplicación de carga, la norma establece que estas se deben pulir o refrentar con azufre, además la velocidad de la carga no debe ser superior a 20 MPa/min .

Antes de realizar el ensayo, se deben limpiar los apoyos de la prensa, así como las caras de aplicación de las muestras, retirando el material suelto.

La NCh 169 nos entrega una tabla con los grados de ladrillos cerámicos.

Requisitos mecánicos	Grados de ladrillos cerámicos						
	1			2		3	
	Clases de ladrillos cerámicos						
	MqM	MqP	MqH	MqP	MqH	MqP	MqH
Resistencia a la compresión, mínima (MPa)	15	15	15	11	11	5	5
Absorción de agua, máxima %	14	14	14	16	16	18	18
Adherencia, mínima (MPa) (área neta)	0,4	0,4	0,4	0,35	0,35	0,30	0,25
NOTA - Los requisitos de los ladrillos cerámicos artesanales son tratados en NCh2123.							

Tabla 12: Características de los ladrillos cerámicos.

Fuente: NCh 169 Of. 2001.

2.4.2 Elaboración unidades de albañilería

Se dispone de un molde de madera terciado estructural de 15 mm de espesor de dimensiones 0,153 x 0,183 x 0,358 (m) para la elaboración de la unidad de albañilería de prueba para ser ensayado.

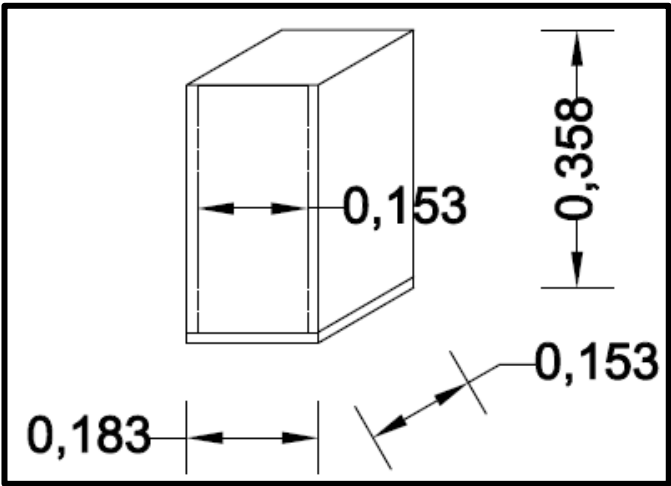


Figura 18: Moldaje para la fabricación de una unidad de albañilería de eco-ladrillo.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Aplicar desmoldante al interior del molde y proceder a la colocación de la primera una base de mortero de pega Topex con espesor de 2,3 cm.

Colocar el eco-ladrillo al interior del molde, dejando un espacio de 3 cm para aplicar mortero de pega Topex como recubrimiento.

Rellenar con mortero hasta la abertura superior enrasando con una regleta.

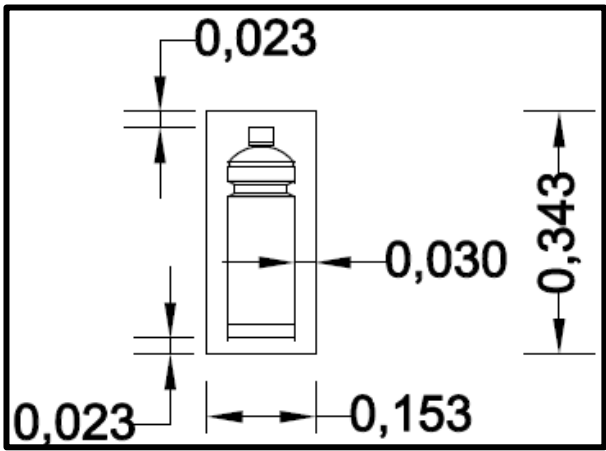


Figura 19: Vista frontal de una unidad de albañilería de un eco-ladrillo.

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 20: Fabricación de una unidad de albañilería de eco-ladrillo.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El curado de las probetas fabricadas en el laboratorio, se almacenaron cubriéndolos con polietileno durante los primeros 14 días. Transcurrido este tiempo, se mantuvieron descubiertos en las condiciones ambientales del laboratorio durante las últimas semanas.

2.5 ENSAYO DE RESISTENCIA BÁSICA AL CORTE DE MURETES DE ECO-LADRILLOS

Este ensayo busca determinar la resistencia básica al corte de muretes de eco-ladrillos contruidos con ambos métodos constructivos Ecotec y Pura Vida, ambos descritos en el capítulo 1.

2.5.1 Normativa de ensayo de compresión diagonal

Para determinar la resistencia básica al corte que poseen los muros de eco-ladrillos al aplicar una compresión en su diagonal, se desarrollaron ensayos para estudiar el comportamiento de este material. Para realizar este ensayo se tomó referencia de una norma chilena vigente, la que se nombran a continuación:

NCh 2123 Of. 1997 Albañilería confinada – Requisitos de diseño y cálculo. 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, enmarcando estos totalmente por elementos de hormigón armado. Esta norma se utilizará como referencia para seguir los pasos indicados al momento de realizar ensayos que determinan la resistencia básica al corte al aplicar compresión en la diagonal de un murete de albañilería. El anexo A de esta norma establece el método para la confección de muretes de albañilería y el procedimiento para efectuar el ensayo de compresión diagonal hasta llegar a la rotura de la muestra.

2.5.2 Requisitos de ensayo

Para realizar este ensayo, la norma establece que la prensa de ensayo debe tener una rigidez suficiente para transmitir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y dirección de cargas, además de poseer una rótula que permita hacer coincidir la resultante de la carga aplicada con la diagonal cargada del murete.

Los cabezales deben aplicar la carga en la dirección diagonal del murete como lo muestra la figura 27. La longitud r de repartición de la carga aplicada debe ser menor o igual a 15 cm para evitar los efectos de confinamientos del murete, y el ancho de este debe ser igual al espesor del muro.

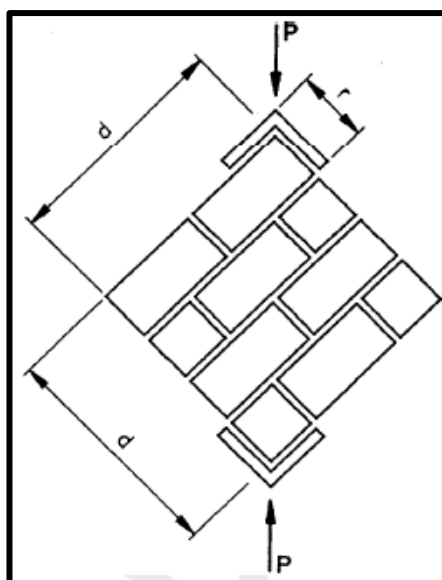


Figura 21: Cabezales para el ensayo de compresión diagonal de muretes de albañilería.

Fuente: Nch 2123 Of. 1997.

Según la normativa, la longitud de la arista del murete a ensayar debe ser igual o mayor a 60 cm, debiendo tener al menos 4 hiladas. El muro construido con el método Pura Vida no cumple con este requisito, debido a que la altura que posee el eco-ladrillo en su forma vertical es de 30 cm, por lo que el murete sería demasiado grande para realizar este ensayo, no así el muro construido con el método Ecotec que posee una arista de 60 cm y más de 4 hiladas.

La norma establece que los muretes deben construirse reflejando las condiciones y calidad de los materiales que se tendrán efectivamente en la construcción, pero como el eco-ladrillo no es un material utilizado en la industria de la construcción y tampoco posee una normativa, se tomó como referencia la NCh 2123 para la construcción de las muestras a ensayar, cumpliendo con las condiciones y requisitos de calidad de los materiales.

Respecto al curado de los muretes estos deben almacenarse cubriéndolos con polietileno durante los primeros 14 días y durante las últimas semanas deben mantenerse descubiertos en las condiciones ambientales del laboratorio.

Antes de realizar el ensayo, deben refrentarse las zonas de apoyo de los cabezales con una pasta de yeso el que debe ser menor o igual a 4 mm y estas deben colocarse 24 horas antes de realizar el ensayo.

La normativa específica que resistencia básica al corte se debe especificar a la edad de 28 días y se determina mediante el ensayo de 5 muretes quedando definida por el valor siguiente:

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

En que:

τ_m = resistencia básica al corte.

x = resistencia promedio de los cinco muretes ensayados.

x_5, x_1 = corresponden al mayor y al menor valor de resistencia obtenidos de los ensayos.

Por motivos de tiempo y de presupuesto, se decidió realizar esta experiencia con un solo murete para cada una de las metodologías de construcción con eco-ladrillos.

Al momento de ensayar debemos asegurar de que la superficie de las placas de carga y apoyo de los cabezales estén limpios y que el murete este alineado en su diagonal vertical en el cabezal inferior con el centro de la placa de carga y por último se debe registrar la carga máxima aplicada, expresándola en N (kgf).

La carga se debe aplicar en forma continua, sin choques y a una velocidad uniforme, de modo que el ensayo no demore más de 3 a 4 minutos en alcanzar la carga de agrietamiento diagonal.

La resistencia básica de corte debe calcularse como el cuociente entre la carga de agrietamiento diagonal y el área bruta de la sección diagonal del murete, expresando el resultado en *MPa (kgf/cm²)* con una aproximación de 0,1 *MPa*.

La normativa entrega valores indicativos de resistencia básica al corte en muretes de distintas albañilerías. Estas se tomarán como referencias para comparar los resultados de los ensayos en muretes de eco-ladrillos.

Tipo de unidad		Grado del mortero (según NCh2256/1)	Resistencia básica de corte τ_m , MPa
Clase	f_p , MPa		
MqM	15,0	M 15,0	0,60
MqP	11,0	M 10,0	0,50
MqH	11,0	M 10,0	0,50
Artesanal	4,0	M 5,0	0,25
Bloque	5,0	M 10,0	0,30
Bloque	4,5	M 10,0	0,20

Tabla 13: Valores indicativos de la resistencia básica al corte.

Fuente: NCh 2123 Of 1997 Mof 2003.

2.5.3 Fabricación de muretes

2.5.3.1 Fabricación de murete método Ecotec

Los materiales que se utilizaron para la construcción del muro tipo horizontal o Ecotec, deben cumplir los requisitos impuestos por las normas vigentes.

Se dispone de un molde de madera terciado estructural de 15 mm de espesor de dimensiones 0,63 x 0,63 x 0,36 (m) para la elaboración del panel de prueba para ser ensayado.

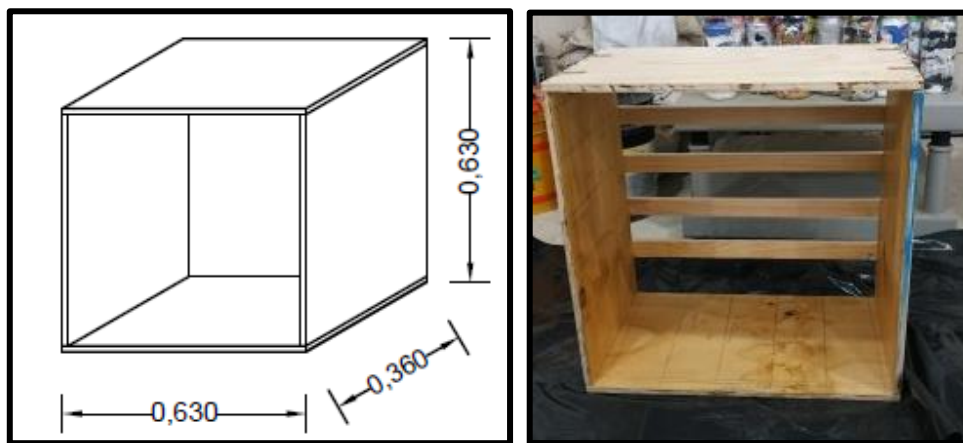


Figura 22: Moldaje del murete de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Colocar desmoldante a la base del molde y proceder a la colocación de la primera capa de mortero de pega Topex con espesor de 2,75 cm.

Colocar la primera hilada de eco-ladrillos a 2 cm de separación entre ellos.

Aplicar la segunda capa de mortero de pega marca Topex, rellenando las llagas a 2 cm de separación.

Colocar la segunda hilada de eco-ladrillos y proceder al amarre de estas.

Continuar con el mismo proceso hasta completar 8 hiladas como lo muestra la siguiente figura.

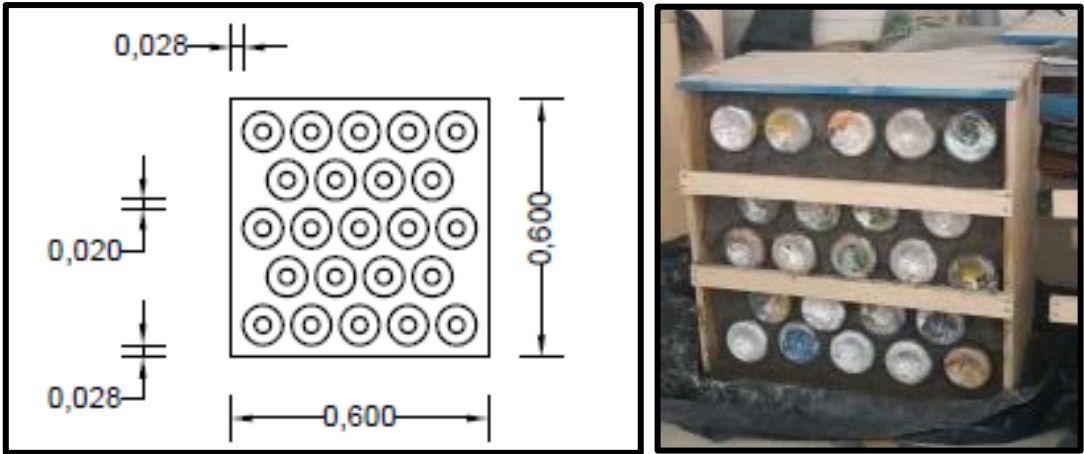


Figura 23: Vista frontal del murete de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Luego de 1 día, aplicar el mortero estuco interior Topex en dos capas.
 Esperar de 1 días hasta que el mortero de estuco interior fragüe. De allí aplicar el y mortero estuco exterior de la misma marca por el otro lado.

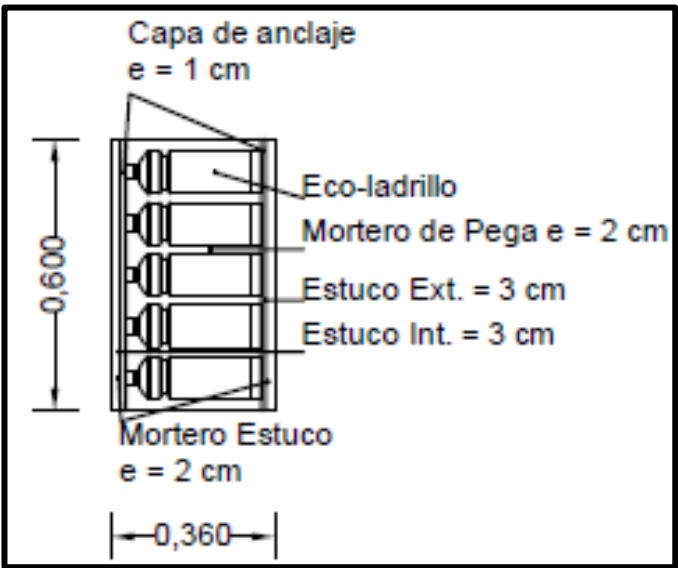


Figura 24: Vista lateral del murete de eco-ladrillos en posición horizontal.

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Murete eco-ladrillos disposición Horizontal	
Inicio mortero de pega	Lunes 12 de agosto del 2019
Fin mortero de pega	Lunes 19 de agosto de 2019
Inicio Mortero Estuco Interior	Lunes 19 de agosto de 2019
Fin Mortero Estuco Interior	Lunes 19 de agosto de 2019
Inicio Mortero Estuco Exterior	Martes 20 de agosto de 2019
Fin Mortero Estuco Exterior	Martes 20 de agosto de 2019

Tabla 14: Fabricación de murete de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

La Nch 1928 establece que el mortero alcanza su mayor resistencia a los 28 días. Una vez transcurrido ese periodo de tiempo es cuando se procederá a ensayar el panel de muro confeccionado.

2.5.3.2 Elaboración murete método Pura Vida

Para la elaboración del muro de tipo vertical, los materiales a utilizar deben cumplir con los requisitos impuestos por las normas vigentes.

En la descripción del sistema constructivo con disposición vertical, se hace mención la enfierradura en el vano donde se desarrolla el muro de eco-ladrillos para lograr una mayor sujeción de la malla a la botella y evitar el efecto de pandeo de las botellas dispuestas verticalmente.

Para el caso de estudio, no se incorporará la enfierradura, ya que solo se desea estudiar el comportamiento del eco-ladrillo con el revestimiento.

Se dispone de un molde de madera terciado estructural de 15 mm de espesor con dimensiones 0,630 x 0,670 x 0,153 (m) para la elaboración del panel de prueba para ser ensayado.

Colocar desmoldante a la base del molde y proceder a la colocación de la primera capa de mortero de pega con espesor de 2,3 cm.

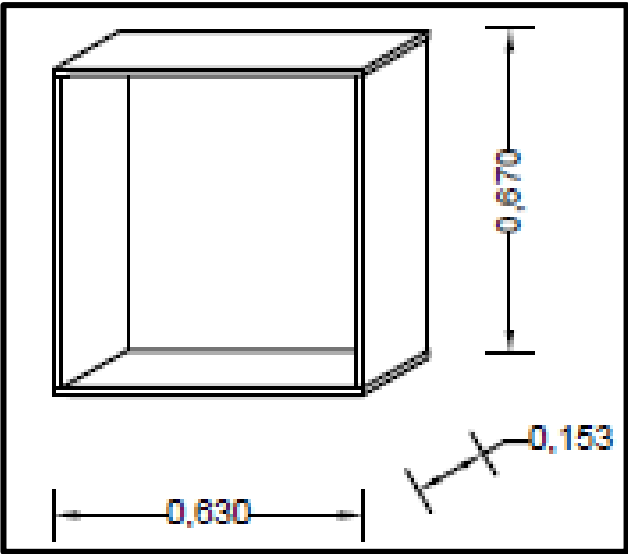


Figura 25: Moldaje de murete de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Amarrar los eco-ladrillos a la malla galvanizada con alambre negro #18 dejándola lo más tensa posible.

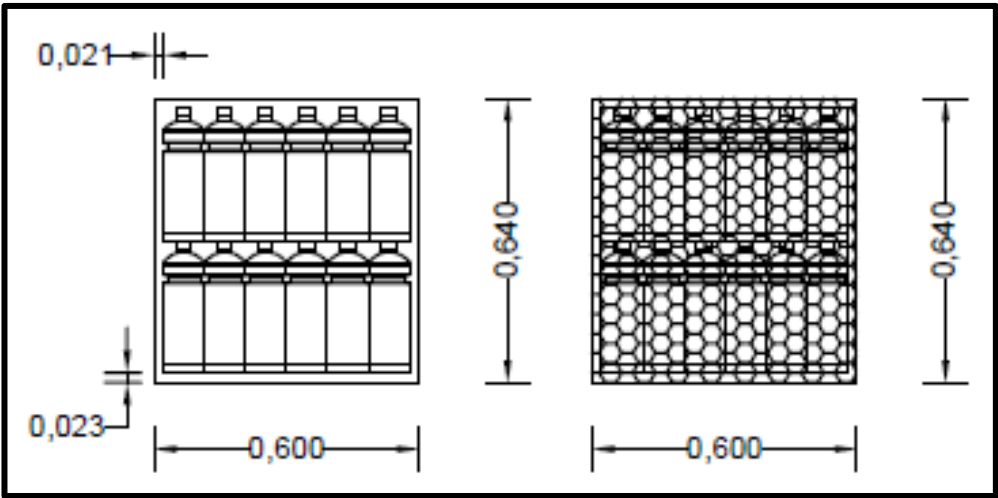


Figura 26: Vista frontal del murete de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Aplicar la capa de anclaje de 1 cm de espesor en ambas las caras del panel, utilizando mortero estuco interior Topex por una cara y por la otra, mortero estuco exterior marca Topex.

Pasado 3 días de secado de la primera capa, poner una la segunda capa de estuco de 2 cm de espesor utilizando los morteros correspondientes.

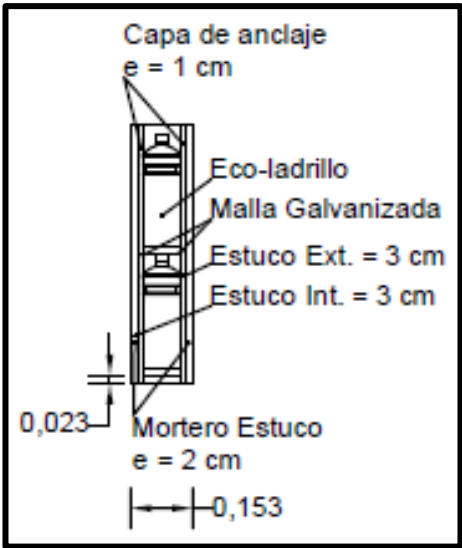


Figura 27: Vista lateral del murete de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 28: Vista frontal del murete de eco-ladrillos en disposición vertical con capa de anclaje.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Murete eco-ladrillos disposición vertical	
Inicio mortero de pega	Lunes 14 de agosto del 2019
Fin mortero de pega	Lunes 16 de agosto de 2019
Inicio Mortero Estuco Interior	Lunes 19 de agosto de 2019
Fin Mortero Estuco Interior	Lunes 19 de agosto de 2019
Inicio Mortero Estuco Exterior	Martes 20 de agosto de 2019
Fin Mortero Estuco Exterior	Martes 20 de agosto de 2019

Tabla 15: Fabricación de murete de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

2.6 ENSAYO DE RESISTENCIA BÁSICA A LA COMPRESIÓN AXIAL DE PRISMAS DE ECO-LADRILLOS

Este ensayo busca determinar la resistencia básica a la compresión de prismas de eco-ladrillos contruidos con ambos métodos constructivos, Ecotec y Pura Vida, ambos descritos en el capítulo 1.

2.6.1 Normativa del ensayo compresión axial

Para determinar la resistencia básica a la compresión que poseen los muros de eco-ladrillos, se desarrollaran ensayos para estudiar el comportamiento de este material. Para realizar este ensayo se tomó referencia de dos normas chilena vigente, la que se nombran a continuación:

NCh 2123 Of 1997 Albañilería confinada – Requisitos de diseño y cálculo. Esta norma se utilizará como referencia para seguir los pasos indicados para realizar los cálculos para determinar la resistencia básica a la compresión de la albañilería.

NCh 1928 Of 1993 Albañilería armada – Requisitos para el diseño y cálculo. El anexo A de esta norma establece el método para la confección de prismas de albañilería y el procedimiento para efectuar el ensayo a la compresión hasta llegar a la rotura de la muestra.

2.6.2 Requisitos de ensayo

Para realizar este ensayo, la norma establece que la prensa de ensayo debe tener una rigidez suficiente para transmitir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y

dirección de cargas, además de poseer un sistema de rótula que permita hacer coincidir la resultante de la carga aplicada con el eje prisma.

Respecto a la construcción del prisma, este debe reflejar, en lo mayor posible, la condiciones y calidad de los materiales que se tendrán efectivamente en la obra.

El espesor del prisma debe ser igual al espesor de los muros y vigas de la estructura. Su longitud debe ser mayor o igual al espesor y la altura debe incluir mínimo tres hiladas y el cuociente entre la altura y el espesor debe ser mayor o igual a 3.

La construcción de los prismas se realizará con la misma metodología utilizada en la construcción de muretes de eco-ladrillos.

El curado de los prismas contruidos en el laboratorio, deben almacenarse cubriéndolos con polietileno durante los primeros 14 días. Transcurrido este tiempo, los prismas deben mantenerse descubiertos en las condiciones ambientales del laboratorio durante las últimas semanas.

Antes de ensayarse, el prisma debe refrentarse en sus extremos con una pasta de yeso, esta no debe ser mayos a 3,5 cm y se deben aplicar 24 horas antes del ensayo.

El prisma debe ensayarse a la edad de 28 días, la que se considera como edad de referencia.

La norma específica que para determinar la resistencia a la compresión se debe realizar el ensayo en cinco prismas, sacando el promedio de las dimensiones e ingresando los resultados de la experiencia en la siguiente formula

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

En que:

τ_m = resistencia a la compresión axial.

$\bar{x}$ = resistencia promedio de los cinco prismas ensayados.

x_5, x_1 = corresponden al mayor y al menor valor de resistencia a la compresión obtenidos de los ensayos.

Por motivos de tiempo y de presupuesto, se decidió realizar esta experiencia con un solo prisma para cada una de las metodologías de construcción con eco-ladrillos.

Al momento de ensayar debemos asegurar de que la superficie de las placas de carga y las caras extremas del prisma deben estar limpias y que el prisma quede alineado por su eje central con ejes de las placas y se debe registrar la carga máxima, expresándola en N (kgf).

La carga se debe aplicar en forma continua, sin choques y a una velocidad uniforme, de modo que el ensayo no demore más de 3 a 4 minutos en alcanzar la carga máxima.

La resistencia prismática debe calcularse como el cuociente entre la carga máxima y el área de la sección transversal, expresando el resultado en MPa (kgf/cm^2) con una aproximación de $0,1 MPa$.

2.6.3. Fabricación de prismas

2.6.3.1 Fabricación de prisma método Ecotec

El método Ecotec utiliza los eco-ladrillos de forma horizontal, dándole un espesor de 36 cm al muro aproximadamente, debido a esta dimensión, las demás distancias de nuestro prisma deben ser diseñadas para que cumpla con los requisitos de la norma, pero como el espesor es demasiado grande, se decidió no construir el prisma a una altura mayor a 60 cm, ya que solo se está tomando la norma como referencia. Esto se aplica de igual manera para el prisma de eco-ladrillos método Pura Vida. Esto se aplica de igual manera para el prisma con eco-ladrillos de forma vertical, dejando como altura máxima 64 cm.

Por lo anterior es que nuestro prisma de eco-ladrillos horizontal tendrá dimensiones de $0,374 \times 0,36 \times 0,60$ (m) por lo que no cumplirá con la altura requerida.

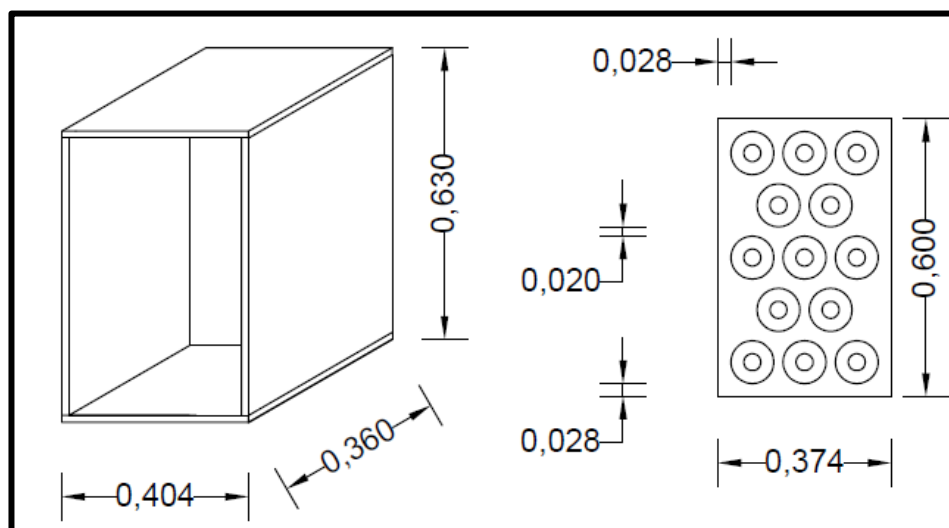


Figura 29: Vista frontal del prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Prisma eco-ladrillos disposición horizontal	
Fecha inicio mortero de pega	Lunes 13 de agosto del 2019
Fecha fin mortero de pega	Lunes 18 de agosto de 2019
Inicio Mortero Estuco Interior	Lunes 19 de agosto de 2019
Fin Mortero Estuco Interior	Lunes 19 de agosto de 2019
Inicio Mortero Estuco Exterior	Martes 20 de agosto de 2019
Fin Mortero Estuco Exterior	Martes 20 de agosto de 2019

Tabla 16: Fabricación de prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

2.6.3.2 Fabricación de prisma método Pura Vida

Las dimensiones del prisma de eco-ladrillos vertical son 0,228 x 0,153 x 0,64 (m), este tampoco cumplirá con el requisito de altura.

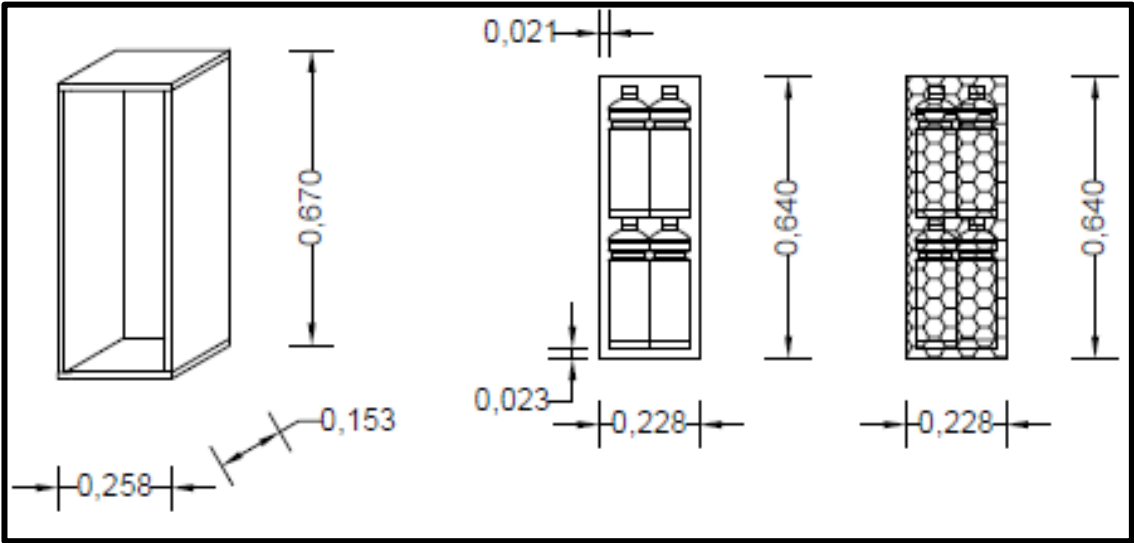


Figura 30: Vista frontal del prisma de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Prisma eco-ladrillos disposición vertical	
Fecha inicio mortero de pega	Lunes 14 de agosto del 2019
Fecha fin mortero de pega	Lunes 16 de agosto de 2019
Inicio Mortero Estuco Interior	Lunes 19 de agosto de 2019
Fin Mortero Estuco Interior	Lunes 19 de agosto de 2019
Inicio Mortero Estuco Exterior	Martes 20 de agosto de 2019
Fin Mortero Estuco Exterior	Martes 20 de agosto de 2019

Tabla 17: Fabricación de prisma de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

2.7 ENSAYO DE AISLACIÓN TÉRMICA DE MUROS CONSTRUIDOS CON ECO-LADRILLOS

Para determinar las propiedades de aislación térmica que poseen los eco-ladrillos, se desarrollaron ensayos para estudiar el comportamiento de este material. Para realizar este ensayo se tomó referencia de dos normas chilenas vigentes, las cuales se nombran a continuación:

2.7.1 Normativa del ensayo de aislación térmica

NCh 851 of 1983 Aislación Térmica – Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica: esta norma se utilizó para seguir los pasos indicados al momento de realizar ensayos que determinan la conductividad térmica y la capacidad de aislación térmica de un determinado material o elemento constructivo.

NCh 849 of 1987 Aislación Térmica – Transmisión Térmica – Terminología, Magnitudes, Unidades y Símbolos: esta norma determina la terminología que se necesita utilizar en el estudio de propiedades térmicas, al igual que las Unidades correspondientes y los Símbolos necesarios que deben usarse al momento de analizar los resultados en la etapa posterior al ensayo en Laboratorio.

Este ensayo toma como referencia la norma NCh 851, ya que permite obtener resultados en probetas razonablemente significativas de los elementos constructivos, mediante el análisis dentro de una cámara térmica.

2.7.2 Fabricación de muestras

Para este ensayo se construyeron seis muretes de eco-ladrillos idénticos a los usados en el ensayo de resistencia básica al corte descritos en el punto 2.5.3, tres en disposición vertical y tres en disposición horizontal.

2.7.3 Construcción de cámara térmica

Para realizar este ensayo, se construyó una cámara térmica a escala, que se encuentra aislada completamente en cada una de sus caras. Esta cámara fue construida con estructura de tabiquería metálica, perfil montantes 60 x 38 x 0,5 mm y canal 61 x 20 x 0,5 mm, con planchas de yeso cartón de 10 mm y lana mineral de 50 mm en su interior. Se elaboró una tapa removible y ajustable de osb de 11,1 mm, la que al taparse para efectuar los ensayos y al agregarse en las aristas del cierre lana mineral adicional, aísla por completo el interior de dicha cámara.



Figura 31: Cámara de ensayo.

Fuente: Gavilán, 2014.



Figura 32: Aislación tapa y panel entre cámaras con lana de mineral

Fuente: Gavilán, 2014.

Dentro de esta cámara, al momento de comenzar el ensayo, se instala de manera vertical el panel o elemento del cual se busca obtener su capacidad de conductividad térmica, el cual debe tener la misma dimensión de la distancia interior libre entregada por la cámara, creando los espacios dentro de la misma cámara, los cuales no tienen puentes de transferencia debido a la unión hermética generada.

A continuación, se instala dentro de uno de los espacios generados al interior de la cámara una fuente de calor, luego se montan dos sensores del equipo de medición utilizado, uno en cada cara del panel estudiado, por lo tanto, un sensor se ubica en el espacio que contiene las fuentes emisoras de calor, y el otro sensor, se ubica en el espacio que no contiene emisión de calor alguna.

En este ensayo, la fuente de calor seleccionada corresponde a 6 ampolletas instaladas de manera uniforme dentro de la sección de la cámara con el objetivo de entregar calor a la cara del panel, cada una de ellas con una potencia de 100 Watts.

El objetivo del ensayo fue encender la fuente de calor, de esta forma, medir cuanta temperatura tiene la muestra en su cara que enfrenta la emisión de calor, y observar mediante el segundo sensor cuanto calor atraviesa el murete y llega hasta el extremo que no tiene fuente emisora de calor.

El elemento de medición utilizado corresponde al Xplorer GLX.

2.8 AISLACIÓN ACÚSTICA DE MUROS DE ECO-LADRILLOS

Para impedir que el sonido penetre o salga de un medio, en este caso una vivienda, esta se debe aislar acústicamente. El aislamiento acústico se logra usando materiales aislantes, materiales absorbentes, técnicas y tecnologías desarrolladas para aislar o atenuar el nivel sonoro de un determinado espacio.

El ruido a su vez es un factor contaminante constante en la mayoría de las ciudades afectando la calidad de vida. Se ha convertido en un grave problema fisiológico, psicológico, económico y social.

El ruido es toda sensación auditiva inarticulada generalmente desagradable para el oído. Se define como algo molesto, indeseable e irritante.

Para determinar las propiedades de aislación acústica que poseen los eco-ladrillos, se desarrollaron ensayos para estudiar el comportamiento de este material. Para realizar este ensayo se tomó como referencia la siguiente norma chilena vigente:

2.8.1 Normativa del ensayo de aislación térmica

NCh 2865 – 2004 Acústica – Medición de aislación acústica en construcciones y elementos de construcción – Medición en laboratorio de aislación acústica aérea de elementos de construcción pequeños: esta norma se utiliza para especificar un método de ensayo en laboratorio, para medir la aislación acústica de elementos de construcción pequeños bajo condiciones de campo difuso.

Esta norma entrega los resultados que se pueden utilizar para diseñar elementos de construcción con propiedades acústicas apropiadas, para comparar las propiedades de aislación acústica de los elementos de construcción y para clasificar estos elementos de acuerdo con sus capacidades de aislación acústica.

Esta norma se aplica a elementos de construcción, excepto puertas y ventanas, que tengan un área menor que 1 m^2 y a elementos de tamaños discretos con dimensiones laterales bien definidas y que transmiten sonido entre dos recintos adyacentes o entre un recinto y el exterior, independientemente de los elementos de construcción adyacentes.

Para realizar este ensayo se utilizó la cámara utilizada en los ensayos de determinación de propiedades de aislación térmica.

Dentro de esta cámara, al momento de comenzar a efectuarse el ensayo, se instala de manera vertical el panel o elemento del cual se busca obtener su capacidad de aislación acústica, este debe tener la misma dimensión de la distancia interior libre entregada por la cámara, creando dos espacios divididos dentro de la misma cámara.

A continuación, se instala dentro de uno de los espacios generados al interior de la cámara una fuente de sonido, luego se monta el sensor de sonido (sonómetro) en el espacio que contiene emisión sonora.

Este proceso se realiza con paneles de muro escala 1:1 con las medidas de 0,60 x 0,60 m. en el caso del panel desarrollado con eco-ladrillos horizontales y 0,60 x 0,64 m. en el caso del panel de muro con eco-ladrillos verticales.

El elemento de medición utilizado corresponde utilizado corresponde al Xplorer GLX.

2.9 RESISTENCIA AL FUEGO DE MUROS CONSTRUIDOS CON ECO-LADRILLOS

2.9.1 Normativa del ensayo de resistencia al fuego

La NCh 935/1 Of 1997 establece que se requiere de un horno con características especiales para ensayar los elementos y determinar su resistencia al fuego. Lamentablemente cuando se realizó este ensayo no se contaba con dicho aparato, por lo que la experiencia se realizó mediante la implementación de un ensayo con exposición a llama directa. Según resultados de experiencia realizadas por terceros, se estableció variar la distancia entre el soplete y el panel durante la experiencia en intervalos de 15 minutos para simular el comportamiento de la curva de incendio generalizada, que hace variar la temperatura correspondiente a la gama de color que presenta una llama.

T [min]	0	15	30	45	60	75	90
T [°C]	140	380	480	520	490	450	340
D [cm]	20	15	12	9	11	13	16

Tabla 18: Distancia definida entre el soplete y el panel.

Fuente: Gallardo, 2014.

El elemento por ensayar se debe analizar en condiciones normales de trabajo a fin de reproducir, durante el ensayo, un sistema similar de empotramiento, apoyos y cargas al que deberá ser sometido como lo dispone la NCh 935/1 Of. 1997. Ya que no fue posible someter

el panel de muro a condiciones normales se estableció una metodología que permite simular condiciones de carga.

La resistencia al fuego de un elemento estructural debe juzgarse según el criterio de capacidad de carga que soporte; la de un elemento de separación, según el criterio de estanqueidad y aislamiento; y la de un elemento de separación que soporte carga, según el criterio de capacidad de carga, estanqueidad y aislamiento. Realizar observaciones de estos parámetros durante todo el proceso.

El elemento que se ensaye se debe calentar normalmente hasta que se observe el fallo el alguno de los requisitos exigidos en la prueba, principalmente:

- Capacidad de soporte de carga.
- Aislamiento térmico.
- Estanqueidad.
- Emisión de gases inflamables.

El ensayo de resistencia al fuego de los elementos se expresará como el tiempo en minutos desde el comienzo del ensayo hasta que dejen de cumplirse las condiciones relativas a capacidad de soporte de carga, aislamiento, estanqueidad y no emisión de gases inflamables

Se estableció un rango de 0 a 102 minutos donde se evaluaron los criterios que determinan la resistencia al fuego de los elementos constructivos estudiados.

2.9.2 Criterios de resistencia al fuego

2.9.2.1 Capacidad de soporte

Para elementos estructurales se requerirá que el elemento ensayado no llegue a fallar de tal manera que no pueda seguir cumpliendo su función de soporte de carga para la cual fue diseñada.

2.9.2.2 Aislamiento térmico

Para elementos de separación vertical u horizontales tales como muros, tabiques, entrepisos, etc. se requerirá:

- Que la temperatura media de la cara no expuesta del elemento no aumente sobre la temperatura inicial en más de 140 °C.
- Que la temperatura máxima en cualquier punto de la cara no expuesta no exceda a la temperatura inicial en más de 180 °C o no sobrepase 220 °C cualquiera sea la temperatura inicial.

2.9.2.3 Estanqueidad

Para elementos de separación vertical u horizontales tales como muros, tabiques, entrepisos, etc. no deberá ocurrir la formación de grietas, fisura u otras aberturas por donde las llamas o gases puedan pasar.

Se considera que hay perdida de estanqueidad, cuando se observa una llama sostenida durante 10 segundos como mínimo, en la cara no expuesta del elemento a ensayar.

2.9.2.4 Emisión de gases inflamables

Los gases emitidos por la cara no expuesta se considerarán inflamables si arden al aproximar una llama y continúan espontáneamente ardiendo al menos durante 20 segundos una vez retirada la llama.

2.9.3 Clasificación

Los elementos de construcción una vez sometidos al ensayo de resistencia al fuego, se clasifican del siguiente modo, según su duración en minutos.

Clase	Tiempo (minutos)
F 0	≥ 0 < 15
F 15	≥ 15 < 30
F 30	≥ 30 < 60
F 60	≥ 60 < 90
F 90	≥ 90 < 120
F 120	≥ 120 < 150
F 150	≥ 150 < 240
F 240	≥ 240

Tabla 19: Clasificación de resistencia al fuego según tiempo de duración.

Fuente: NCh 935/1 Of. 1997.

2.9.4 Ensayo para determinar la resistencia al fuego de muros contruidos con eco-ladrillos

2.9.4.1 Ensayo de muro eco-ladrillo método Ecotec

Este ensayo se realizó en 3 paneles para poder analizar la mayor cantidad de información.

Como en el caso del panel de eco-ladrillos tipo horizontal se trata de un elemento de separación que puede soportar carga, la resistencia al fuego fue evaluada según criterios de soporte de carga, estanqueidad, aislamiento y emisión de gases inflamables.

La NCh 935/1 Of. 1997 establece que para un elemento de separación vertical este debe calentarse por una sola cara y ser sometido simultáneamente a esfuerzos similares a las condiciones reales de trabajo durante la exposición al fuego. Se aplicó una carga 30 minutos antes de la exposición al fuego la que permaneció constante durante el ensayo hasta que deje de cumplir la función de soporte de carga del elemento.

No fue posible someter el panel de ensayo a las condiciones establecidas en la norma, debido al peligro que representaba exponer el elemento al fuego mientras era sometida a una carga constante.

De manera provisional se sometió a un esfuerzo constante mediante la acción de una gata hidráulica de 10 toneladas de capacidad máxima sobre el panel y el área de apoyo fue de 2.124 cm^2 . confinados por un marco de prueba de acero confeccionado por dos columnas de acero y otras dos vigas (superior e inferior).

La carga sobre el panel se tradujo en una presión $4,71 \text{ kg/cm}^2$ que se mantuvieron durante todo el ensayo.

El ensayo a llama directa se efectuó según la metodología de variación de la distancia de la llama al centro del panel en intervalos de 15 minutos con mediciones de temperatura (5 tomas de temperatura para obtener el promedio) cada 3 minutos hasta observar fallas o el colapso del panel ensayado.

Conocida la composición de los materiales podemos dar hincapié en que su combustión no genera gases inflamables, pero si genera gases tóxicos que pueden provocar contaminación y posible intoxicación a los que habitan una vivienda elaborada con eco-ladrillos.

De manera que el experimento se dará por concluido cuando la flama alcance el eco-ladrillo y comience a quemar el contenido plástico de manera de evitar la propagación de gases tóxicos dentro de las instalaciones.

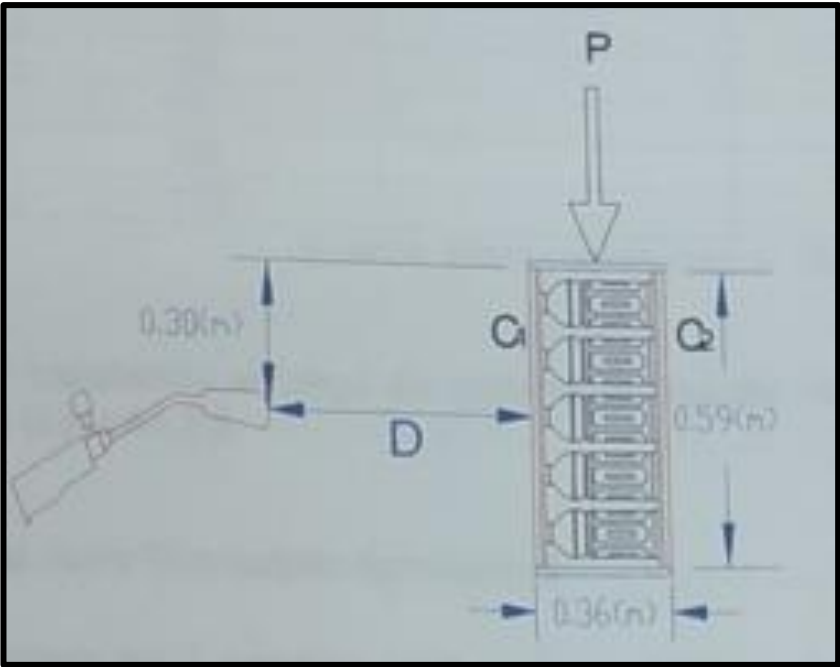


Figura 33: Esquema ensayo fuego panel eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Gallardo, 2014.

Para la toma de datos se utilizó la siguiente tabla:

D (cm)	Tiempo (min)	T C1 (°C)	T C2 (°C)	Observaciones
20	1			
	3			
	6			
	9			
	12			
15	15			
	18			
	21			
	24			
	27			
12	30			
	33			
	36			
	39			
	42			
9	45			
	48			

	51			
	54			
	57			
11	60			
	63			
	66			
	69			
	72			
13	75			
	78			
	81			
	84			
	87			
16	90			
	93			
	96			
	99			
	102			

Tabla 20: Tabla de distancia, tiempo y temperaturas durante el ensayo.

Fuente: Gallardo, 2014.

2.9.4.2 Ensayo muro eco-ladrillo vertical

el ensayo se realizó en 3 paneles para poder analizar la mayor cantidad de información.

Como en el caso del panel de eco-ladrillos tipo vertical se trata de un elemento de separación que puede no soporta carga, la resistencia al fuego de los elementos de separación verticales se evalúa según los criterios de aislamiento, estanqueidad y emisión de gases inflamables. Siguiendo la misma metodología descrita en 2.9.4.1 con excepción de la carga con la gata hidráulica.

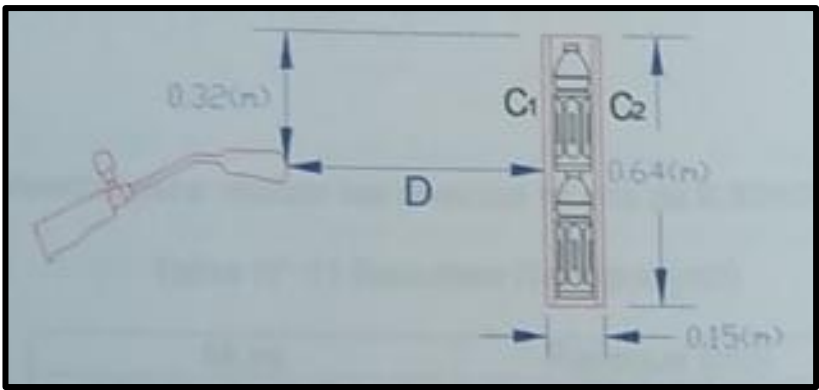


Figura 34: Esquema ensayo fuego panel eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Gallardo, 2014

Análogamente se completó la misma tabla de distancias, tiempo y temperatura en lo que se desarrolló el ensayo para el panel muro eco-ladrillos vertical.

**CAPÍTULO 3: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS ALBAÑILERÍAS DE
ECO-LADRILLOS**

3.1 REQUISITOS DE LOS MATERIALES PARA CONSTRUIR CON ECO-LADRILLOS

En la actualidad no existe una normativa que detalle una metodología de como trabajar con eco-ladrillos, pero si se pueden utilizar las normativas vigentes de albañilería y morteros para establecer los requisitos que debe tener una construcción con este tipo de material.

3.1.1 Cemento

Se debe usar cemento de grado corriente que cumple con las especificaciones de la NCh 148.

Grado	Tiempo de fraguado		Resistencia mínima a la compresión		Resistencia mínima a la flexión	
	Inicial mínimo min	Final máximo h	7 días kg/cm ²	28 días kg/cm ²	7 días kg/cm ²	28 días kg/cm ²
Corriente	60	12	180	250	35	45
Alta resistencia	45	10	250	350	45	55

Tabla 21: Grados de Cemento y sus especificaciones.

Fuente: Nch 148 Of 68.

3.1.2 Cal

Mientras no exista norma de requisitos para la cal de uso en construcción, éstas deben cumplir con los requisitos establecidos en el Anexo B de la NCh 2256/1 of 2001. Para todos aquellos usos distintos a los comprendidos por NCh 1928 y NCh 2123.

Se recomienda usar cales hidratadas que cumplan con lo establecido en la NCh 2256/1 Morteros – Requisitos generales. Para los morteros de estucos es recomendable usar cales que cumplan los requisitos de la norma ASTM C 206, Standard Specification for Finishing Hydrated Lime.

3.1.3 Arenas

Las arenas deben cumplir con los mismos requisitos que las arenas para hormigones, pero las granulometrías se indican en la NCh 2256/1 y que se copian en las tres bandas de trabajo de la table siguiente, para morteros con funciones distintas en diferentes aplicaciones.

TAMICES		TAMAÑO MÁXIMO Dn, mm		
NCh (mm)	ASTM	5 mm gruesa (1)	2,5 media (2)	1,25 fina
10	3/8"	100		
5	# 4	95 - 100	100	
2.5	# 8	80 - 100	95 - 100	100
1.25	# 16	50 - 85	70 - 100	95 - 100
0.63	# 30	25 - 60	40 - 75	50 - 100
0,315	# 50	10 - 30	10 - 35	15 - 40
0,160	# 100	2 - 10	2 - 15	2 - 20
% Retenido entre 0,315 y 0,160			< 25	< 25
% Retenido entre dos mallas sucesivas		< 45	< 45	< 45

Notas:

- (1) Esta banda corresponde a la recomendada por NCh 163 para hormigones.
- (2) Esta banda corresponde a la recomendada por ASTM C 144 para la arena natural en la confección de morteros de albañilería.

Tabla 22: Granulometrías de las arenas.

Fuente: Manual del Constructor Grupo Polpaico, 2013.

3.1.4 Agua

Agua debe cumplir con la NCh 1498.

3.1.5 Aditivos

Si el aditivo a utilizar corresponde a uno de los tipos indicados en la NCh 2182, debe cumplir con los requisitos indicados en esa norma (ver comentarios en Anexo C). Al utilizar cualquier otro aditivo, se debe comprobar que no afecta los requisitos del mortero según su uso.

3.1.6 Otros materiales

Cualquier material que se incorpore al mortero al momento de su fabricación, no debe afectar el cumplimiento de los requisitos, según su uso, establecidos por Nch 2256/1.

3.1.7 Propiedades de los morteros

Los morteros tienen una amplia gama de aplicaciones y en cada una de ellas distintas situaciones; por esto deben tener un conjunto de propiedades, a veces contrapuestas entre ellas. En consecuencia, en cada situación específica se deben acentuar las propiedades adecuadas a esa situación. Las propiedades más relevantes, en el orden en que se anotan, son las siguientes:

- Trabajabilidad.
- Retentividad.
- Tiempo de espera.
- Impermeabilidad.
- Resistencia mecánica.
- Velocidad de endurecimiento.
- Compactibilidad con soporte.
- Durabilidad.
- Apariencia uniforme

Para obtener estas propiedades adecuadas a cada situación, los morteros y sus materiales deben cumplir, a lo menos con los requisitos de las normas y tablas mencionadas antes, especialmente de la norma NCh 2256/1 Morteros – Requisitos generales.

3.2 **RESULTADOS DEL ENSAYO DE MORTERO**

3.2.1 Resultados de los ensayos de flexo-tracción

Las resistencias se expresarán en kg/cm^2 y serán la media aritmética de los resultados obtenidos en todos los ensayos realizados en cada fecha.

3.2.1.1 Resultados mortero de pega

Las probetas de mortero de pega se mantuvieron dentro de la cámara de curado hasta cumplir 28 días. Antes de ensayar, se secaron superficialmente con una toalla y se pesaron, agregando toda la información al equipo para posteriormente realizar el ensayo obteniendo los siguientes resultados:

Mortero de Pega			
Probeta	Edad (días)	Resistencia Flexo-tracción (kg/cm²)	Carga Flexo-tracción (kg)
1	28	15,79	100
2	28	16,44	105
3	28	16,84	108
4	28	18,35	117
5	28	19,48	125
6	28	19,02	122
7	28	18,95	121
8	28	18,62	119
9	28	19,61	125
Promedio	28	18,12	115,78

Tabla 23: Resultados ensayo de flexión mortero de pega.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Cabe destacar que las probetas de este mortero presentaban un buen curado.

3.2.1.2 Resultados mortero de estuco interior

Las probetas de mortero de estuco interior se retiraron de la cámara de curado a la edad de 28 días, secándolas superficialmente con una toalla para ser pesadas, ingresando toda la información al equipo por el apoyo docente, para posteriormente realizar el ensayo obteniendo los siguientes resultados:

Mortero de Estuco Interior			
Probeta	Edad (días)	Resistencia Flexo-tracción (kg/cm ²)	Carga Flexo-tracción (kg)
1	28	NO VALIDO	NO VALIDO
2	28	0,72	5
3	28	0,68	4
4	28	0,76	5
5	28	0,73	5
6	28	0,81	5,5
7	28	2,63	17
8	28	2,84	19
9	28	2,71	17
Promedio	28	1,49	9,69

Tabla 24: Resultados ensayo de flexión mortero de estuco interior.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Al momento de realizar el ensayo, las probetas se fracturaban al más mínimo esfuerzo, causando problemas al momento de ejecutar el ensayo y al obtener resultados por parte del equipo, al no sobrepasar la carga mínima programada en este.

Además, estas mismas muestras presentaban una especie de lechada por cada una de las caras de la probeta, además de estar blandas al momento de secarlas.



Figura 35: Anomalía en probeta de mortero de estuco interior.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.2.1.3 Resultados mortero de estuco exterior

Las probetas de mortero de estuco exterior se retiraron de la cámara de curado a la edad de 28 días, secándolas superficialmente para ser pesadas, ingresando toda la información al equipu, para efectuar el ensayo obteniendo los siguientes resultados:

Mortero de Estuco Exterior			
Probeta	Edad (días)	Resistencia Flexo-tracción (kg/cm²)	Carga Flexo-tracción (kg)
1	28	6,8	44
2	28	5,6	34
3	28	6,44	41
4	28	7,31	47
5	28	5,62	36
6	28	6,38	41
7	28	5,62	36
8	28	6,52	42
9	28	6,49	42
Promedio	28	6,31	40,33

Tabla 25: Resultados ensayo de flexión mortero de estuco exterior

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las muestras de mortero de estuco exterior estaban un poco más duras en comparación con las de estuco interior, pero de igual manera se desarmaban al momento de dar un leve golpe.

3.2.1.4 Comparación de resultados del ensayo de flexión de morteros

Se estableció un cuadro comparativo, en el cual se aprecia las diferencias de resistencia a la flexión de los distintos morteros utilizados en la fabricación de muretes y prismas de eco-ladrillos.

Valor	Ensayo de Flexión Mortero Pega (kg/cm ²)	Ensayo de Flexión Mortero Estuco Interior (kg/cm ²)	Ensayo de Flexión Mortero Estuco Exterior (kg/cm ²)
Mínimo	15,79	0,68	5,60
Máximo	19,61	2,84	7,31
Promedio	18,12	1,49	6,31

Tabla 26: Comparación de resultados ensayo de flexión en morteros.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El mortero de pega de la marca Topex arrojó una resistencia mínima a la flexión de 15,79 kg/cm² y una máxima de 19,61 kg/cm² y promedió 18,12 kg/cm² en su totalidad.

El mortero de estuco interior de la marca Topex arrojó una resistencia mínima a la flexión de 0,68 kg/cm² y una máxima de 2,84 kg/cm² y promedió 1,49 kg/cm² en su totalidad.

Y, por último, el mortero de estuco exterior arrojó una resistencia mínima a la flexión de 5,60 kg/cm² y una máxima de 7,31 kg/cm² y promedió 6,31 kg/cm² en su totalidad.

3.2.2 Resultados de los ensayos de compresión

Al igual que en el ensayo de flexo-tracción, las resistencias se expresarán en kg/cm² y serán la media aritmética de los resultados obtenidos en todos los ensayos realizados en cada fecha.

3.2.2.1 Resultados mortero de pega

Se tomó cada pieza resultante del ensayo de flexión y se observó que presentaba un buen curado. Luego se procedió a realizar el ensayo de compresión.

Mortero de Pega			
Probeta	Edad (días)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Carga Compresión (kg)
1	28	174,64	2794
1	28	159,22	2548

2	28	173,86	2782
2	28	175,76	2812
3	28	158,15	2530
3	28	167,47	2680
4	28	202,11	3230
4	28	201,94	3230
5	28	204,05	3270
5	28	207,8	3330
6	28	198,93	3180
6	28	209,08	3350
7	28	199,67	3200
7	28	209,16	3350
8	28	211,55	3385
8	28	210,93	3375
9	28	178,36	2854
9	28	204,75	3276
Promedio	28	191,52	3065,33

Tabla 27: Resultados ensayo de compresión mortero de pega.

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 36: Muestra de mortero de pega ensayada a compresión.

Fuente: Elaboración propia 2019.

El ensayo arrojó buenos resultados, obteniendo el doble de la resistencia especificada que es de 100 kg/cm². A la se le agregó 3,5 lt de agua por saco de mortero Topex de pega.

3.2.2.2 Resultados mortero de estuco interior

Se tomó cada pieza resultante del ensayo de flexión y se observó que, al tocar la muestra con el dedo, esta se fragmentaba. Se procedió a realizar el ensayo de compresión, para verificar el comportamiento que esta tiene ante la acción de esfuerzos, obteniendo los siguientes resultados:

Mortero de Estuco Interior			
Probeta	Edad (días)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Carga Compresión (kg)
1	28	28,62	458
1	28	25,77	412
2	28	27,26	436
2	28	27,05	433
3	28	24,7	395
3	28	26,35	422
4	28	24,5	392
4	28	28,5	456
5	28	23,63	378
5	28	24	384
6	28	24,37	390
6	28	23,51	376
7	28	23,51	376
7	28	23,47	375
8	28	24,29	389
8	28	26.61	426
9	28	22,6	362
9	28	24,99	400
Promedio	28	25,12	403,33

Tabla 28: Resultados ensayo de compresión mortero de estuco interior.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las muestras ensayas arrojaron una baja resistencia, específicamente un 58,13% menos de la resistencia especificada por el proveedor. Según el fabricante la resistencia esperada es de 60 kg/cm², al agregar una cantidad de agua de 3,5 ± 0,5 lt/saco, la que no se alcanzó con esta dosis de agua.

3.2.2.3 Resultados mortero de estuco exterior

Se tomó cada pieza resultante del ensayo de flexión y se observó que, a diferencia del mortero de estuco interior, esta no se fragmentaba al tocar, pero si al dar un leve golpe. Luego de estas observaciones hechas por el apoyo docente, se procedió a realizar el ensayo de compresión, obteniendo los siguientes resultados:

Mortero de Estuco Exterior			
Probeta	Edad (días)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Carga Compresión (kg)
1	28	50,64	810
1	28	51,09	817
2	28	48,46	775
2	28	51,59	825
3	28	51,84	829
3	28	54,64	874
4	28	54,47	872
4	28	49,65	794
5	28	52,87	846
5	28	49,98	800
6	28	47,47	759
6	28	53,03	849
7	28	54,1	866
7	28	48,21	771
8	28	54,06	865
8	28	48,21	771
9	28	50,64	810
9	28	57,28	916
Promedio	28	51,57	824,94

Tabla 29: Resultados ensayo de compresión mortero de estuco exterior.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las muestras ensayas arrojaron una resistencia menor en un 14,05% de la resistencia especificada por el proveedor. Según el fabricante la resistencia esperada es de 60 kg/cm², al agregar como máximo 4 lt de agua por saco, la que no se alcanzó con esta dosis de agua, pero que estuvo muy cercano a la correspondiente, comparada con el ensayo de mortero de estuco interior.

3.2.2.4 Comparación resultados del ensayo de mortero

Se estableció un cuadro comparativo, en el cual se aprecia las diferencias de resistencia a la compresión de los distintos morteros utilizados en la fabricación de muretes y prismas de eco-ladrillos.

Valor	Ensayo de Compresión Mortero Pega (kg/cm ²)	Ensayo de Compresión Mortero Estuco Interior (kg/cm ²)	Ensayo de Compresión Mortero Estuco Exterior (kg/cm ²)
Mínimo	158,15	22,60	47,47
Máximo	211,55	28,62	57,28
Promedio	191,52	25,12	51,57

Tabla 30: Comparación de resultados ensayo de compresión en morteros.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El mortero de pega de la marca Topex arrojó una resistencia mínima a la compresión de 158,15 kg/cm² y un máxima de 211,55 kg/cm² y promedió en total 191,52 kg/cm².

El mortero de estuco interior de la marca Topex arrojó una resistencia mínima a la compresión de 22,60 kg/cm² y una máxima de 28,62 kg/cm² y promedió 25,12 kg/cm².

Y, por último, mortero de estuco exterior de la marca Topex arrojó una resistencia mínima a la compresión de 47,47 kg/cm² y un máximo de 57,28 kg/cm² y promedió 51,57 kg/cm² en su totalidad.

3.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYO DE COMPRESIÓN DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA

Se procedió a ensayar las dos unidades de albañilería fabricadas a la edad de 37 días, una en disposición vertical y la otra en disposición horizontal, para determinar la resistencia que estas poseen.

Para realizar este ensayo se utilizó la prensa ubicada en el laboratorio de hormigón de la universidad, cabe destacar que ésta, está diseñada para ensayar probetas de hormigón cilíndricas o cubicas, por lo que el ensayo de esta probeta se considera un ensayo especial.

Antes de ensayar las muestras, se instalaron los apoyos, dando el espacio suficiente para que cupiesen las muestras, limpiando la superficie de estos, para posteriormente posicionar las probetas para ser ensayadas. Realizado el trabajo previo por el apoyo docente, se procedió al desarrollo de los ensayos de compresión obteniendo los siguientes resultados.

3.3.1 Resultados de unidad de albañilería de eco-ladrillos en disposición vertical

Antes de realizar el ensayo, se desmoldaron las muestras y se pulió la unidad de albañilería en disposición vertical por ambas caras.



Figura 37: Unidad de albañilería en disposición vertical sin pulir.

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 38: Unidad de albañilería en disposición vertical pulida por ambas caras.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se posiciono la muestra en la prensa, ingresando la información necesaria para que el equipo entregue la resistencia de la probeta.

Como se puede apreciar en la figura 39, la muestra presentaba una inclinación, afectando en la distribución de la carga. Esto probablemente se debió a que al cortar las planchas de terciado estructural no hayan quedado con todos sus ángulos en 90°.



Figura 39: Muestra posicionada en forma vertical para ensayar.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La superficie a la que se aplicó carga en este ensayo fue de 24.633 mm^2 y se obtuvo el siguiente resultado:

Valor	Unidad de Albañilería Eco-ladrillo Disposición Vertical
Área Bruta (cm ²)	246,33
Carga (kg)	14,56
Resistencia (kg/cm ²)	59,10

Tabla 31: Resultado del ensayo de compresión de la unidad de albañilería en disposición vertical.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La muestra presento una buena resistencia a la compresión, superando en un 47,75% la resistencia de un ladrillo cerámico artesanal con una resistencia de 40 kg/cm^2 y un 31,33% la resistencia de un bloque hueco de hormigón de cemento para muros soportantes con una resistencia de 45 kg/cm^2 según las resistencias entregadas por la norma NCh 181.

Al terminar el ensayo, se extrajo la muestra del equipo para analizarla y se observó que esta presentaba fisuras en las caras laterales, pero no había desprendimiento de material como suele ocurrir al ensayar una probeta de hormigón.



Figura 40: Unidad de albañilería en disposición vertical ensayada.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.3.2 Resultado de unidad de albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal

Antes de realizar el ensayo, se desmoldo la muestra, pero por el contrario a la anterior, la unidad en disposición horizontal no se pulió debido a que las caras de apoyo ya estaban lisas por el moldaje.

Al momento de posicionar la muestra, se observó que la muestra sobresalía de los apoyos del equipo, aplicando la carga en un área menor a la de la superficie completa de la cara de la unidad de albañilería.

La prensa utilizada necesita la superficie real para entregar la resistencia más cercana a la real, por lo que se tuvo que determinar el área dentro del apoyo del equipo.

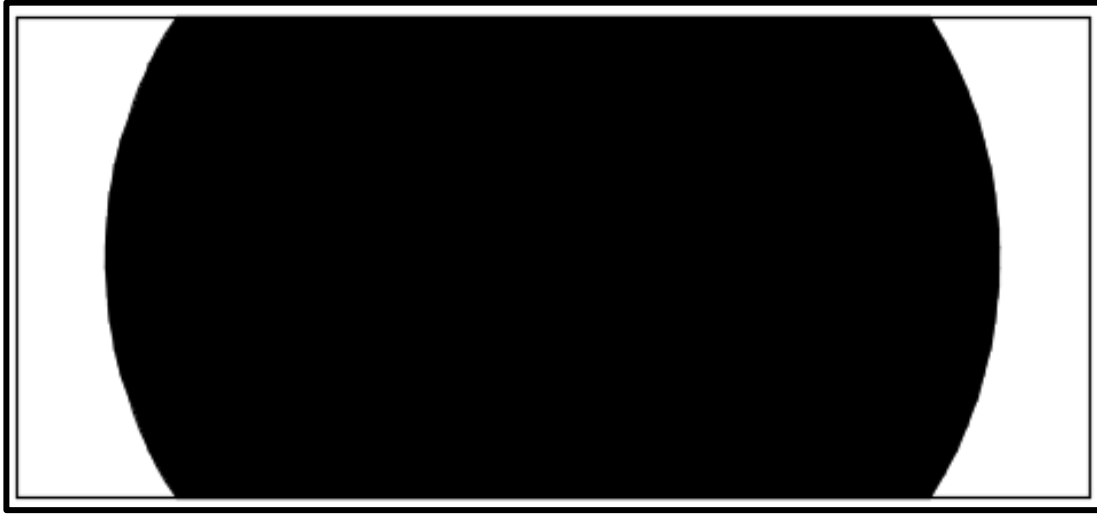


Figura 41: Superficie real v/s superficie de apoyo.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se determinó que el área total de la probeta es de 52.500 mm^2 , en cambio la superficie que alcanzaba a cubrir el apoyo del equipo es de 41.400 mm^2 , una diferencia notoria como lo muestra la figura 22.

Se tomo como superficie el área achurada representada en la figura 22 para obtener la resistencia de la muestra.



Figura 42: Muestra posicionada en forma horizontal para ensayar.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Posicionada la probeta como lo muestra la figura 42, se procedió a ingresar toda la información necesaria para realizar el ensayo.

Al ejecutar el ensayo el equipo arrojó los siguientes resultados:

Valor	Unidad de Albañilería Eco-ladrillo Disposición Horizontal
Área Bruta (cm ²)	414
Carga (kg)	19,21
Resistencia (kg/cm ²)	46,37

Tabla 32: Resultado del ensayo de compresión de la unidad de albañilería en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La muestra presento una resistencia a la compresión muy similar al de un ladrillo cerámico artesanal y al a de un bloque hueco de hormigón, superando en un 15,93% la resistencia del primero y un 3,04% la resistencia del segundo, con una resistencia de 45 kg/cm².

Al terminar el ensayo, se extrajo la muestra del equipo para analizarla y se observó que esta presentaba fisuras en las caras laterales y en su cara frontal, pero no hay indicios de desprendimiento de material, las figuras 24 y 25 muestran las fisuras resultantes de la aplicación de carga en la muestra.



Figura 43: Vista frontal de la unidad de albañilería en disposición horizontal ensayada.

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 44: Vista lateral de la unidad de albañilería en disposición horizontal ensayada.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.3.3 Propiedades de unidades de albañilería PRINCESA S.A.

Se realizaron ensayos de unidades de albañilería de ladrillos cerámicos hechos a máquina por ladrillos PRINCESA S.A., cuya denominación comercial es el ladrillo Titán Liviano, y ladrillos hechos a mano del tipo chonchón.

Propiedad Característica	Unidad	Valor	Desv. Estándar	Tamaño muestra
Largo	cm	28,76	0,03	10
Ancho	cm	14,03	0,06	10
Altura	cm	7,02	0,03	10
Área Bruta	cm2	471,90	1,00	10
Área Neta	cm2	239,57	1,00	10
Huecos	%	40,50	0,50	10
Peso Seco	Kg	3209,40	0,50	10
Peso Específico	Kg/dm3	1,91	0,002	10
Absorción Fría (24 h)	%	14,00	0,30	10
Tasa Inicial de Absorción	gr/cm2/min	0,26	0,02	10
Resistencia a Compresión	kg/cm2	258,67	32,00	7
Módulo de Ruptura	kg/cm2	16,00	2,00	7

Tabla 33: Propiedades del ladrillo Titán Liviano.

Fuente: Sepúlveda, 2016.

Propiedad Característica	Unidad	Valor	Desv. Estándar	Tamaño muestra
Largo	cm	30,25	0,03	10
Ancho	cm	15,60	0,02	10
Altura	cm	6,4	0,08	10
Área Bruta	cm2	471,90	0,80	10
Área Neta	cm2	471,90	0,80	10
Peso Seco	kg	3888,00	0,04	10
Peso Específico	Kg/dm3	1,29	0,001	10
Absorción Fría (24 h)	%	25,00	0,20	10
Tasa Inicial de Absorción	gr/cm2/min	No se determinó		
Resistencia a Compresión	kg/cm2	84,38	13,00	7
Módulo de Ruptura	kg/cm2	No se determinó		

Tabla 34: Propiedades del ladrillo chonchón.

Fuente: Sepúlveda, 2016.

A estas unidades de albañilería se les realizaron ensayos de murete y prisma, y sus resultados se tomarán como antecedentes para hacer la comparación con los ensayos de realizados en esta investigación.

3.3.4 Comparación de unidades de albañilería

Se estableció un cuadro comparativo, en el cual se aprecia las diferencias de resistencia a la compresión de las distintas unidades de albañilerías estudiadas.

Valor	Unidad de Albañilería Eco-ladrillo Disposición Horizontal	Unidad de Albañilería Eco-ladrillo Disposición Vertical	Ladrillo Titán Liviano	Ladrillo Chonchón	Ladrillo Fiscal	Bloque Hueco de Hormigón Para Muros Soportantes
Área Bruta (cm ²)	414	246,33	471,9	471,9	-	-
Carga (kg)	19,21	14,56	122,07	39,82	-	-
Resistencia (kg/cm ²)	46,37	59,10	258,67	84,38	40,00	45,00

Tabla 35: Comparación de resistencias de unidades de albañilería.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En primer lugar, el ladrillo Titán Liviano, es el que presentó una resistencia mayor, la cual es de 258,67 kg/cm².

En segundo lugar, tenemos al ladrillo chonchón, el que presentó una resistencia de 84,38 kg/cm².

En tercer lugar, tenemos al eco-ladrillo en disposición vertical, el que presentó una resistencia de 59,10 kg/cm².

En cuarto lugar, tenemos al eco-ladrillo en disposición horizontal, el que presentó una resistencia de 46,37 kg/cm².

En quinto lugar, tenemos al bloque de hormigón de cemento para muros soportantes, el que presenta una resistencia de 45,00 kg/cm² según la NCh 181.

Y en sexto lugar, tenemos al ladrillo fiscal, al que se le exige una resistencia mínima de 40,00 kg/cm² según la NCh 2123.

3.4 **RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA BÁSICA AL CORTE**

Se procedió a ensayar los dos muretes fabricados a la edad de 49 días, un murete de eco-ladrillos en disposición vertical y otra en disposición horizontal, para determinar la resistencia básica al corte que posee este tipo de albañilería.

Para realizar este ensayo se utilizó la prensa ubicada en el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Control de Obras de la Universidad Técnica Federico Santa María. Antes de realizar el ensayo, se desmoldaron las muestras, se les realizó un refrentado con yeso y posteriormente se trasladaron a Casa Central donde se llevó a cabo el ensayo.

3.4.1 Resultado del ensayo de resistencia básica al corte en murete de eco-ladrillos en disposición horizontal

Se posicionó el murete de eco-ladrillos en disposición horizontal en la prensa y se le instaló sobre el apoyo metálico, una gata hidráulica de 55 toneladas de capacidad para aplicar la carga, y bajo ésta, una celda de carga conectada a un computador para registrar los datos del ensayo.



Figura 45: Murete eco-ladrillos en disposición horizontal para ser ensayado.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El presente gráfico demuestra la carga aplicada en KN sobre la diagonal del murete de eco-ladrillos en disposición horizontal.

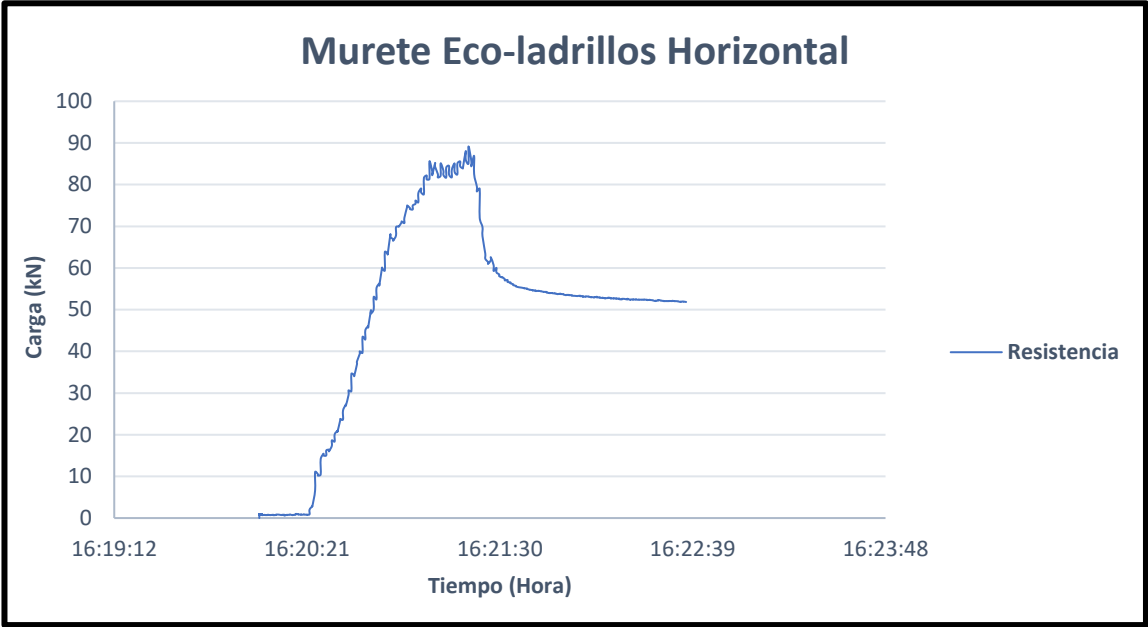


Figura 46: Gráfico de carga (KN) vs Tiempo (hora) del ensayo de murete de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Del gráfico se puede apreciar la carga máxima que soporto este murete, fue de 89,16 KN. Para efectos de cálculo se transformó esta carga en kilogramos, con el factor de conversión de 1 KN es igual a 101,97163 Kg. Por lo que la carga aplicada sobre esta muestra fue de 9092,27.

Valor	Murete de Albañilería Eco-ladrillo Disposición Horizontal
Área Bruta (cm ²)	3.056,40
Carga (kg)	9.092,27
Resistencia (kg/cm ²)	2,97

Tabla 36: Calculo de resistencia básica al corte en murete de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: elaboración propia, 2019

La norma establece que para determinar la resistencia básica al corte se debe dividir la carga aplicada por el área bruta de la diagonal de la muestra.

El murete de eco-ladrillos en disposición horizontal de medida 0,36 X 0,60 X 0,60 m presentó una resistencia de 2,97 (kg/cm²).



Figura 47: Grietas en la arista de murete de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Terminado el ensayo se observó el estado de la muestra, la que presentó grietas en su diagonal como en su arista.



Figura 48: Grieta en la diagonal del murete de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.4.2 Resultado del ensayo de resistencia básica al corte en murete de eco-ladrillo en disposición vertical

Se posicionó el murete de eco-ladrillos en disposición vertical en la prensa y se le instaló sobre el apoyo metálico, una gata hidráulica de 55 toneladas de capacidad para aplicar la carga, y bajo ésta, una celda de carga conectada a un computador para registrar los datos del ensayo. Cabe destacar que, por la forma de la muestra, no quedaron las diagonales alineadas, lo que puede provocar variaciones en su resistencia.



Figura 49: Murete eco-ladrillos en disposición vertical para ser ensayado.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El presente gráfico demuestra la carga aplicada en KN sobre la diagonal del murete de eco-ladrillos en disposición vertical.

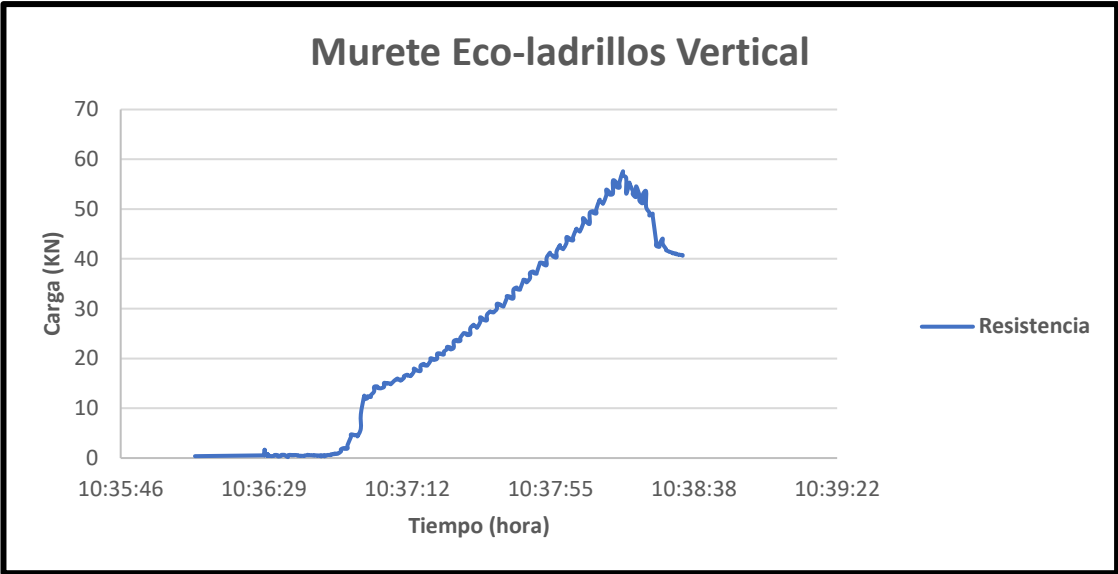


Figura 50: Gráfico de carga (KN) vs Tiempo (hora) del ensayo de murete de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Del gráfico se puede apreciar la carga máxima que soporto este murete, fue de 57,56 KN. Para efectos de cálculo se transformó esta carga en kilogramos, con el factor de conversión de 1 KN es igual a 101,97163 Kg. Por lo que la carga aplicada sobre esta muestra fue de 5869,37.

Valor	Murete de Albañilería Eco-ladrillo Disposición Vertical
Área Bruta (cm ²)	1.341,81
Carga (kg)	5.869,37
Resistencia (kg/cm ²)	4,37

Tabla 37: Calculo de resistencia básica al corte en murete de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: elaboración propia, 2019.

La norma establece que para determinar la resistencia básica al corte se debe dividir la carga aplicada por el área bruta de la diagonal de la muestra.

El murete de eco-ladrillos en disposición horizontal de medida 0,153 X 0,60 X 0,64 m presentó una resistencia de 4,37 (kg/cm²).



Figura 51: Grietas en la diagonal del murete de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Terminado el ensayo se observó el estado de la muestra, la que presentó grietas en su diagonal, las que se prolongaron por sus aristas.



Figura 52: Grietas en la arista del murete de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.4.3 Resultados del ensayo de resistencia básica al corte en muretes de albañilería tradicional

Estos no son de elaboración propia, sino que se tomaron los resultados de experiencias realizadas en la universidad de Chile para realizar la comparación con los resultados de esta investigación.

Se ensayaron a compresión diagonal ocho muretes de siete hiladas de altura y dos ladrillos de arista. Con ello se determinaron los valores característicos de la resistencia básica al corte de

albañilería y del módulo de corte. Las deformaciones de las dos diagonales se midieron por medio de dos diales mecánico.

Los resultados del ensayo de compresión básica al corte en albañilería tradicional se entregan a continuación:

Probeta	Carga máxima	Resistencia Básica al Corte (kg/cm ²)	Módulo de corte
1	8.500	7,16	14.400
2	7.300	6,26	8.347
3	9.400	8,04	11.000
4	12.500	10,52	16.698
Promedio	9.425	8,00	12.611

Tabla 38: Resultados del ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería de ladrillo Titán liviano.

Fuente: Sepúlveda, 2016.

Probeta	Carga máxima (Kg)	Resistencia Básica al Corte (kg/cm ²)	Módulo de corte
1	2.000	1,57	1.764
2	3.300	2,37	2.297
3	3.000	2,35	
4	2.800	2,32	
Promedio	3.033	2,47	

Tabla 39: Resultados del ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería de ladrillo chonchón.

Fuente: Sepúlveda, 2016.

3.4.4 Comparación de resultados del ensayo de resistencia básica al corte

Se estableció un cuadro comparativo, en el cual se aprecia las diferencias de resistencia a básica al corte de las distintas de albañilerías estudiadas.

Valor	Murete de Albañilería Eco-ladrillo Disposición Horizontal	Murete de Albañilería Eco-ladrillo Disposición Vertical	Murete de Albañilería de Ladrillo Titán Liviano	Murete de Albañilería de Ladrillo Chonchón
Área Bruta (cm ²)	3.056,40	1.341,81	1.178,13	1.227,94
Carga (kg)	9.092,27	5.869,36	9.425,00	3.033,00
Resistencia (kg/cm ²)	2,97	4,37	8,00	2,47

Tabla 40: Comparación de resistencia básica al corte de las distintas de albañilerías.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En primer lugar, la albañilería de ladrillos Titán Liviano, es la que presentó una resistencia mayor, la cual es de 8,00 kg/cm².

En segundo lugar, tenemos la albañilería de eco-ladrillos en disposición vertical, la que presentó una resistencia de 4,37 kg/cm².

En tercer lugar, tenemos la albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal, la que presentó una resistencia de 2,97 kg/cm².

Y en último lugar, tenemos la albañilería de ladrillos chonchón, la que presentó una resistencia de 2,47 kg/cm².

3.5 RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL

Se procedió a ensayar los dos muretes fabricados a la edad de 49 días, un murete de eco-ladrillos en disposición vertical y otra en disposición horizontal, para determinar la resistencia a compresión axial que posee este tipo de albañilería.

Para realizar este ensayo se utilizó la prensa ubicada en el Laboratorio de Ensaye de Materiales y Control de Obras de la Universidad Técnica Federico Santa María. Antes de realizar el ensayo, se desmoldaron las muestras, se les realizó un refrentado con yeso y posteriormente se trasladaron a Casa Central donde se llevó a cabo el ensayo.

3.5.1 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial en prismas de eco-ladrillos en disposición horizontal

Se posicionó el prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal en la prensa y se le instaló sobre el apoyo metálico, una gata hidráulica de 55 toneladas de capacidad para aplicar la carga, y bajo ésta, una celda de carga conectada a un computador para registrar los datos del ensayo. Cabe destacar que, por la forma de la muestra quedo descuadrada, ya que presentó inclinación, esto puede provocar variaciones en su resistencia.



Figura 53: Prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal para ser ensayado.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El presente gráfico demuestra la carga aplicada en KN sobre el prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal.

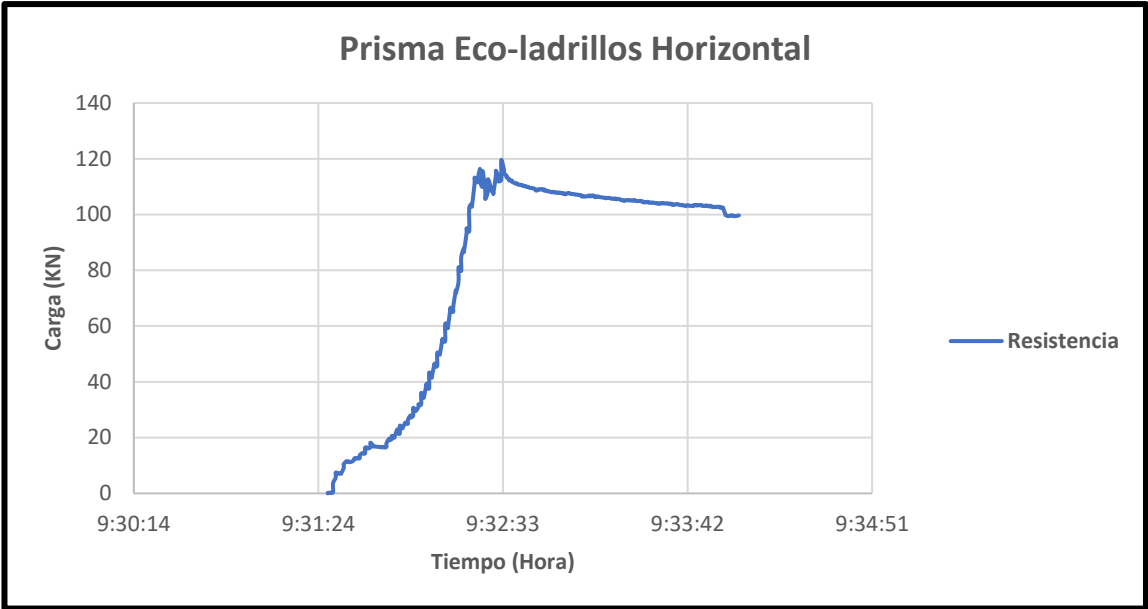


Figura 54: Gráfico de carga (KN) vs Tiempo (hora) del ensayo de prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Del gráfico se puede apreciar la carga máxima que soporto este prisma fue de 119,56 KN. Para efectos de cálculo se transformó esta carga en kilogramos, con el factor de conversión de 1 KN es igual a 101,97163 Kg. Por lo que la carga aplicada sobre esta muestra fue de 12.192,14

Valor	Murete de Albañilería Eco-ladrillo Disposición Vertical
Área Bruta (cm²)	1.346,40
Carga (kg)	12.192,14
Resistencia (kg/cm²)	9,06

Tabla 41: Cálculo de resistencia a la compresión axial en prisma de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: elaboración propia, 2019

La norma establece que para determinar la resistencia a la compresión axial se debe dividir la carga aplicada por el área bruta del área de la sección transversal de la muestra.

El prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal de medida 0,36 X 0,37 X 0,60 m presentó una resistencia de 9,06 (kg/cm²).



Figura 55: Grietas en prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Terminado el ensayo se observó el estado de la muestra, la que presentó grietas en su sección medial.

3.5.2 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial en muretes de eco-ladrillos en disposición vertical

Se posicionó el prisma de eco-ladrillos en disposición vertical en la prensa y se le instaló sobre el apoyo metálico, una gata hidráulica de 55 toneladas de capacidad para aplicar la carga, y bajo ésta, una celda de carga conectada a un computador para registrar los datos del ensayo.



Figura 56: Prisma de eco-ladrillos en disposición vertical para ser ensayado.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El presente gráfico demuestra la carga aplicada en KN sobre el prisma de eco-ladrillos en disposición vertical.

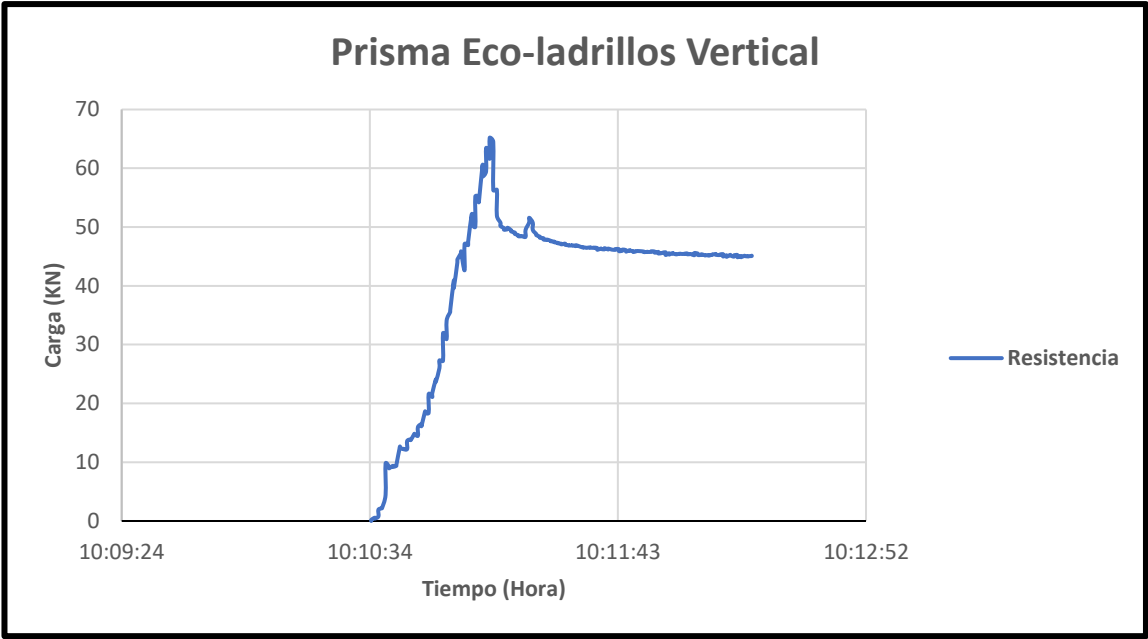


Figura 57: Gráfico de carga (KN) vs Tiempo (hora) del ensayo de prisma de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Del gráfico se puede apreciar la carga máxima que soporto este prisma fue de 65,19 KN. Para efectos de cálculo se transformó esta carga en kilogramos, con el factor de conversión de 1 KN es igual a 101,97163 Kg. Por lo que la carga aplicada sobre esta muestra fue de 6.647,96

Valor	Murete de Albañilería Eco-ladrillo Disposición Vertical
Área Bruta (cm²)	348,84
Carga (kg)	6.647,96
Resistencia (kg/cm²)	19,06

Tabla 42: Cálculo de resistencia a la compresión axial en prisma de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: elaboración propia, 2019



Figura 58: Grietas en prisma de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Terminado el ensayo se observó el estado de la muestra, la que presentó grietas en su sección medial.

3.5.3 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial en muretes de albañilería tradicional

Estos no son de elaboración propia, sino que se tomaron los resultados de experiencias realizadas en la universidad de Chile para realizar la comparación con los resultados de esta investigación.

Se ensayaron cuatros prismas de ocho hiladas de altura contruidos con unidades del tipo Princesa y dos prismas de seis hiladas contruidos con unidades de albañilería del tipo

artesanal. En estos últimos se detectaron problemas de adherencia entre la unidad y el mortero de junta, lo que produjo su rotura al transportarlos

Los valores característicos de la resistencia prismática y del módulo de elasticidad, se determinaron siguiendo las recomendaciones del anexo B de la norma NCh 1928 Of 86.

Los resultados del ensayo de compresión axial en albañilería tradicional se entregan a continuación:

Probeta	Carga máxima	Resistencia a la compresión axial (kg/cm ²)	Módulo de corte
1	52.600	130	57.200
2	44.000	110	59.928
3	49.000	110	57.889
4	49.300	121	52.597
Promedio	48.725	122	56.904

Tabla 43: Resultados del ensayo de compresión axial en prismas de albañilería de ladrillo Titán liviano.

Fuente: Sepúlveda, 2016.

Probeta	Nº de hiladas	Carga máxima	Resistencia a la compresión axial (kg/cm ²)	Módulo de corte
1	6	8.000	17,78	3.478
2	4	13.300	29,56	7.918

Tabla 44: Resultados del ensayo de compresión axial en prismas de albañilería de ladrillo chonchón.

Fuente: Sepúlveda, 2016.

3.5.4 Comparación de resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial

Se estableció un cuadro comparativo, en el cual se aprecia las diferencias de resistencia a la compresión axial de las distintas de albañilerías estudiadas.

Valor	Prisma Eco-ladrillo Disposición Horizontal	Prisma Eco-ladrillo Disposición Vertical	Prisma Ladrillo Titán Liviano	Prisma de Ladrillo Chonchón
Área Bruta (cm ²)	1.346,40	348,84	399,39	449,94
Carga (kg)	12.192,14	6.647,96	48.725,00	8.000,00
Resistencia (kg/cm ²)	9,06	19,06	122,00	17,78

Tabla 45: Comparación de resistencia a la compresión axial de las distintas de albañilerías.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En primer lugar, la albañilería de ladrillos Titán Liviano, es la que presentó una resistencia mayor, la cual es de 122 kg/cm².

En segundo lugar, tenemos la albañilería de eco-ladrillos en disposición vertical, la que presentó una resistencia de 19,06 kg/cm².

En tercer lugar, tenemos la albañilería de ladrillos chonchón, la que presentó una resistencia de 17,78 kg/cm².

Y en último lugar, tenemos la albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal, la que presentó una resistencia de 9,06 kg/cm².

3.6 ENSAYO DE AISLACIÓN TÉRMICA DE MUROS

El presente ensayo no es de elaboración propia, pero se tomó como antecedente para el análisis de los eco-ladrillos como material de construcción.

Para la medición de temperatura de las caras se utilizó el equipo Xplorer GLX de Pasco con sensores de temperatura superficial PS-2131. Este equipo se conectó a un ordenador con el software “PASCO Capstone” para el traspaso de datos.

Se determinaron cinco sensores de temperatura. Se instaló uno en la cara del panel en donde se aplicó la temperatura y otro en su cara posterior. También se posicionaron sensores en la tabiquería de la cámara 1 y 2 con la finalidad de medir la temperatura ambiente entre estas, finalmente se ubicó un sensor fuera de la cámara de ensayo, para medir la temperatura ambiente del laboratorio en el que se realizó el estudio.

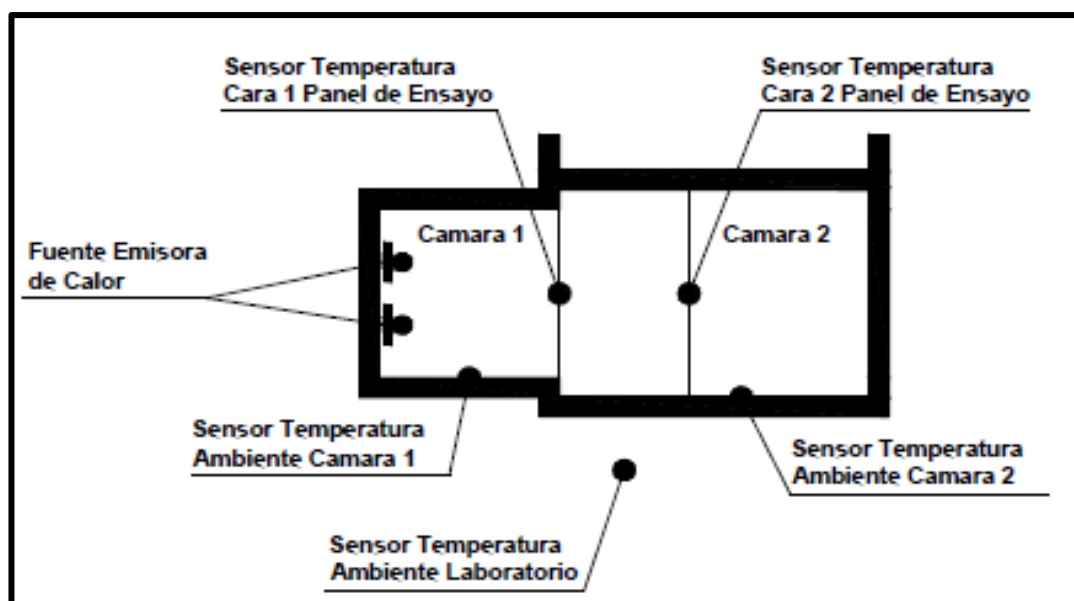


Figura 59: Disposición de los elementos dentro de la cámara de ensayo térmico.

Fuente: Gavilán, 2014.

Para obtener una mejor conclusión, se realizó este ensayo de aislación térmica a las siguientes soluciones:

- Panel de muro de eco-ladrillos en disposición horizontal.
- Panel de muro de eco-ladrillos en disposición vertical.
- Panel de muro de perfilería metálica estructural con revestimiento interior de yeso – cartón, revestimiento exterior en OSB y aislación de polietileno expandido (patrón 1).
- Panel de muro de albañilería (patrón 2).

Se evaluó el aislamiento térmico en la cámara de ensayo y con los resultados obtenidos se permitirá concluir si la solución de muros de eco-ladrillos cumple con los requisitos esperados.

Cabe destacar que los datos obtenidos se analizaron de acuerdo con las normas y criterios vigentes.

3.6.1 Comparación de resultados

Se evaluó simultáneamente los cuatro tipos de muros ensayados, para lograr establecer un rango, el cual nos permite comparar los resultados obtenidos.

Los datos obtenidos en las caras donde fueron expuestos a una temperatura constante fueron los siguientes:

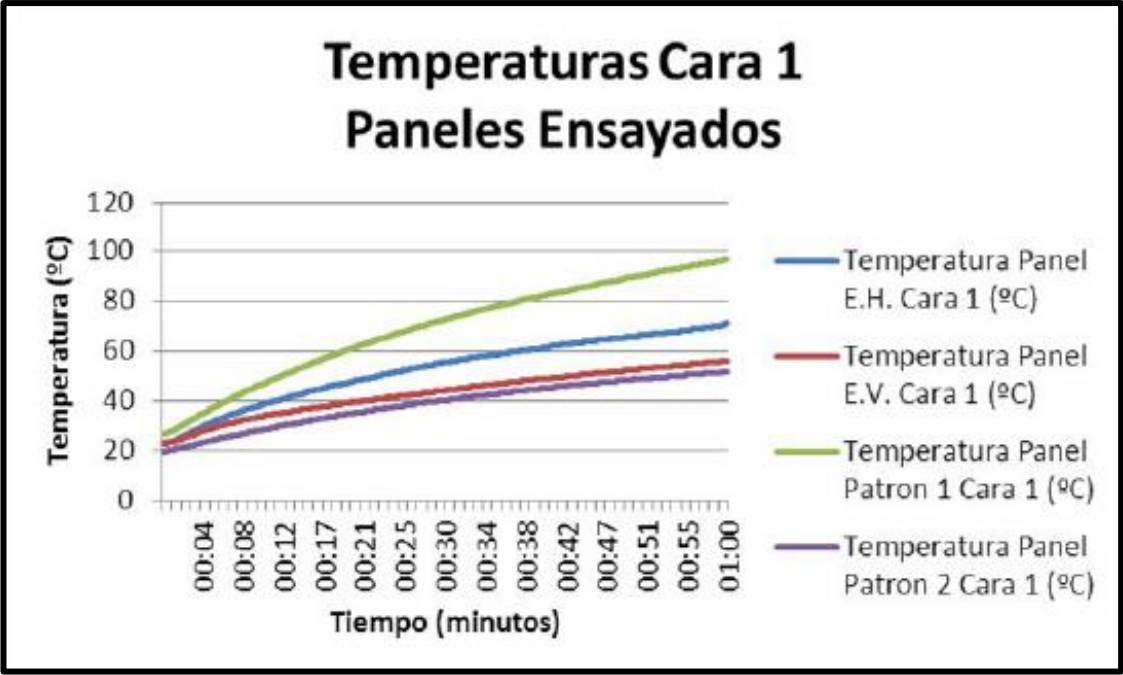


Figura 60: Gráfico de temperatura (°C) vs tiempo (minutos) en cara 1 de muro ensayados.

Fuente: Gavilán, 2014.

Se puede apreciar que el panel patrón 1, elaborado en estructura metálica, es el panel con mayor conductividad térmica, dado que este fue ensayado por el lado en que se instaló la plancha de yeso – cartón, el panel obtuvo una temperatura promedio de 68,81°C.

El panel patrón 2, conformado por una albañilería sin recubrimiento, fue aquel con mayor resistencia térmica. El valor promedio registrado para este caso fue de 38,70°C.

Los paneles propuestos con la incorporación del material eco-ladrillo mantuvieron valores intermedios entre los paneles patrón 1 y 2. El panel con eco-ladrillos en posición horizontal presento una temperatura promedio de 52,47°C, y el panel con eco-ladrillos en posición vertical tuvo una temperatura promedio de 42,90°C.

Valor	Temp. Eco-ladrillo Posición Horizontal(°C)	Temp. Eco-ladrillo Posición Vertical (°C)	Temp. Panel Tabiquería Metálica (°C)	Temp. Panel Muro de Albañilería (°C)
Mínimo	22,85	22,54	26,66	19,62
Máximo	71,14	55,99	96,62	51,6
Promedio	52,47	42,9	68,81	38,7

Tabla 46: Temperaturas (°C) en cara 1 de muros ensayados.

Fuente: Gavilán, 2013.

Los datos obtenidos en las caras opuestas al cual fueron expuestos a temperatura constante fueron los siguientes:

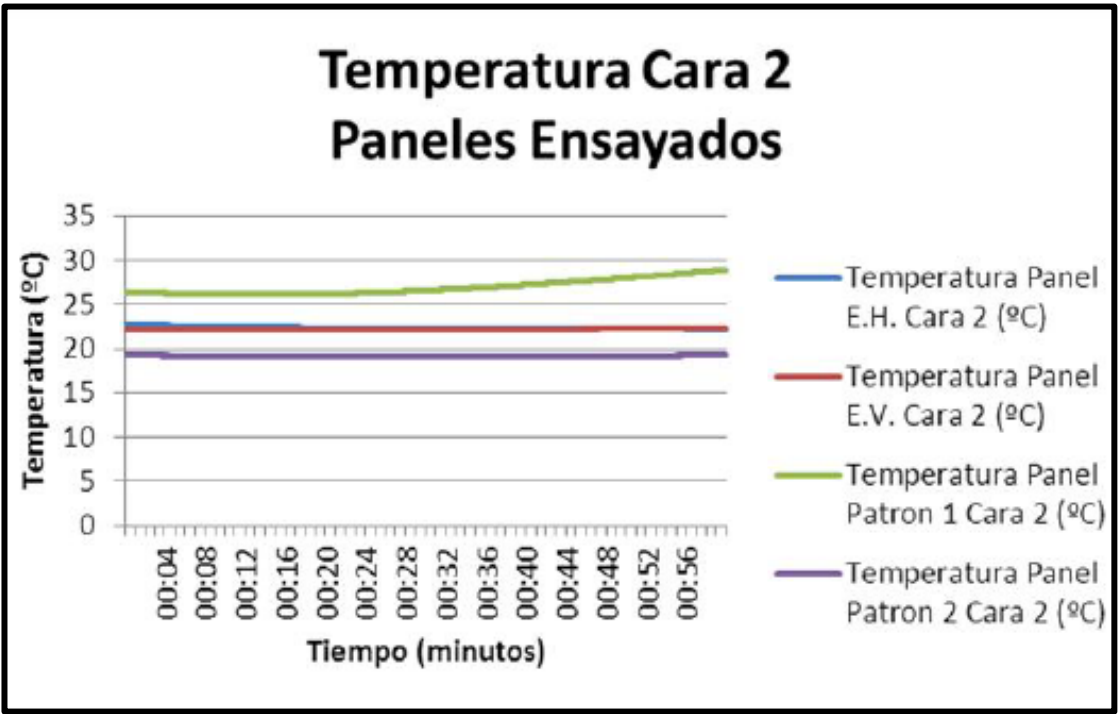


Figura 61: Gráfico de temperatura (°C) vs tiempo (minutos) en cara 2 de muros ensayados.

Fuente: Gavilán, 2013.

Las temperaturas del panel con eco-ladrillos en posición vertical y horizontal promediaron los 22°C.

El panel de muro de albañilería (patrón 2) obtuvo un valor promedio de 19,18°C, mientras que el panel de tabiquería metálica (patrón 1) obtuvo la mayor temperatura, promediando los 26,98°C.

Según Juan, G. (2013) “estos valores se ven afectados por la temperatura ambiente en los días que se ensayaron los paneles”.

Valor	Temp. Eco-ladrillo Posición Horizontal(°C)	Temp. Eco-ladrillo Posición Vertical (°C)	Temp. Panel Tabiquería Metálica (°C)	Temp. Panel Muro de Albañilería (°C)
Mínimo	22,24	22,18	26,18	19,12
Máximo	22,74	22,36	28,91	19,31
Promedio	22,38	22,22	26,98	19,18

Tabla 47: Temperaturas (°C) en cara 2 de muros ensayados.

Fuente: Gavilán, 2013.

Se estableció un cuadro comparativo, en el cual se aprecia las diferencias de temperatura promedio de las caras evaluadas en los cuatro paneles ensayados.

Valor	Panel Eco-H Cara 1	Panel Eco-H Cara 2	Panel Eco-V Cara 1	Panel Eco-V Cara 2	Tabiquería Metálica Cara 1	Tabiquería Metálica Cara 2	Muro de Albañilería Cara 1	Muro de Albañilería Cara 2
Mínimo	22,85	22,24	22,54	22,18	26,66	26,18	19,62	19,12
Máximo	71,14	22,74	55,99	22,36	96,62	28,91	51,6	19,31
Max - Min	48,29	0,5	33,45	0,18	69,96	2,73	31,98	0,19
Promedio	52,47	22,38	42,9	22,22	68,81	26,98	38,7	19,18
Promedios	30,09		20,68		47,83		19,52	

Tabla 48: Temperaturas (°C) en caras 1 y 2 de muros ensayados.

Fuente: Gavilán, 2013.

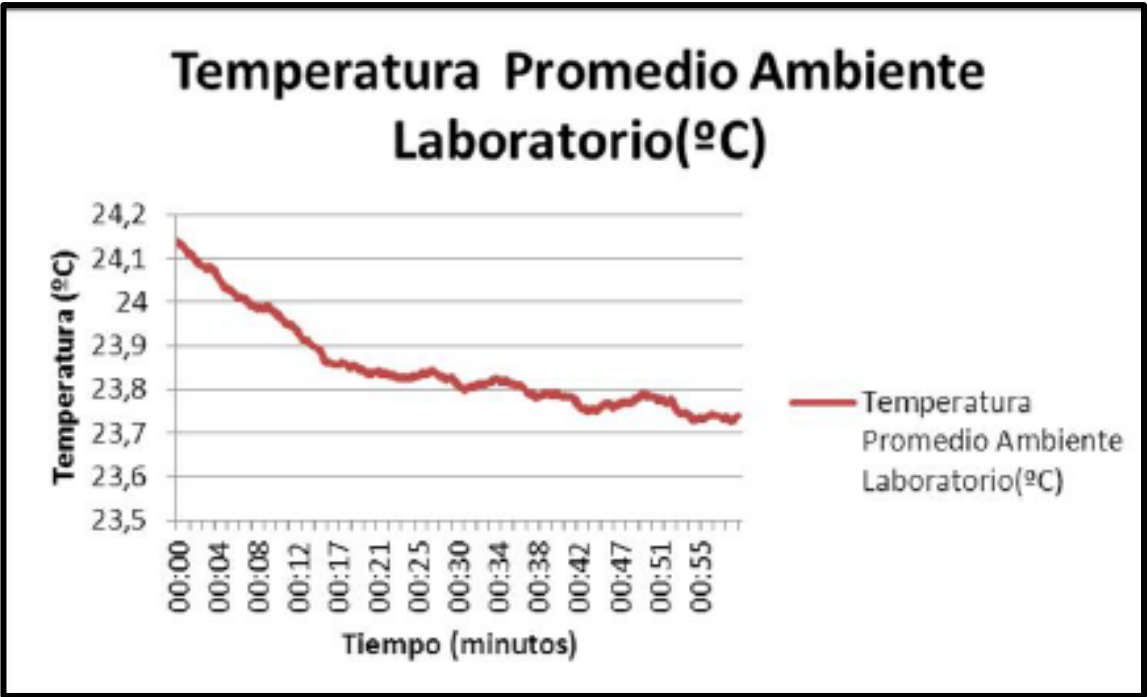


Figura 62: Gráfico de temperatura (°C) vs tiempo (minutos) de temperatura ambiente en laboratorio.

Fuente: Gavilán, 2014.

Se determino la temperatura ambiente promedio de 23,85°C, entre todos los ensayos efectuados en los laboratorios de hormigón de la universidad de Valparaíso.

Valor	Temp. (°C)
Mínimo	23,72
Máximo	24,15
Promedio	23,85

Tabla 49: Temperatura ambiente (°C) en laboratorio para muros ensayados.

Fuente: Gavilán, 2014.

Se determino la temperatura ambiente al cual fueron expuestas las dos subdivisiones de la cámara de ensayo, los datos obtenidos para la cámara nº1 se reflejan en el siguiente gráfico:

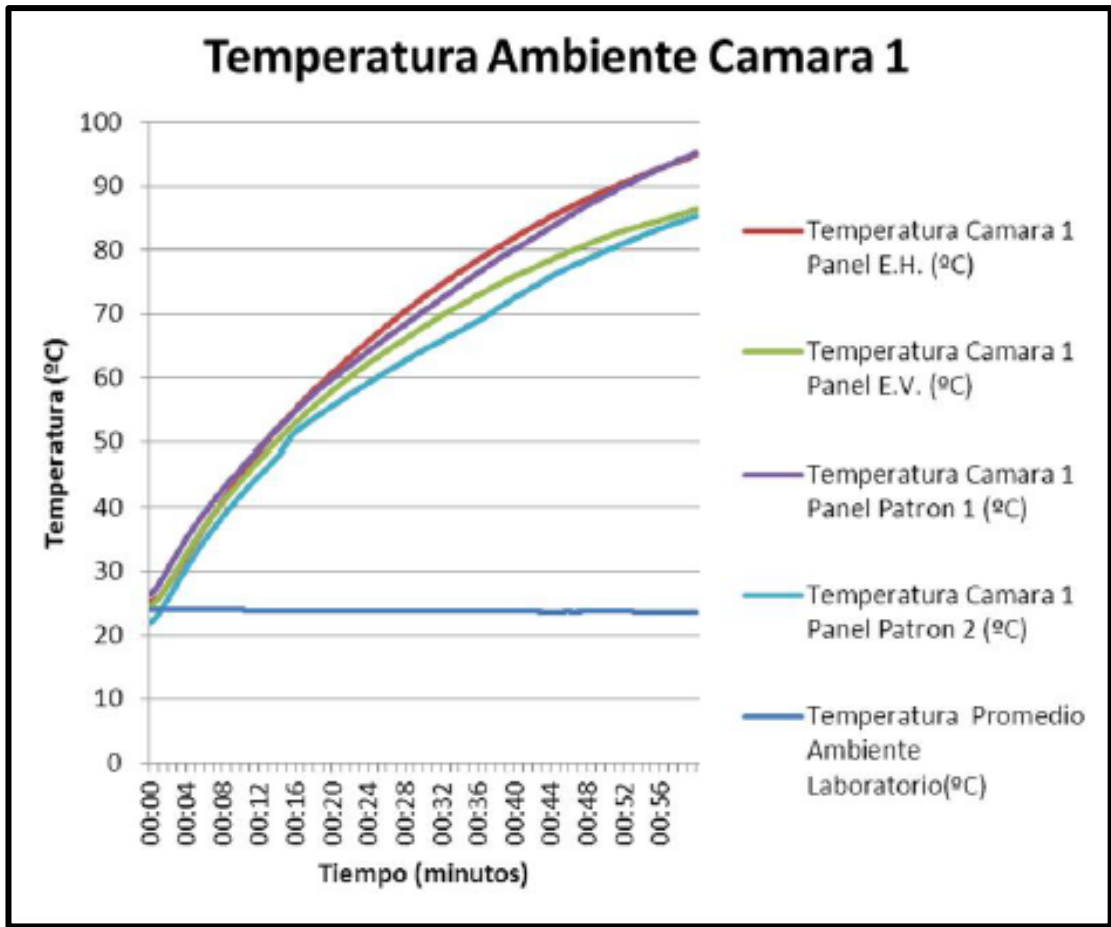


Figura 63: Gráfico de temperatura (°C) vs tiempo (minutos) en cámara 1 de ensayos.

Fuente: Gavilán, 2014.

Las temperaturas en la cámara donde se expuso la fuente de calor fluctuaron los valores de 25,25°C a 94,86°C, promediando 68,33°C para el panel con eco-ladrillos en posición horizontal. El panel con eco-ladrillos en posición vertical promedió una temperatura de 64,03°C, con un mínimo de 24,50°C y un máximo de 86,29°C.

La cámara donde fue expuesto el panel de tabiquería metálica (patrón 1) promedió los 67,79°C, a su vez el panel de muro de albañilería (patrón 2) promedió 61,46°C. Las temperaturas mínimas fueron 26,47°C y 22,02°C y su máxima de 95,18°C y 85,29°C respectivamente.

Valor	Temp. Eco-ladrillo Posición Horizontal Cámara 1 (°C)	Temp. Eco-ladrillo Posición Vertical Cámara 1 (°C)	Temp. Panel Tabiquería Metálica Cámara 1 (°C)	Temp. Panel Muro de Albañilería Cámara 1 (°C)
Mínimo	25,25	24,50	26,47	22,02
Máximo	94,86	86,29	95,18	85,29
Promedio	68,33	64,03	67,79	61,46

Tabla 50: Temperaturas (°C) en cámara 1 de muros ensayados.
Fuente: Gavilán, 2014.

Los datos obtenidos para la cámara de nº2 se reflejan en el siguiente gráfico:

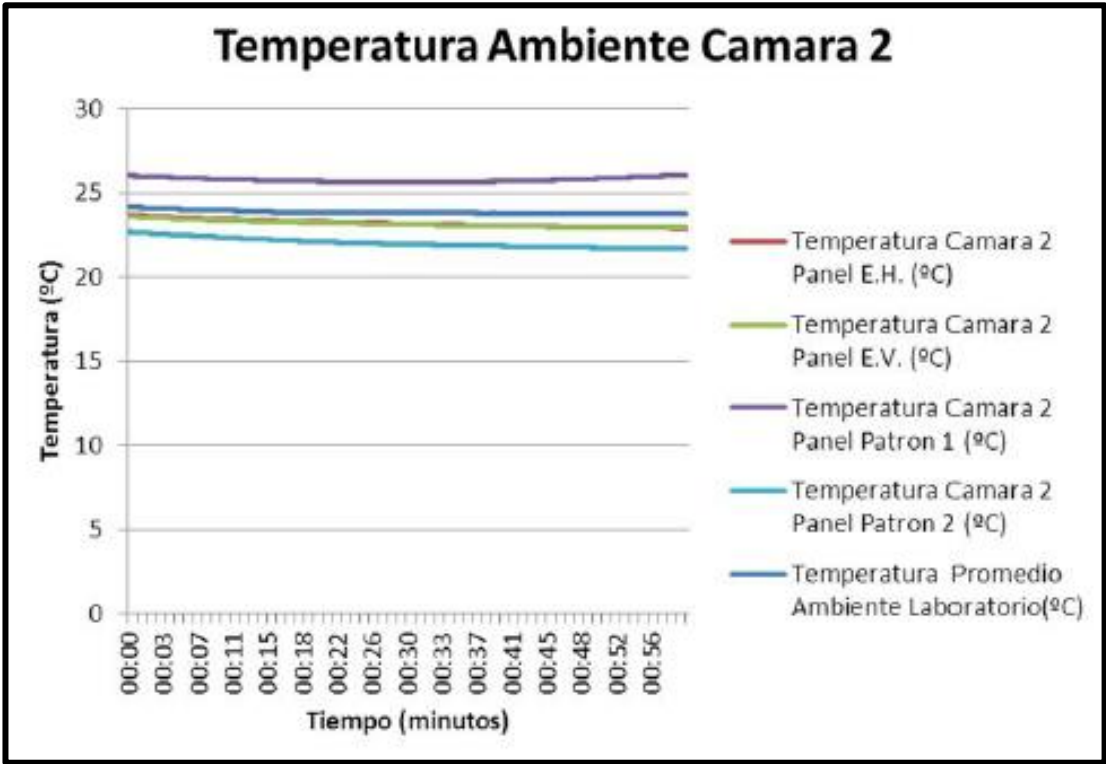


Figura 64: Gráfico de temperatura (°C) vs tiempo (minutos) en cámara 2 de ensayos.
Fuente: Gavilán, 2014.

A través de la cámara número 2, los valores fluctuaron los 22,92°C a 23,70°C, promediando 23,19°C para el panel de eco-ladrillos en posición horizontal. El panel con eco-ladrillos en posición vertical promedió una temperatura de 23,71°C, con un mínimo de 22,95°C y un máximo de 23,59°C.

La cámara donde fue expuesto el panel de tabiquería metálica (patrón 1) promedió los 25,78°C, a su vez el panel de muro de albañilería (patrón 2), promedió 22,03°C. Las temperaturas mínimas fueron de 25,64°C y 21,69°C y su máxima de 26,06°C y 22,71°C respectivamente.

Valor	Temp. Eco-ladrillo Posición Horizontal Cámara 2 (°C)	Temp. Eco-ladrillo Posición Vertical Cámara 2 (°C)	Temp. Panel Tabiquería Metálica Cámara 2 (°C)	Temp. Panel Muro de Albañilería Cámara 2 (°C)
Mínimo	22,92	22,95	25,64	21,69
Máximo	23,70	23,59	26,06	22,71
Promedio	23,19	23,17	25,78	22,03

Tabla 51: Temperaturas (°C) en cámara 2 de muros ensayados.

Fuente: Gavilán, 2014.

Se estableció un cuadro comparativo, en el cual se aprecian las diferencias de temperatura promedio entre las cámaras 1 y 2 en los cuatro paneles ensayados.

Valor	Panel Eco- H C1	Panel Eco- H C2	Panel Eco- V C1	Panel Eco- V C2	Tabique Metálico C1	Tabique Metálico C2	Muro de Ladrillos C1	Muro de Ladrillos C2
Mínimo	25,25	22,92	24,5	22,95	26,47	25,64	22,02	21,69
Máximo	94,86	23,7	86,29	23,59	95,18	26,06	85,29	22,71
Max - Min	69,61	0,78	61,79	0,64	68,71	0,42	63,27	1,02
Promedio	68,33	23,19	64,03	23,17	67,79	25,78	61,46	22,03
Promedios	45,13		40,86		42,01		39,44	

Tabla 52: Temperaturas (°C) en cámaras 1 y 2 de muros ensayados.

Fuente: Gavilán, 2014.

La cámara 1 donde se ensayó el panel con eco-ladrillos en posición horizontal, presentó un aumento de 69,61°C. La cámara 2 a su vez presentó un aumento de 0,78°C. La diferencia de temperaturas promedio entre las cámaras para este estudio fue de 45,13°C.

La cámara 1 donde se ensayó el panel con eco-ladrillos en posición vertical, presentó un aumento de temperatura de 61,79°C. La cámara 2 a su vez presentó un aumento de 0,64°C. La diferencia de temperaturas promedio entre las cámaras para este estudio fue de 40,86°C.

La cámara 1 donde se ensayó el panel de tabiquería metálica (patrón 1), presentó un aumento de temperatura de 68,71°C. La cámara 2 a su vez presentó un aumento de 0,42°C. La diferencia de temperaturas promedio entre las cámaras para este estudio fue de 42,01°C.

La cámara 1 donde se ensayó el panel de muro de albañilería (patrón 2), presentó un aumento de temperatura de 63,27°C. La cámara 2 a su vez presentó un aumento de 1,02°C. La diferencia de temperaturas promedio entre las cámaras para este estudio fue de 39,44°C.

3.7 RESULTADO DEL ENSAYO ACÚSTICO

Al igual que el ensayo térmico, este ensayo no es de elaboración propia, pero se tomó como antecedente para el análisis de los eco-ladrillos como material de construcción.

Para este ensayo se utilizó la misma cámara hermética utilizada en el ensayo de aislación térmica y el equipo Xplorer GLX, esta vez con el sensor PS-2109 que registra el nivel de sonido en dB(A).

El equipo se conectó al ordenador con el software "Pasco Capstone" para el traspaso de la información.

Dentro de la cámara 2 se instalaron un par de parlantes, los que cumplieron la función de fuente emisora de sonido, emitiendo un ruido continuo de simulación de tráfico vehicular de 80 – 90 dB(A), con ruido rosa, debido a que este es el ruido utilizado para realizar medidas normalizadas. El sonido se simuló con el software "Audacity".

Se posicionaron dos equipos de medición acústico, en la cámara 2 se midieron los datos de simulación de tránsito vehicular, mientras que en la cámara 1 se midió el nivel de sonido transmitido.

También se ubicaron sensores en la tabiquería de la cara 1 y 2 con la finalidad de medir la temperatura ambiente entre estas, finalmente se ubicó uno afuera de la cámara de ensayo, midiendo la temperatura ambiente del laboratorio.

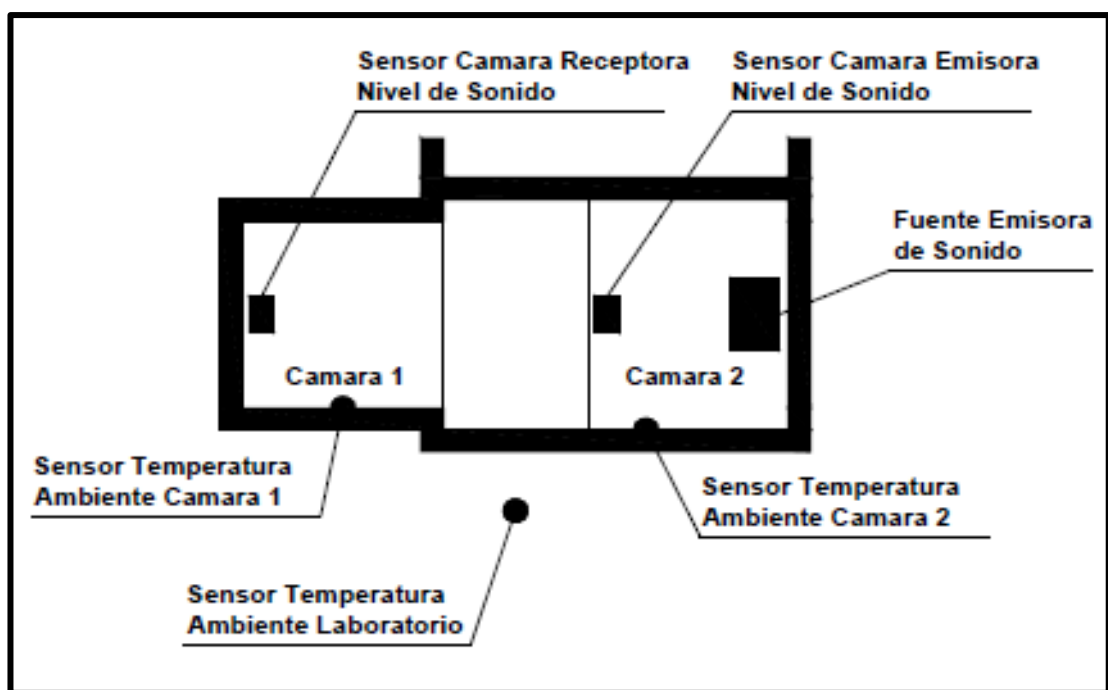


Figura 65: Disposición de elementos dentro de la cámara de ensayo acústico.

Fuente: Gavilán, 2014.

3.7.1 Comparación de resultados de los ensayos acústicos

Se evaluó simultáneamente los cuatro tipos de muros ensayados, con la facilidad de establecer un rango, el cual nos permita comparar los resultados obtenidos.

Los datos obtenidos del ruido rosa simulando el nivel de tráfico en las cámaras de emisión y recepción contaron con un tiempo de ensayo de cinco minutos en la cámara hermética.

El presente gráfico demuestra la presión sonora de dB(A) de la cámara de ensayo en la cual se emitió el ruido rosa y en la cual se recepciona.

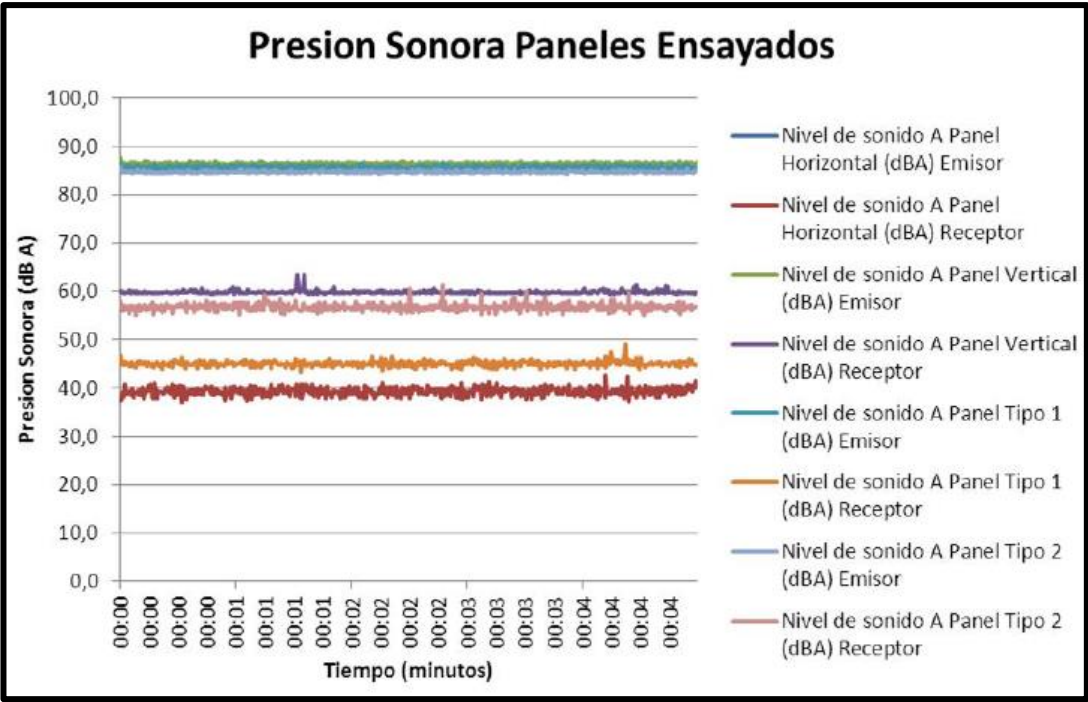


Figura 66: Gráfico de presión sonora (dB(A)) vs tiempo (minutos) en muros ensayados.

Fuente: Gavilán, 2014.

Valor	Eco-H EMISOR	Eco-H RECEPTOR	Eco-V EMISOR	Eco-V RECEPTOR	Tabique Metálico EMISOR	Tabique Metálico RECEPTOR	Muro de Ladrillos EMISOR	Muro de Ladrillos RECEPTOR
Mín.	85,20	37,00	84,20	55,00	84,70	43,40	86,00	59,20
Máx.	86,00	42,70	85,70	61,40	86,60	49,10	87,70	63,40
Max- Min	0,80	5,70	1,50	6,40	1,90	5,70	1,70	4,20
Prom	85,50	39,30	84,70	56,70	85,60	45,00	86,50	59,80
Proms	46,20		28,00		40,60		26,70	

Tabla 53: Resumen de niveles de sonido (dB(A)) de paneles ensayados.

Fuente: Gavilán, 2014.

El panel con eco-ladrillos en disposición horizontal presentó una presión sonora promedio de 85,5 dB(A) en la cámara emisora, correspondiente a la simulación del tráfico vehicular. La cámara receptora promedió una presión sonora de 39,3 dB(A). La diferencia de presión sonora entre las cámaras para este estudio fue de 46,2 dB(A), obteniendo la mejor aislación entre los ensayos efectuados.

El panel con eco-ladrillos en disposición vertical presentó una presión sonora promedio de 84,7 dB(A) en la cámara emisora. La cámara receptora promedió una presión sonora de 56,7 dB(A). La diferencia de presión sonora entre las cámaras para este estudio fue de 28,0 dB(A).

El panel de muro de tabiquería metálica presentó una presión sonora promedio de 85,6 dB(A) en la cámara emisora. La cámara receptora promedió una presión sonora de 45,0 dB(A). La diferencia de presión sonora entre las cámaras para este estudio fue de 40,06 dB(A).

Finalmente, el panel de muro de albañilería presentó una presión sonora promedio de 86,5 dB(A) en la cámara emisora. La cámara receptora promedió una presión sonora de 59,8 dB(A). La diferencia de presión sonora entre las cámaras para este estudio fue de 26,7 dB(A).

3.8 RESISTENCIA AL FUEGO DE MUROS CONSTRUIDOS CON ECO-LADRILLOS

Al igual que el ensayo térmico y acústico, este ensayo no es de elaboración propia, pero se tomó como antecedente para el análisis de los eco-ladrillos como material de construcción.

3.8.1 Resultados de los ensayos de resistencia al fuego en panel de eco-ladrillos en disposición horizontal

Cuando se realizó este ensayo, se consideró que un elemento constructivo de eco-ladrillos en disposición horizontal era capaz de soportar carga, debido a un ensayo de compresión de eco-ladrillos sin recubrimiento, el que soporto carga como se describe en el punto 2.4. Debido a esto, se evaluó el ensayo térmico bajo condiciones de soporte de carga, aislamiento, estanqueidad y por emisión de gases inflamables.



Figura 67: Ensayo a llama directa en panel de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Gallardo, 2014.

El ensayo tuvo una duración total de 102 minutos según lo establecido en la metodología de ensayo a llama directa. Se aplico este ensayo en tres paneles de eco-ladrillos para comparar los resultados, los que se presentan en la siguiente gráfica de temperatura en °C de la cara expuesta a llama directa (C1) medida por una termocupla ubicada al centro del panel cada 3 minutos.

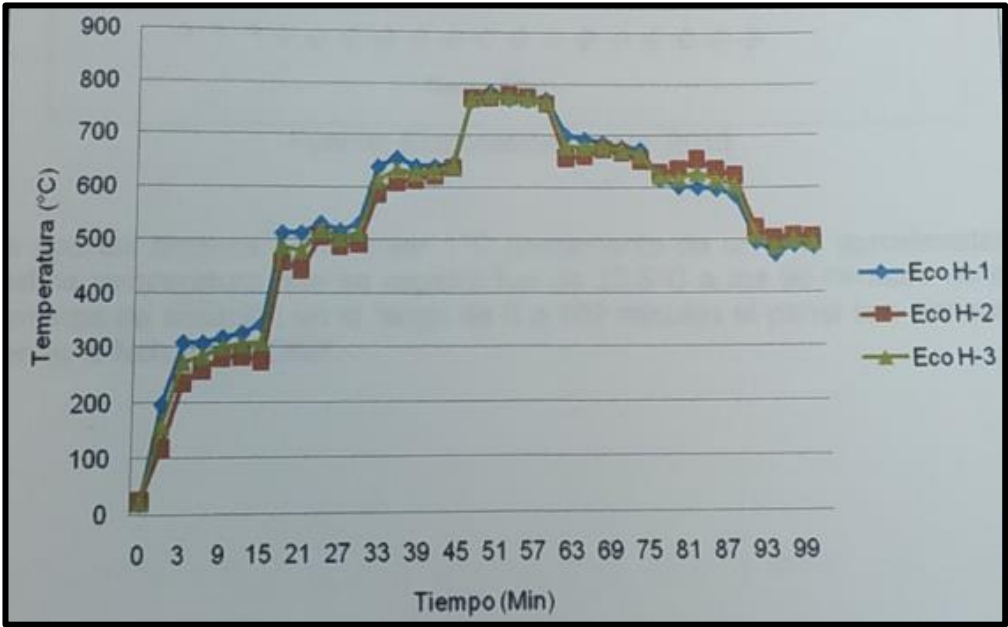


Figura 68: Gráfico de temperatura en C1 (°C) vs tiempo (min) en paneles de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Gallardo, 2014.

Las curvas representan el aumento paulatino de la temperatura de la cara principal expuesta al soplete simulando la acción de una combustión en las caras de los paneles sin presentar mucha diferencia de cómo se desarrollaron las curvas de temperatura de los tres paneles, donde el panel ECO H-1 alcanzo la máxima de temperatura de 784 °C a los 51 minutos.

Durante todo el desarrollo de la experiencia la única observación relevante fue la aparición de una pequeña mancha de aproximadamente 5 cm de diámetro en el centro del panel, donde incide directamente la llama del soplete en su punto más cercano a 9 cm de distancia del panel al soplete. No se presentaron fisuras, ni emisión de gases durante el experimento.

De manera paralela a las mediciones de la cara C1, se realizaron mediciones de temperatura a la cara no expuesta (C2), para evaluar el aislamiento que posee el elemento como lo establece la NCh 935/1 Of 97. La siguiente gráfica ilustra el aumento de la temperatura en la cara C2 en función del tiempo.

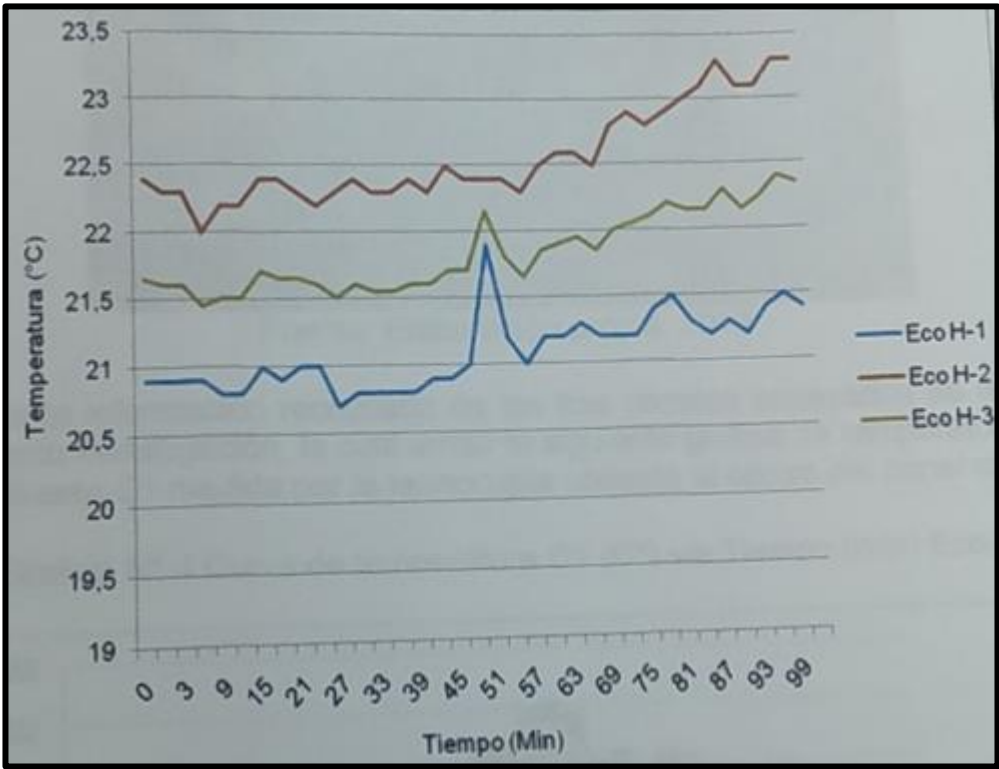


Figura 69: Gráfico de temperatura en C2 (°C) vs tiempo (min) en paneles de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Gallardo, 2014.

La temperatura apenas alcanza a aumentar 1°C (incremento del 4%) aproximadamente en los 3 paneles y la máxima temperatura que se registro fue de 23,3°C a los 90 minutos de

ensayo del panel Eco H-2. En términos de aislación en el rango de 0 a 102 minutos el panel de eco-ladrillos en disposición horizontal cumple con lo establecido en la NCh 935/1 Of 97.

3.8.2 Resultados de los ensayos térmico panel de eco-ladrillos en disposición vertical

Cuando se realizó este ensayo, se consideró que un elemento constructivo de eco-ladrillos en disposición vertical no era capaz de soportar carga, debido a un ensayo de compresión de eco-ladrillos sin recubrimiento, al que se le aplicó carga y se deformato inmediatamente, como se describe en el punto 2.4. Debido a esto, se evaluó el ensayo térmico bajo condiciones de aislamiento, estanqueidad y por emisión de gases inflamables.



Figura 70: Ensayo a llama directa en panel de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Gallardo, 2014.

El ensayo tuvo una duración total de 102 minutos según lo establecido en la metodología de ensayo a llama directa. Se aplicó este ensayo en tres paneles de eco-ladrillos para comparar los resultados, los que se presentan en la siguiente gráfica de temperatura en °C de la cara expuesta a llama directa (C1) medida por una termocupla ubicada al centro del panel cada 3 minutos.

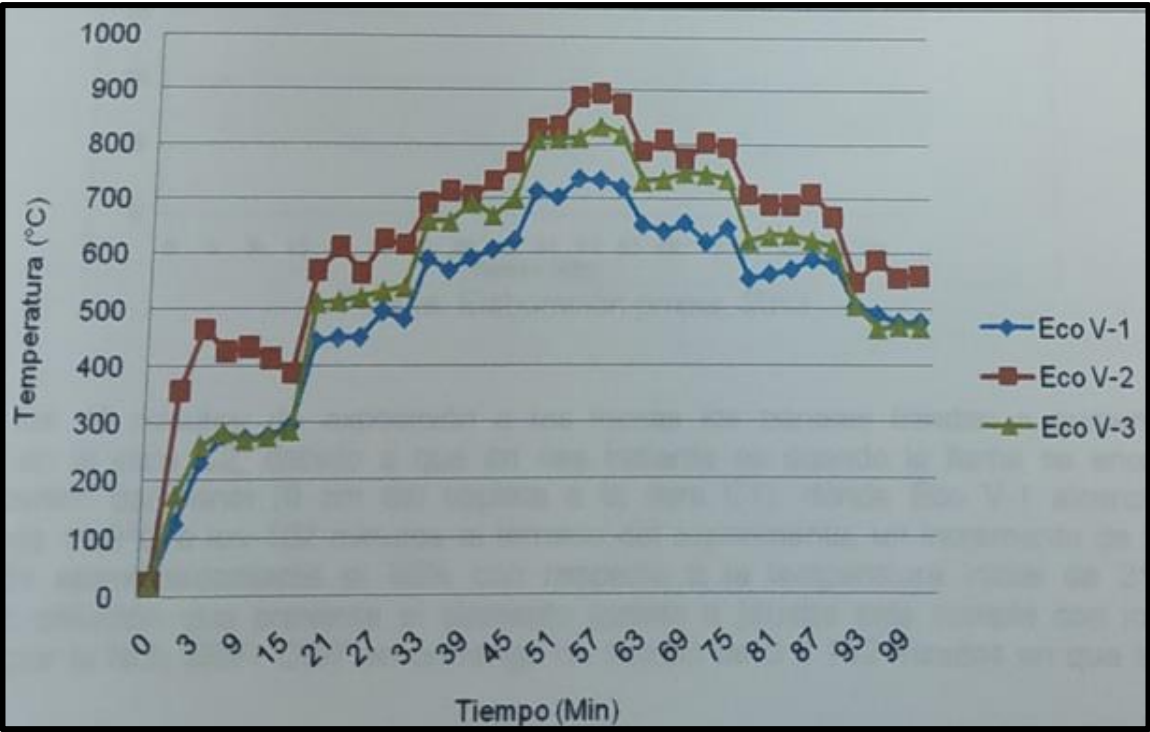


Figura 71: Gráfico de temperatura en C1 (°C) vs tiempo (min) en paneles de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Gallardo, 2014.

Las curvas representan el aumento paulatino de la temperatura de la cara principal expuesta al soplete simulando la acción de un incendio, las tres curvas presentan la tendencia de aumento de temperatura, pero con ligeras desviaciones siendo el panel Eco V-2 el alcanza la mayor temperatura la que fue de 895°C, le sigue el Eco V-2 con 835°C y Eco V-1 con 734°C a los 57 minutos.

Las causas de estas variaciones en las curvas son atribuidas principalmente a que no es posible controlar las variables que influyen en las mediciones, como lo son la temperatura ambiente del recinto y corrientes de aire que pudieron afectar la dirección de la llama al panel.

Durante todo el desarrollo de la experiencia la única observación relevante fue la aparición de una pequeña mancha de aproximadamente 5 cm de diámetro en el centro del panel donde incide directamente la llama del soplete en su punto más cercano a 9 cm de distancia del panel al soplete. No se presentaron fisuras, ni emisión de gases durante el experimento.

Los panees ensayados de dimensiones 0,15 X 0,60 X 0,64 m presentaron un mayor aumento de la temperatura de la cara no expuesta a las llamas. La siguiente gráfica ilustra el aumento de la temperatura en la C2 en función del tiempo.

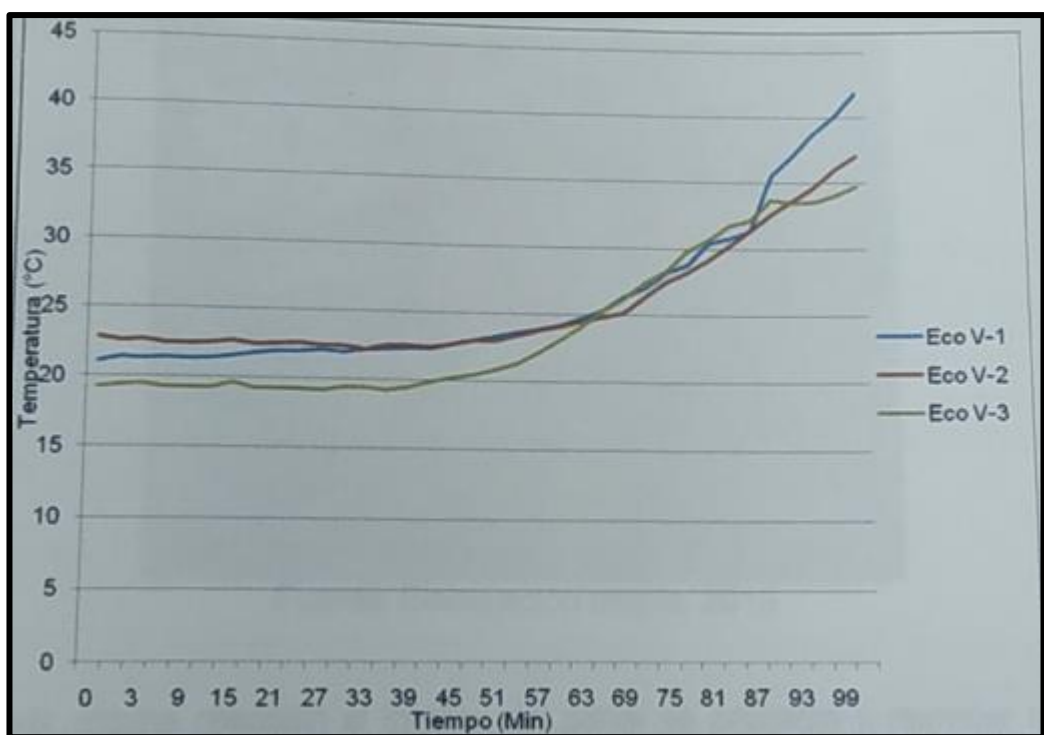


Figura 72: Gráfico de temperatura en C2 (°C) vs tiempo (min) en paneles de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Gallardo, 2014.

A partir de los 45 minutos de exposición a las llamas, los paneles tienden a aumentar más la temperatura en la cara C2, debido a que en ese instante es cuando la llama se encuentra más cercana al centro del panel (9 cm del soplete a la cara C1), donde el Eco V-1 alcanza la mayor temperatura de 41,9°C a los 102 minutos al término del experimento, un incremento de 20,8°C (un incremento de aproximadamente el 98% con respecto a la temperatura inicial de 21,1°C). Con respecto a la aislación que presenta el elemento puesto a prueba este cumple con los requisitos establecidos por la Nch 935/1 Of 97 en un rango de tiempo de 0 a 102 minutos en que transcurre el ensayo.

A modo de observar alguna reacción al interior del panel se procedió a demoler la capa de estuco interior de 2 cm de espesor al panel Eco V-1, para medir la temperatura superficial con el termómetro infrarrojo de la capa de revoque y luego dicha capa para observar si la exposición al fuego afectó a los eco-ladrillos dentro del panel.



Figura 73: Vista interior del panel Eco V-1

Fuente: Gallardo, 2014.

La capa de revoque se encontraba a una temperatura de 150°C, 328°C más baja que la última lectura registrada por la termocupla de 478°C en la capa de terminación. Los eco-ladrillos al interior presentaron una temperatura de 78°C, no sufrió ninguna alteración.

3.8.3 Limitaciones constructivas

La OGUC establece que el diseño de las edificaciones debe asegurar que se cumplan las siguientes condiciones:

- Que se facilite el salvamento de los ocupantes de los edificios en caso de incendio.
- Que se reduzca al mínimo, en cada edificio, el riesgo de incendio.
- Que se evite la propagación del fuego, tanto al resto del edificio como desde un edificio a otro.
- Que se facilite la extensión de los incendios.

Según el artículo 4.3.3 de la OGUC los edificios que conforme a este capítulo requieran protegerse contra el fuego deberán proyectarse y construirse según alguno de los cuatro tipos que se señalan en la tabla siguiente y los elementos que se utilicen en su construcción deberán cumplir con la resistencia al fuego que en dicha tabla se indica.

ELEMENTOS DE CONSTRUCCION									
TIPO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F- 30	F- 60	F-120	F- 60
b	F-150	F-120	F- 90	F- 90	F- 90	F- 15	F- 30	F- 90	F- 60
c	F-120	F- 90	F- 60	F- 60	F- 60	-	F- 15	F- 60	F- 30
d	F-120	F- 60	F- 60	F- 60	F- 30	-	-	F- 30	F- 15

Tabla 54: Resistencia al fuego requerida para los elementos de construcción de edificios.

Fuente: OGUC, 2008.

Simbología:

Elementos verticales:

- (1) Muros cortafuego
- (2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera
- (3) Muros caja ascensores
- (4) Muros divisorios entre unidades (hasta cubierta)
- (5) Elementos soportantes verticales
- (6) Muros no soportantes y tabiques

Elementos verticales y horizontales:

- (7) Escaleras

Elementos horizontales:

- (8) Elementos soportantes horizontales
- (9) Techumbre incluido cielo falso

Se asumió que en ambas soluciones constructivas cumplen con los requisitos para ser clasificado con una resistencia mínima al fuego de F-90, ya que en el rango de 0 a 102 minutos que se llevó a cabo la experiencia, ambas propuestas aun cumplen los requisitos establecidos por la NCh 935/1 Of 97 (soporte de carga, estanqueidad, aislación y emisión de gases inflamables). Entonces de acuerdo a este artículo se clasificó al muro de eco-ladrillos en disposición horizontal como elemento soportante vertical (5)b y al muro de eco-ladrillos en disposición vertical como elemento muro no soportante y tabique (6)a.

Según el artículo 4.3.4, para aplicar lo dispuesto en el artículo mencionado anteriormente, deberá considerarse, además del destino y del número de pisos del edificio, su superficie edificada, o la carga de ocupación, o la densidad de carga combustible, según corresponda, como se señala en la siguiente tabla.

Destino del edificio	Superficie edificada (M2)	Numero de pisos 1 2 3 4 5 6 7 o más
Habitacional	Cualquiera	d d c c b a a
Hoteles o similares	Sobre 5.000 sobre 1.500 y hasta 5.000 sobre 500 y hasta 1.500 hasta 500	c b a a a a a c b b b a a a c c b b a a a d c b b a a a
Oficinas	Sobre 1.500 sobre 500 y hasta 1.500 hasta 500	c c b b b a a c c c b b b a d c c b b b a
Museos	Sobre 1.500 sobre 500 y hasta 1.500 hasta 500	c c b b b a a c c c b b b a d c c b b b a
Salud(clínica, hospitales y laboratorios)	Sobre 1.000 Hasta 1.000	c b b a a a a c c b b a a a
Salud (Policlínicos)	Sobre 400 Hasta 400	c c b b b b a d c c b b b a
Restaurantes y fuentes de soda	Sobre 500 Sobre 250 y hasta 500 Hasta 250	b a a a a a a c b b a a a a d c c b b a a
Locales comerciales	Sobre 500 Sobre 200 y hasta 500 Hasta 200	c b b a a a a c c b b a a a d c b b b a a
Bibliotecas	Sobre 1.500 Sobre 500 y hasta 1.500 Sobre 250 y hasta 500 Hasta 250	b b a a a a a b b b a a a a c b b b a a a d c b b a a a
Centro de reparación automotor	Cualquiera	d c c b b b a
Edificios de estacionamiento	Cualquiera	d c c c b b a

Tabla 55: Tipo de elemento constructivo según destino, superficie edificada y número de pisos.

Fuente: OGUC, 2008.

En el caso de diseñar una edificación con destino habitacional, los eco-ladrillos en disposición horizontal sea cual sea la cantidad de metros cuadraos edificados, la ordenanza sugiere ejecutar hasta un máximo de 5 pisos, en cambio en el caso del uso del eco-ladrillos en disposición vertical, la ordenanza establece que es posible la construcción de una edificación desde los 6 pisos, para un elemento constructivo de tipo (6)a.

3.9 ANALISIS DE COSTOS

3.9.1 Elementos estructurales de muros de albañilería

La NCh 2123 especifica que las dimensiones de un paño de albañilería quedan determinadas por la distancia entre los ejes de sus elementos de confinamiento, pilares y cadenas, ubicados en un mismo plano.

El área y la dimensión horizontal máxima de un paño deben satisfacer los siguientes requisitos:

- Área máxima del paño en su plano: $12,5 \text{ m}^2$.
- Dimensión horizontal máxima del paño: 6 m.

El artículo 5.6.2 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones dice que los muros de albañilería de ladrillo se construirán entre pilares y cadenas de hormigón armado, salvo las excepciones que diga la Ordenanza.

3.9.1.1 Pilares

En el caso de los pilares de hormigón armado, estos se deben colocar en las intersecciones del muro. Si la distancia entre las intersecciones excede 1,8 veces la altura del piso o si es mayor a 6 m, se colocarán pilares intermedios.

En general, los pilares deben tener una sección de 400 cm^2 . O sea, puede ser de 20 X 20 cm, o de 15 X 27 cm, o de 18 X 22 cm y estar provistos de una armadura de 4 barras de acero redondo de 10 mm de diámetro cada una y los estribos se harán con barras de acero de 6 mm de diámetro, a lo menos, y se colocarán a distancia no superior a 0,20 m una de otra.

3.9.1.2 Cadenas

Las cadenas de hormigón armado constituirán vigas insertadas en la albañilería a la altura de los suelos y de las techumbres y ligadas a los pilares correspondientes.

El ancho de las cadenas será, a lo menos, igual al de los pilares, y su altura no debe ser inferior a 0,20 m

La armadura de la cadena en viviendas de un piso es de 4 barras de 10 mm de diámetro, con estribos de 6 mm, a no más de 30 cm de distancia. En viviendas de 2 pisos, la cadena en primer y segundo piso debe tener 4 barras de 12 mm de diámetro. Los empalmes de las barras

deben estar cruzadas por lo menos en 40 veces el diámetro de las barras, sin considerar los ganchos.

3.9.2 Presupuesto muro de albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal

Muro construido con eco-ladrillos en disposición horizontal de espesor 35 cm, amarrados con alambre nº18 y con mortero de pega de 1,5 cm en llagas y tendel en una relación 1:3 (A:C), estuco de 2,5 cm de espesor, tanto interior como exterior. Este muro está confinado por 2 pilares de hormigón armado (H-25) de dimensiones 0,20 X 0,35 X 3,00 m con 6 barras de acero de 12 mm de diámetro y estribos con barras de acero de 8 mm de diámetro a una distancia de 0,20 cm y una cadena de hormigón armado (H-25) de dimensiones 0,25 X 0,35 X 3,40 m compuesta por 6 barras de acero de 12 mm de diámetro y estribo de barras de acero de 8 mm de diámetro cada 20 cm.

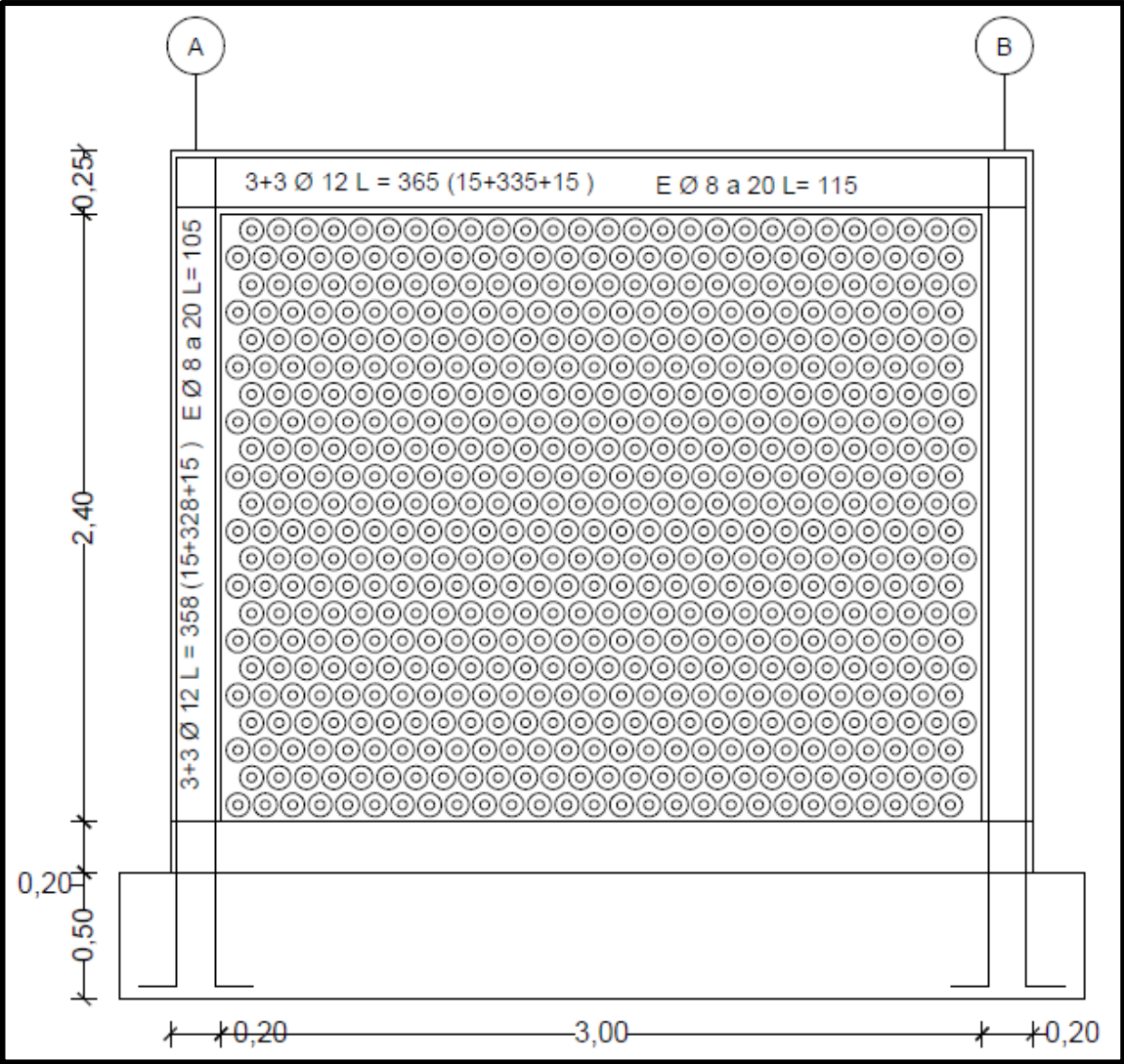


Figura 74: Muro de albañilería confinada de eco-ladrillos en disposición horizontal.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A continuación, se presenta el análisis de costos para un muro de albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal, en el cual se presupuestó lo siguiente:

- Pilares de hormigón armado de dimensiones 0,20 X 0,35 X 2,40 m.
- Muro de albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal e = 30 cm y h = 2,40 m.
- Estuco exterior e = 2,5 cm.
- Estuco interior e = 2,5 cm.
- Cadena de hormigón armado de dimensiones 0,25 X 0,35 X 3,40 m.

El presupuesto se detalla en las siguientes tablas con sus respectivos análisis de precios unitarios (APU).

ITEM	DENOMINACION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL \$
II: OBRA GRUESA					
2.1	Trazado y replanteo		-	-	-
2.2	Excavaciones		-	-	-
2.3	Emplantillado		-	-	-
2.4	Fundaciones		-	-	-
2.5	Pilares de Hormigón Armado 0,20 X 0,35 X 3,00 m	c/u	2,000	62.227	124.454
2.6	Muro de Albañilería Eco-ladrillos en Disposición Horizontal e = 30 cm	m2	7,200	12.611	90.796
2.7	Estuco Interior e = 2,5 cm	m2	7,200	11.090	79.849
2.8	Estuco Exterior e = 2,5 cm	m2	7,200	6.822	49.119
2.9	Cadena de Hormigón Armado 0,25 X 0,35 X 3,40 m	c/u	1,000	84.640	84.640
Subtotal Item II					428.858
Total, Costo Directo					428.858

Tabla 56: Presupuesto muro de albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal e = 35 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANT.	
2.5	PILAR DE HORMIGÓN ARMADO 0,20 x 0,35 X 2,40 M			C/U	2	
ESPECIFICACION MATERIAL		UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
FIERRO 8 MM		kg	7,47	0,0422	0,3152	8.847
FIERRO 12 MM		kg	19,07	0,0415	0,7914	22.211
MOLDAJE DE MADERA PARA PILARES		m2	1,80	0,3043	0,5477	15.373
HORMIGÓN 300 KG/CEM/M3 (H-25)		m3	0,17	3,3502	0,5628	15.796
A) TOTAL DE MATERIALES					2,2172	62.227
MANO DE OBRA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
B) TOTAL MANO DE OBRA					0,0000	0
MAQUINARIA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA					0,0000	0
					TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)					2,2172	62.227

Tabla 57: APU pilar de hormigón armado 0,20 X 0,35 X 2,4 m.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANT.	
2.6	ALBAÑILERÍA DE ECO-LADRILLOS EN DISPOSICIÓN HORIZONTAL			M2	7,2	
ESPECIFICACION MATERIAL		UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
ECO-LADRILLO MEDIANO 1,5 LT		c/u	79,4	0	0,0000	0
ALAMBRE N° 18		kg	0,3904	0,0559	0,0218	613
ARENA GRUESA		lt	168,84	0,0006	0,2247	6.306
CEMENTO ESPECIAL 25 KG		c/u	2,34	0,0958	0,0315	883
PÉRDIDAS		%	3,00		0,0083	234
A) TOTAL MATERIALES					0,2863	7.422
MANO DE OBRA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
MAESTRO		día	0,12	0,8613	0,1034	2.901
AYUDANTE		día	0,06	0,6294	0,0378	1.060
LEYES SOCIALES		%	31		0,0437	1.228
B) TOTAL MANO DE OBRA					0,1849	5.188
MAQUINARIA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA					0,000	0
					TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)					0,4712	12.611

Tabla 58: APU albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal e = 30 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANT.	
2.7	ESTUCO INTERIOR 1:3 e = 2,5 CMS			M2	7,2	
ESPECIFICACION MATERIAL		UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
ARENA FINA		m3	0,03	0,5163	0,0146	410
CEMENTO ESPECIAL 25 KG		c/u	1,70	0,1115	0,1896	5.320
PÉRDIDAS		%	3,00		0,0061	172
A) TOTAL MATERIALES					0,2103	5.902
MANO DE OBRA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
MAESTRO		día	0,12	0,8613	0,1034	2.901
AYUDANTE		día	0,06	0,6294	0,0378	1.060
LEYES SOCIALES		%	31		0,0437	1.228
B) TOTAL MANO DE OBRA					0,1849	5.188
MAQUINARIA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA					0,000	0
					TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)					0,3952	11.090

Tabla 59: APU estuco interior 1:3 e = 2,5 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD		CANT.		
2.8	ESTUCO EXTERIOR 1:3 + ADITIVO IMPERMEABILIZANTE e = 2,5 CMS	M2		7,2		
ESPECIFICACION MATERIAL		UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
ARENA FINA		m3	0,03	0,5163	0,0168	471
CEMENTO ESPECIAL 25 KH		c/u	0,34	0,1115	0,0379	1.064
ADITIVO IMPERMEABILIZANTE		kg	0,14	0,0131	0,0018	51
PÉRDIDAS		%	3,00		0,0017	48
A) TOTAL MATERIALES					0,0582	1.634
MANO DE OBRA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
MAESTRO		día	0,12	0,8613	0,1034	2.901
AYUDANTE		día	0,06	0,6294	0,0378	1.060
LEYES SOCIALES		%	31		0,0437	1.228
B) TOTAL MANO DE OBRA					0,1849	5.188
MAQUINARIA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA					0,000	0
					TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)					0,2431	6.822

Tabla 60: APU estuco exterior 1:3 + aditivo impermeabilizante e = 2,5 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANT.	
2.9	CADENA DE HORMIGÓN ARMADO 0,25 x 0,35 X 3,40 M			C/U	1	
ESPECIFICACION MATERIAL		UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
FIERRO 8 MM		kg	7,88	0,0422	0,3325	9.333
FIERRO 12 MM		kg	19,45	0,0415	0,8072	22.654
MOLDAJE DE MADERA PARA PILARES		m2	2,89	0,3043	0,8794	24.681
HORMIGÓN 300 KG/CEM/M3 (H-25)		m3	0,30	3,3502	0,9967	27.972
A) TOTAL MATERIALES					3,0158	84.640
MANO DE OBRA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
B) TOTAL MANO DE OBRA					0,0000	0
MAQUINARIA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA					0,000	0
					TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)					3,0158	84.640

Tabla 61: APU cadena de hormigón armado 0,25 X 0,35 X 3,40 m.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.9.3 Presupuesto muro de albañilería de eco-ladrillos en disposición vertical

Muro construido con eco-ladrillos en disposición vertical de espesor 10 cm con mortero de pega en una relación 1:3 (A:C) reforzado con barras de acero de 10 mm de diámetro y con estuco de 2,5 cm de espesor, tanto interior como exterior. Este muro está confinado por 2 pilares de hormigón armado (H-25) de 0,15 X 27 X 2,40 m con 4 barras de acero de 12 mm de diámetro y estribos con barras de acero de 8 mm de diámetro a una distancia de 0,20 cm y una cadena de hormigón armado (H-25) 0,15 X 0,30 X 3,54 m compuesta por 4 barras de acero de 12 mm de diámetro y estribo de barras de acero de 8 mm de diámetro cada 20 cm.

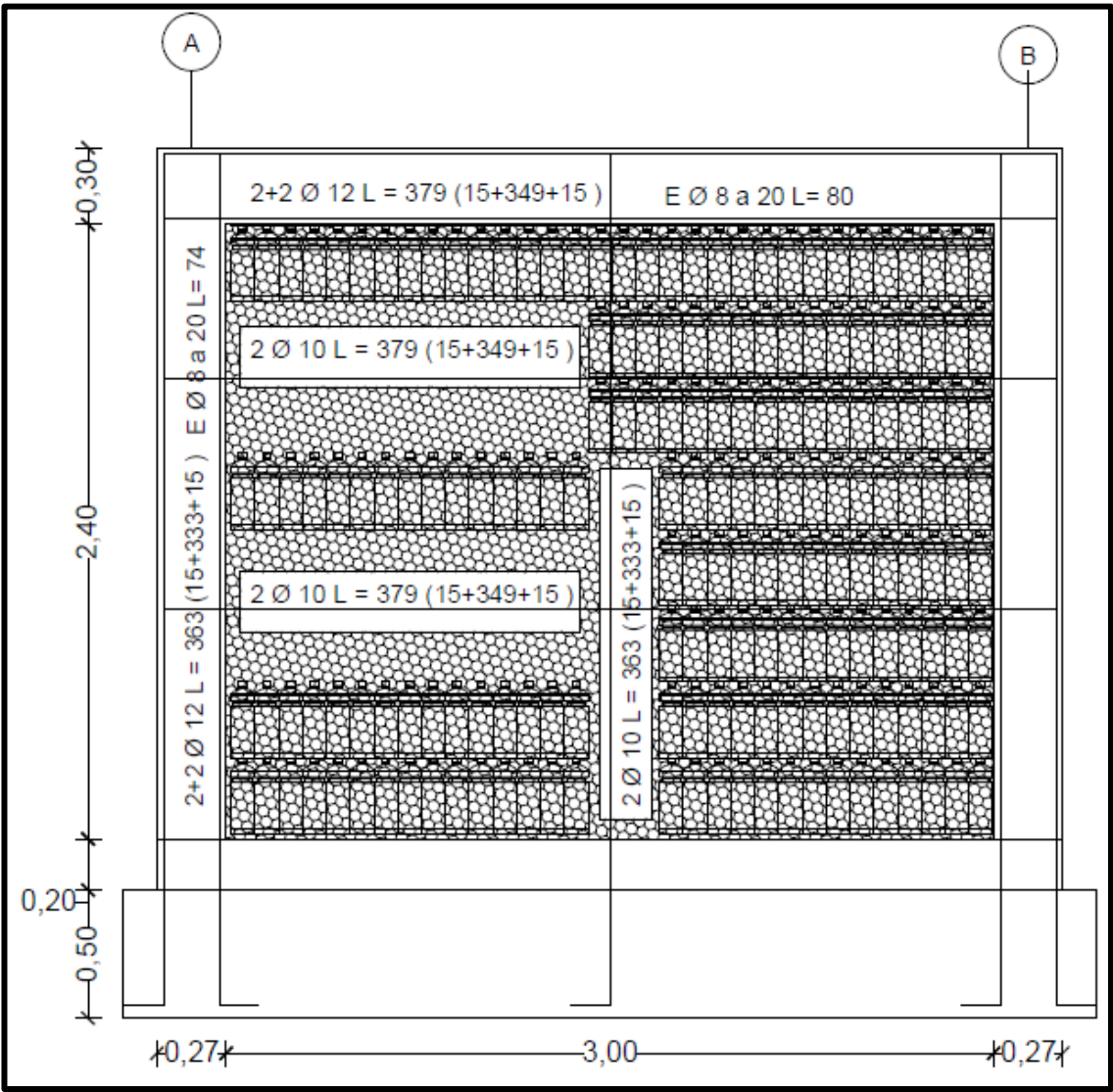


Figura 75: Muro de albañilería confinada de eco-ladrillos en disposición vertical.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A continuación, se presenta el análisis de costos para un muro de albañilería de eco-ladrillos en disposición vertical, en el cual se presupuestó lo siguiente:

- Pilares de hormigón armado de dimensiones 0,15 X 27 X 2,40 m.
- Muro de albañilería de eco-ladrillos en disposición vertical e = 10 cm y h = 2,40 m.
- Estuco exterior e = 2,5 cm.
- Estuco interior e = 2,5 cm.
- Cadena de hormigón armado de dimensiones 0,15 X 0,30 X 3,54 m.

El presupuesto se detalla en las siguientes tablas con sus respectivos análisis de precios unitarios (APU).

ITEM	DENOMINACION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL \$
II: OBRA GRUESA					
2.1	Trazado y replanteo		-	-	-
2.2	Excavaciones		-	-	-
2.3	Emplantillado		-	-	-
2.4	Fundaciones		-	-	-
2.5	Pilares de Hormigón Armado 0,15 X 0,27 X 2,40 m	c/u	2,000	42.065	84.130
2.6	Muro de Albañilería e = 10 cm Eco-ladrillos en Disposición Vertical	m2	7,200	7.272	52.356
2.7	Estuco Interior e = 2,5 cm	m2	7,200	11.090	79.849
2.8	Estuco Exterior e = 2,5 cm	m2	7,200	6.822	49.119
2.9	Cadena de Hormigón Armado 0,15 X 0,30 X 3,54 m	c/u	1,000	60.069	60.069
Subtotal Item II					325.524
Total, Costo Directo					325.524

Tabla 62: Presupuesto muro de albañilería de eco-ladrillos en disposición vertical e = 15 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.		
2.5	PILAR DE HORMIGÓN ARMADO 0,15 x 0,27 X 2,40 M	C/U	2		
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
FIERRO 8 MM	kg	5,26	0,0422	0,2220	6.230
FIERRO 12 MM	kg	12,89	0,0415	0,5349	15.013
MOLDAJE DE MADERA PARA PILARES	m2	1,37	0,3043	0,4163	11.683
HORMIGÓN 300 KG/CEM/M3 (H-25)	m3	0,10	3,3502	0,3256	9.139
A) TOTAL DE MATERIALES				1,4988	42.065
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
B) TOTAL MANO DE OBRA				0,0000	0
MAQUINARIA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA				0,0000	0
				TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)				1,4988	42.065

Tabla 63: APU pilar de hormigón armado 0,15 X 0,27 X 2,40 m.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANT.	
2.6	ALBAÑILERÍA DE ECO-LADRILLOS EN DISPOSICIÓN VERTICAL			M2	7,2	
ESPECIFICACION MATERIAL		UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
ECO-LADRILLO MEDIANO 1,5 LT		c/u	40,31	0		0
MALLA HEXAGONAL 3/4 1,50 X 50 M		c/u	0,03	1,6172	0,0534	1.498
ALAMBRE N° 18		kg	0,1146	0,0559	0,0064	180
ACERO REFUERZO 10 MM ESTRIADO A63-42H		kg	1,91	0,0180	0,0343	963
ARENA GRUESA		lt	28,47	0,0006	0,0379	1.063
CEMENTO ESPECIAL 25 KG		c/u	0,40	0,0958	0,0315	883
PÉRDIDAS		%	3,00		0,0049	138
A) TOTAL MATERIALES					0,0742	2.083
MANO DE OBRA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
MAESTRO		día	0,12	0,8613	0,1034	2.901
AYUDANTE		día	0,06	0,6294	0,0378	1.060
LEYES SOCIALES		%	31		0,0437	1.228
B) TOTAL MANO DE OBRA					0,1849	5.188
MAQUINARIA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA					0,000	0
					TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)					0,2591	7.272

Tabla 64: APU albañilería de eco-ladrillos en disposición vertical e = 10 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.		
2.7	ESTUCO INTERIOR 1:3 e = 2,5 CMS	M2	7,2		
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
ARENA FINA	m3	0,03	0,5163	0,0146	410
CEMENTO ESPECIAL 25 KG	c/u	1,70	0,1115	0,1896	5.320
PÉRDIDAS	%	3,00		0,0061	172
A) TOTAL MATERIALES				0,2103	5.902
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
MAESTRO	día	0,12	0,8613	0,1034	2.901
AYUDANTE	día	0,06	0,6294	0,0378	1.060
LEYES SOCIALES	%	31		0,0437	1.228
B) TOTAL MANO DE OBRA				0,1849	5.188
MAQUINARIA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA				0,000	0
				TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)				0,3952	11.090

Tabla 65: APU estuco interior 1:3 e = 2,5 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD		CANT.	
2.8	ESTUCO EXTERIOR 1:3 + ADITIVO IMPERMEABILIZANTE e = 2,5 CMS	M2		7,2	
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
ARENA FINA	m3	0,03	0,5163	0,0168	471
CEMENTO ESPECIAL 25 KH	c/u	0,34	0,1115	0,0379	1.064
ADITIVO IMPERMEABILIZANTE	kg	0,14	0,0131	0,0018	51
PÉRDIDAS	%	3,00		0,0017	48
A) TOTAL MATERIALES				0,0582	1.634
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
MAESTRO	día	0,12	0,8613	0,1034	2.901
AYUDANTE	día	0,06	0,6294	0,0378	1.060
LEYES SOCIALES	%	31		0,0437	1.228
B) TOTAL MANO DE OBRA				0,1849	5.188
MAQUINARIA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA				0,000	0
				TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)				0,2431	6.822

Tabla 66: APU estuco exterior 1:3 + aditivo impermeabilizante e = 2,5 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.			
2.9	CADENA DE HORMIGÓN ARMADO 0,15 x 0,30 X 3,54 M	C/U	1			
ESPECIFICACION MATERIAL		UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
FIERRO 8 MM		kg	5,69	0,0422	0,2401	6.739
FIERRO 12 MM		kg	13,46	0,0415	0,5586	15.677
MOLDAJE DE MADERA PARA PILARES		m2	2,66	0,3043	0,8079	22.674
HORMIGÓN 300 KG/CEM/M3 (H-25)		m3	0,16	3,3502	0,5337	14.978
A) TOTAL MATERIALES					2,1403	60.069
MANO DE OBRA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
B) TOTAL MANO DE OBRA					0,0000	0
MAQUINARIA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA					0,000	0
					TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)					2,1403	60.069

Tabla 67: APU cadena de hormigón armado 0,15 X 0,30 X 3,54 m.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.9.4 Presupuesto muro de albañilería de ladrillo Titán Reforzado

Muro construido con ladrillos titán reforzado con mortero de pega en una relación 1:3 (A:C), con estuco de 2,5 cm de espesor, tanto interior como exterior. Este muro está confinado por 2 pilares de hormigón armado (H-25) de 0,19 X 0,21 X 2,40 m con 4 barras de acero de 12 mm de diámetro y estribos con barras de acero de 8 mm de diámetro a una distancia de 0,20 cm y una cadena de hormigón armado (H-25) 0,19 X 0,25 X 3,42 m compuesta por 4 barras de acero de 12 mm de diámetro y estribo de barras de acero de 8 mm de diámetro cada 20 cm.

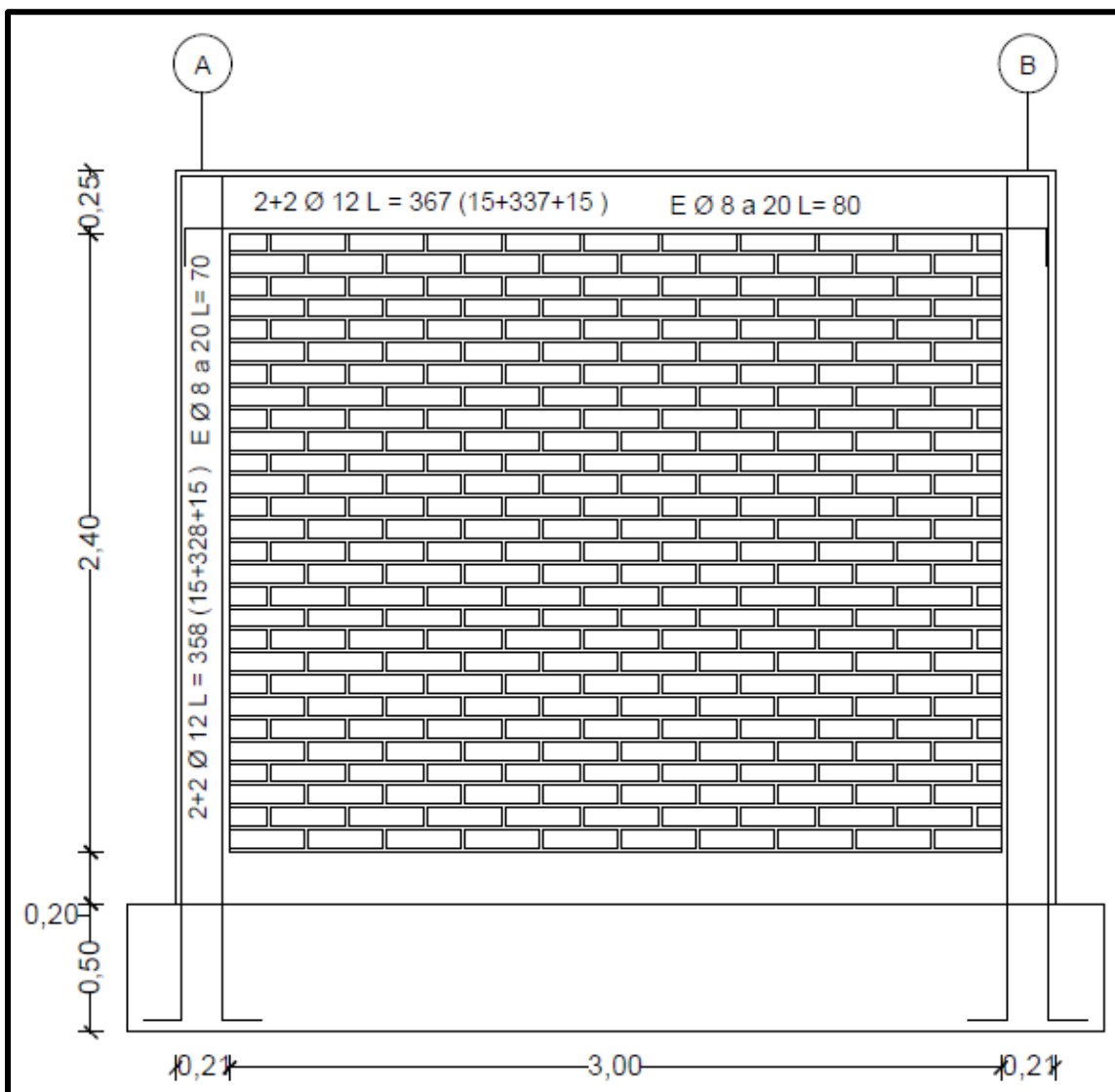


Figura 76: Muro de albañilería confinada de ladrillos titán reforzado.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A continuación, se presenta el análisis de costos para un muro de albañilería ladrillo titán reforzado, en el cual se presupuestó lo siguiente:

- Pilares de hormigón armado de dimensiones 0,19 X 0,21 X 2,40 m.
- Muro de albañilería de ladrillo Titán Reforzado e = 14 cm y h = 2,40 m.
- Estuco exterior e = 2,5 cm.
- Estuco interior e = 2,5 cm.
- Cadena de hormigón armado de dimensiones 0,19 X 0,25 X 3,42 m.

El presupuesto se detalla en las siguientes tablas con sus respectivos análisis de precios unitarios (APU).

ITEM	DENOMINACION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL \$
II: OBRA GRUESA					
2.1	Trazado y replanteo		-	-	-
2.2	Excavaciones		-	-	-
2.3	Emplantillado		-	-	-
2.4	Fundaciones		-	-	-
2.5	Pilares de Hormigón Armado 0,19 X 0,21 X 2,40 m	c/u	2,000	41.810	83.620
2.6	Muro de Albañilería e=14 cm Ladrillo Titán	m2	7,200	20.218	145.570
2.7	Estuco Interior e = 2,5 cm	m2	7,200	10.903	78.505
2.8	Estuco Exterior e = 2,5 cm	m2	7,200	6.822	49.119
2.9	Cadena de Hormigón Armado 0,19 X 25 X 3,42 m	c/u	1,000	56.833	56.833
Subtotal Item II					413.648
Total, Costo Directo					413.648

Tabla 68: Presupuesto muro de albañilería de ladrillos titán reforzado e = 19 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.		
2.5	PILAR DE HORMIGÓN ARMADO 0,19 x 21 X 2,40 M	C/U	2		
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
FIERRO 8 MM	kg	4,98	0,0422	0,2102	5.898
FIERRO 12 MM	kg	12,72	0,0415	0,5279	14.815
MOLDAJE DE MADERA PARA PILARES	m2	1,42	0,3043	0,4309	12.093
HORMIGÓN 300 KG/CEM/M3 (H-25)	m3	0,10	3,3502	0,3208	9.004
A) TOTAL DE MATERIALES				1,4897	41.810
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
B) TOTAL MANO DE OBRA				0,0000	0
MAQUINARIA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA				0,000	0
				TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)				1,4897	41.810

Tabla 69: APU pilar de hormigón armado 0,19 X 0,21 X 2,40 m.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANT.	
2.6	MURO DE ALBAÑILERÍA LADRILLO TITÁN 29x14x7,1			M2	7,2	
ESPECIFICACION MATERIAL		UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
CEMENTO ESPECIAL 25 KG		c/u	0,46	0,1115	0,0513	1.439
ARENA GRUESA		m3	0,04	0,7314	0,0315	883
LADRILLO TITAN 29x14x7,1		c/u	39,00	0,0090	0,3510	9.851
ESCALERILLAS ELECTROSOLDADA 4,2 MM		m	3,30	0,0123	0,0406	1.139
ACERO REFUERZO 12 MM ESTRIADO A44-28H		kg	3,20	0,0180	0,0576	1.616
PÉRDIDAS		%	3,00		0,0160	448
A) TOTAL MATERIALES					0,5479	15.117
MANO DE OBRA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
MAESTRO		HD	0,12	0,8613	0,1034	2.901
AYUDANTE		HD	0,06	0,6294	0,0378	1.060
LEYES SOCIALES		%	31		0,0437	1.228
B) TOTAL MANO DE OBRA					0,1849	5.188
MAQUINARIA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA					0,000	0
					TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)					0,7327	20.564

Tabla 70: APU albañilería de ladrillos titán reforzado e = 14 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.		
2.7	ESTUCO INTERIOR 1:3 e = 2,5 CMS	M2	7,2		
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
ARENA FINA	m3	0,03	0,5163	0,0146	410
CEMENTO ESPECIAL 25 KG	c/u	1,70	0,1115	0,1896	5.320
PÉRDIDAS	%	3,00		0,0061	172
A) TOTAL MATERIALES				0,2103	5.802
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
MAESTRO	día	0,12	0,8613	0,1034	2.901
AYUDANTE	día	0,06	0,6294	0,0378	1.060
LEYES SOCIALES	%	31		0,0437	1.228
B) TOTAL MANO DE OBRA				0,1849	5.188
MAQUINARIA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA				0,000	0
				TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)				0,3952	11.090

Tabla 71: APU estuco interior 1:3 e = 2,5 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD		CANT.	
2.8	ESTUCO EXTERIOR 1:3 + ADITIVO IMPERMEABILIZANTE e = 2,5 CMS	M2		7,2	
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
ARENA FINA	m3	0,03	0,5163	0,0168	471
CEMENTO ESPECIAL 25 KH	c/u	0,34	0,1115	0,0379	1.064
ADITIVO IMPERMEABILIZANTE	kg	0,14	0,0131	0,0018	51
PÉRDIDAS	%	3,00		0,0017	48
A) TOTAL MATERIALES				0,0582	1.634
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
MAESTRO	día	0,12	0,8613	0,1034	2.901
AYUDANTE	día	0,06	0,6294	0,0378	1.060
LEYES SOCIALES	%	31		0,0437	1.228
B) TOTAL MANO DE OBRA				0,1849	5.188
MAQUINARIA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA				0,000	0
				TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)				0,2431	6.822

Tabla 72: APU estuco exterior 1:3 + aditivo impermeabilizante e = 2,5 cm.
 Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.		
2.9	CADENA DE HORMIGÓN ARMADO 0,19 x 0,25 X 3,42 M	C/U	1		
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
FIERRO 8 MM	kg	5,25	0,0422	0,2216	6.218
FIERRO 12 MM	kg	13,04	0,0415	0,5412	15.188
MOLDAJE DE MADERA PARA PILARES	m2	2,36	0,3043	0,7181	20.153
HORMIGÓN 300 KG/CEM/M3 (H-25)	m3	0,16	3,3502	0,5442	15.274
A) TOTAL MATERIALES				2,0250	56.833
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
B) TOTAL MANO DE OBRA				0,0000	0
MAQUINARIA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA				0,000	0
				TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)				2,0250	56.833

Tabla 73: APU cadena de hormigón armado 0,19 X 0,25 X 3,42 m.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.9.5 Presupuesto muro de albañilería de ladrillo fiscal

Muro construido con ladrillo fiscal y mortero de pega en una relación 1:3 (A:C), con estuco de 2,5 cm de espesor, tanto interior como exterior. Este muro está confinado por 2 pilares de hormigón armado (H-25) de 0,20 X 0,20 X 2,40 m con 4 barras de acero de 12 mm de diámetro y estribos con barras de acero de 8 mm de diámetro a una distancia de 0,20 cm y una cadena de hormigón armado (H-25) 0,20 X 0,25 X 3,42 m compuesta por 4 barras de acero de 12 mm de diámetro y estribo de barras de acero de 8 mm de diámetro cada 20 cm.

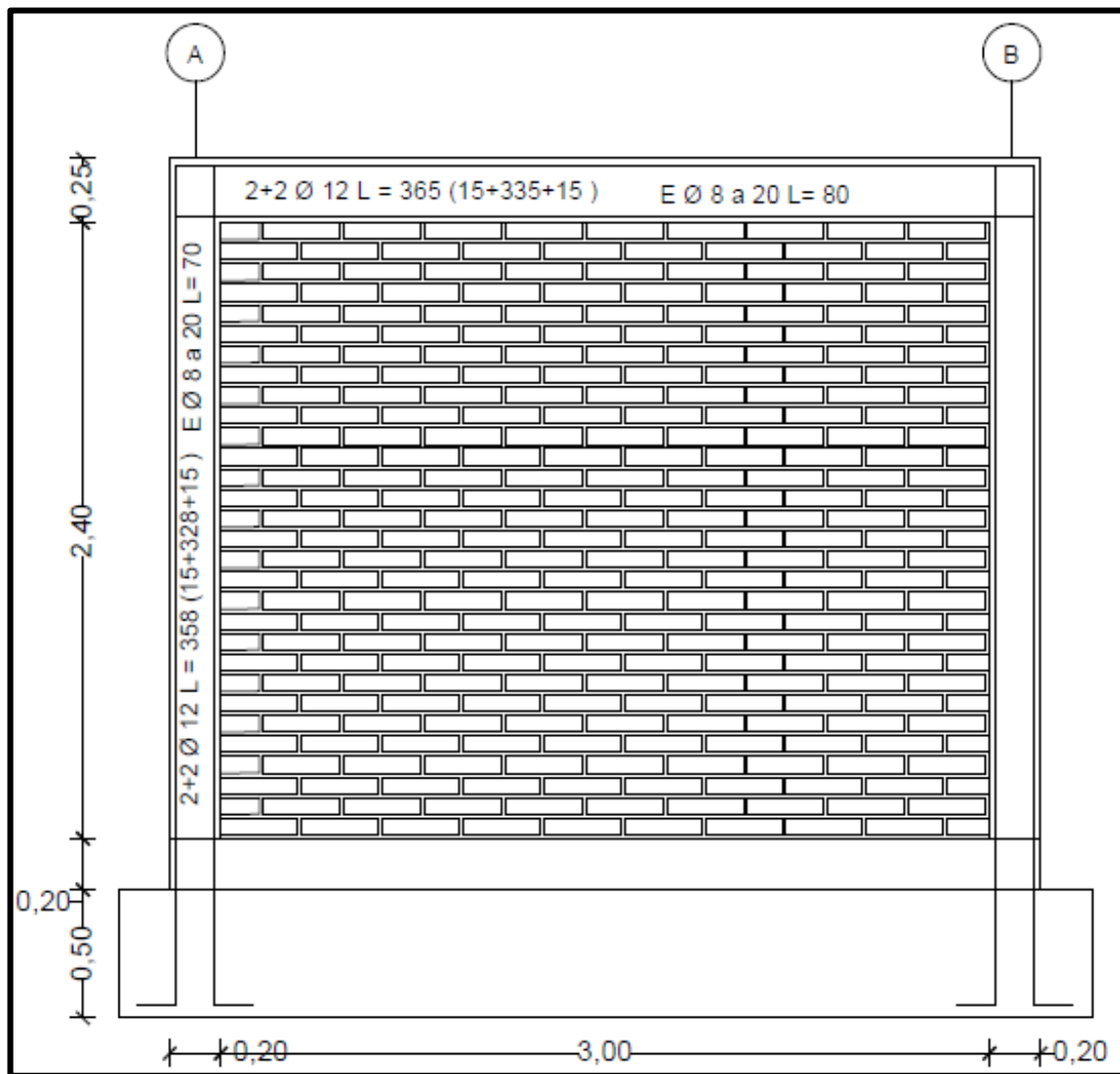


Figura 77: Muro de albañilería confinada de ladrillos fiscal $e = 20$ cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A continuación, se presenta el análisis de costos para un muro de albañilería de ladrillo fiscal, en el cual se presupuestó lo siguiente:

- Pilares de hormigón armado de dimensiones 0,20 X 0,20 X 2,40 m.
- Muro de albañilería de ladrillo fiscal e = 15 cm y h = 2,40 m.
- Estuco exterior e = 2,5 cm.
- Estuco interior e = 2,5 cm.
- Cadena de hormigón armado de dimensiones 0,20 X 0,25 X 3,40 m.

El presupuesto se detalla en las siguientes tablas con sus respectivos análisis de precios unitarios (APU).

ITEM	DENOMINACION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL \$
II: OBRA GRUESA					
2.1	Trazado y replanteo		-	-	-
2.2	Excavaciones		-	-	-
2.3	Emplantillado		-	-	-
2.4	Fundaciones		-	-	-
2.5	Pilares de Hormigón Armado 0,20 X 0,20 X 2,40 m	c/u	2,000	42.038	84.075
2.6	Muro de Albañilería e=15 cm Ladrillo Fiscal	m2	7,200	14.509	104.467
2.7	Estuco Interior e = 2,5 cm	m2	7,200	11.090	79.849
2.8	Estuco Exterior e = 2,5 cm	m2	7,200	6.822	49.119
2.9	Cadena de Hormigón Armado 0,20 X 0,20 X 2,40 m	c/u	1,000	58.144	58.144
Subtotal Item II					375.654
Total, Costo Directo					375.654

Tabla 74: Presupuesto muro de albañilería de ladrillos titán reforzado e = 19 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.		
2.5	PILAR DE HORMIGÓN ARMADO 0,19 x 21 X 2,40 M	C/U	2		
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
FIERRO 8 MM	kg	4,98	0,0422	0,2102	5.898
FIERRO 12 MM	kg	12,72	0,0415	0,5279	14.815
MOLDAJE DE MADERA PARA PILARES	m2	1,44	0,3043	0,4382	12.298
HORMIGÓN 300 KG/CEM/M3 (H-25)	m3	0,10	3,3502	0,3216	9.026
A) TOTAL DE MATERIALES				1,4978	42.038
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
B) TOTAL MANO DE OBRA				0,0000	0
MAQUINARIA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA				0,000	0
				TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)				1,4978	42.038

Tabla 75: APU pilar de hormigón armado 0,20 X 0,20 X 2,40 m.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN			UNIDAD	CANT.	
2.6	ALBAÑILERÍA DE LADRILLO FISCAL 30 x 15 x 6,5 CMS			M2	7,2	
ESPECIFICACION MATERIAL		UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
CEMENTO ESPECIAL 25 KG		c/u	0,59	0,1115	0,0658	1.846
ARENA GRUESA		m3	0,04	0,7314	0,0315	883
LADRILLO FISCAL 30 X 15 X 6,5 CMS		c/u	41,00	0,0051	0,2091	5.868
ESCALERILLAS ELECTROSOLDADAS 4,2 MM		m	2,20	0,0123	0,0271	759
PÉRDIDAS		%	3,00		0,0100	281
A) TOTAL MATERIALES					0,3434	9.638
MANO DE OBRA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
MAESTRO		HD	0,11	0,8613	0,0947	2.659
AYUDANTE		HD	0,06	0,6294	0,0378	1.060
LEYES SOCIALES		%	31		0,0411	1.153
B) TOTAL MANO DE OBRA					0,1736	4.872
MAQUINARIA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA					0,000	0
					TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)					0,5170	14.509

Tabla 76: APU albañilería de ladrillo fiscal e = 15 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.		
2.7	ESTUCO INTERIOR 1:3 e = 2,5 CMS	M2	7,2		
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
ARENA FINA	m3	0,03	0,5163	0,0146	410
CEMENTO ESPECIAL 25 KG	c/u	1,70	0,1115	0,1896	5.320
PÉRDIDAS	%	3,00		0,0061	172
A) TOTAL MATERIALES				0,2103	5.802
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
MAESTRO	día	0,12	0,8613	0,1034	2.901
AYUDANTE	día	0,06	0,6294	0,0378	1.060
LEYES SOCIALES	%	31		0,0437	1.228
B) TOTAL MANO DE OBRA				0,1849	5.188
MAQUINARIA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA				0,000	0
				TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)				0,3952	11.090

Tabla 77: APU estuco interior 1:3 e = 2,5 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD		CANT.		
2.8	ESTUCO EXTERIOR 1:3 + ADITIVO IMPERMEABILIZANTE e = 2,5 CMS	M2		7,2		
ESPECIFICACION MATERIAL		UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
ARENA FINA		m3	0,03	0,5163	0,0168	471
CEMENTO ESPECIAL 25 KH		c/u	0,34	0,1115	0,0379	1.064
ADITIVO IMPERMEABILIZANTE		kg	0,14	0,0131	0,0018	51
PÉRDIDAS		%	3,00		0,0017	48
A) TOTAL MATERIALES					0,0582	1.634
MANO DE OBRA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
MAESTRO		día	0,12	0,8613	0,1034	2.901
AYUDANTE		día	0,06	0,6294	0,0378	1.060
LEYES SOCIALES		%	31		0,0437	1.228
B) TOTAL MANO DE OBRA					0,1849	5.188
MAQUINARIA		UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA					0,000	0
					TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)					0,2431	6.822

Tabla 78: APU estuco exterior 1:3 + aditivo impermeabilizante e = 2,5 cm.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.		
2.9	CADENA DE HORMIGÓN ARMADO 0,20 x 0,25 X 3,40 M	C/U	1		
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANT.	P. U. (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
FIERRO 8 MM	kg	5,69	0,0422	0,2401	6.739
FIERRO 12 MM	kg	12,96	0,0415	0,5378	15.095
MOLDAJE DE MADERA PARA PILARES	m2	2,38	0,3043	0,7242	20.326
HORMIGÓN 300 KG/CEM/M3 (H-25)	m3	0,17	3,3502	0,5695	15.984
A) TOTAL MATERIALES				2,0717	58.144
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
B) TOTAL MANO DE OBRA				0,0000	0
MAQUINARIA	UNIDAD	RENDIM.	VALOR (UF)	TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
C) TOTAL MAQUINARIA				0,000	0
				TOTAL (UF)	TOTAL (\$)
TOTAL, COSTO (A + B + C)				2,0717	58.144

Tabla 79: APU cadena de hormigón armado 0,20 X 0,25 X 3,40 m.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.9.6 Comparación de presupuestos

Se realizó un presupuesto base con sus respectivos análisis de precios unitarios, para muros de albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal o vertical y también albañilería de ladrillo hecho a máquina y fiscal.

Del presupuesto se confeccionaron tablas para comparar el costo de las distintas partidas involucradas en la construcción de los muros.

PRESUPUESTO	PRECIO TOTAL (UF)	PRECIO TOTAL (\$)	
Muro de Albañilería de Eco-ladrillos en disposición horizontal	15,28	428.858	31,7 %
Muro de Albañilería de Eco-ladrillos en disposición vertical	11,60	325.524	- 22,0 %
Muro de Albañilería de Ladrillo Titán Reforzado	14,88	417.483	11,1 %
Muro de Albañilería de Ladrillo Fiscal	13,38	375.654	0 %

Tabla 80: Comparación de costos de construcción de las distintas soluciones de albañilería.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

PRESUPUESTO	PRECIO M2 (UF)	PRECIO M2 (\$)	
Muro de Albañilería de Eco-ladrillos en disposición horizontal	2,12	59.564	31,7 %
Muro de Albañilería de Eco-ladrillos en disposición vertical	1,61	45.212	-22,0 %
Muro de Albañilería de Ladrillo Titán Reforzado	2,07	57.984	11,1 %
Muro de Albañilería de Ladrillo Fiscal	1,86	52.174	0 %

Tabla 81: Comparación de costos de construcción por m² de las distintas soluciones de albañilería.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El costo de ejecución para el muro de albañilería de ladrillo fiscal fue de \$375.654 y el costo por metro cuadrado es de \$52.174, esta cifra se tomó como referencia para comparar los costos en las otras soluciones constructivas.

En el caso de la albañilería de eco-ladrillos en disposición horizontal, el costo fue de \$428.858 y por metro cuadrado es de \$59.564, un 31,7% más costoso que la albañilería de ladrillo fiscal y el más caro de las albañilerías presupuestadas. No así la solución de albañilería de eco-ladrillos en disposición vertical, la que tuvo un costo de \$325.524 y el costo por metro cuadrado es de \$45.212, un 22% menos costo comparado con el costo del ladrillo fiscal.

Por último, tenemos el muro de albañilería de ladrillo hecho a máquina, el ladrillo titán reforzado, en que tuvo un costo de \$417.483 y el costo por metro cuadrado es de \$57.984, un 11,1% más costoso que el ladrillo fiscal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

LOS ECO-LADRILLOS

Los eco-ladrillos sin duda son un material que ayuda en gran medida a disminuir las enormes cantidades de residuos que como sociedad se generan. Pero tiene grandes desventajas en cuanto a su fabricación, a pesar de que no tienen ningún costo monetario, el fabricar un eco-ladrillo consume mucho tiempo y esfuerzo, no siendo factible en caso de querer impulsar el uso de este material en la industria de la construcción. Por lo general, las construcciones de eco-ladrillos existentes se logran gracias a las donaciones que generan las distintas comunidades preocupadas por el medio ambiente. Pero aun así la construcción de eco-ladrillos no ha sido industrializada debido a que no existen métodos para fabricar eco-ladrillos de manera rápida y factible.

CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS DE MORTERO

Con respecto a los ensayos de mortero utilizados en la fabricación de muretes y prismas de eco-ladrillos en disposición vertical y horizontal, se puede concluir lo siguiente:

El mortero de pega de la marca Topex arrojó una excelente resistencia a la compresión, la que promedió en total $191,52 \text{ kg/cm}^2$ duplicando casi la resistencia especificada por el fabricante. Con estos resultados, se puede decir que este mortero predosificados entregó buenas propiedades a las muestras fabricadas con eco-ladrillos.

Por el contrario, los morteros de estuco interior y exterior de la marca Topex arrojaron una resistencia a la compresión promedió de $25,12 \text{ kg/cm}^2$ y $51,57 \text{ kg/cm}^2$, esta baja resistencia puede tener dos causales, un error al preparar las muestras o netamente la dosis de agua no es la correspondiente. Cabe destacar que estas muestras se tuvieron que fabricar nuevamente debido a que se desmoldaron antes de tiempo, destruyéndose al instante, y para fabricarlas se pesó una cierta cantidad de mortero predosificado y se agregó el agua según la proporción. Probablemente al calcular la cantidad de agua se cometió el error.

Por lo anterior se puede concluir que las muestras recibieron en su totalidad la resistencia por el mortero de pega, ya que los morteros de estuco entregaron una resistencia casi despreciable.

ALBAÑILERÍA DE ECO-LADRILLOS EN DISPOSICIÓN HORIZONTAL

De los ensayos realizados a este tipo de albañilería se concluye que no es un material factible para la construcción de viviendas, debido a que la construcción con eco-ladrillos con esta técnica es muy costosa en comparación con otras soluciones existentes, sin contar que el ancho de un muro con eco-ladrillos en esta disposición mínimo medirá 30 cm, disminuyendo enormemente los espacios dentro de una vivienda, además en los ensayos de resistencia ante cargas presentó resistencia más bajas en comparación con otras albañilerías, siendo un material ineficiente ante la acción de las cargas a las que está sometida una viviendas, además no se recomienda construir más de dos hiladas por día, ya que los eco-ladrillos se asientan por el peso del mortero, perdiendo la forma del muro. Con respecto a su resistencia al fuego, según las experiencias realizadas en la Universidad de Valparaíso se le declaro como un material con buena resistencia, clasificándolo como un elemento soportante vertical F-90 por no presentar anomalías al momento de ensayar, pero para estar más seguros de su comportamiento es preferible realizar el ensayo de resistencia al fuego dentro de un horno como lo especifica la norma.

A pesar de que los eco-ladrillos en esta disposición poseen buenas propiedades térmicas, acústicas se recomienda usar esta técnica en la construcción de bancas, jardineras o elementos que no estén sometidos a carga.

ALBAÑILERÍA DE ECO-LADRILLOS EN DISPOSICIÓN VERTICAL

De los ensayos realizados a este tipo de albañilería se concluye que es un material factible para la construcción de viviendas, debido a que la construcción con eco-ladrillos con esta técnica es de bajo costo en comparación con otras soluciones existentes, sin contar que el ancho de un muro con eco-ladrillos en esta disposición puede medir como máximo 15 cm, aprovechando de mejor manera los espacios dentro de una vivienda, además en los ensayos de resistencia ante cargas presentó mayor resistencia en comparación con albañilerías de ladrillo fiscal y chonchón, siendo un material eficiente ante la acción de las cargas a las que está sometida una viviendas. Además, posee buenas propiedades térmicas, acústicas y el tiempo de construcción con este tipo de muro puede llegar a ser más rápido que una albañilería tradicional. Con respecto a su resistencia al fuego, según las experiencias realizadas en la Universidad de Valparaíso se le declaro como un material con no soportantes, realizando el ensayo sin el criterio de soporte de cargas, siendo que es un elemento con buena resistencia a la compresión, para estar más seguros de su comportamiento es preferible realizar el ensayo de resistencia al fuego nuevamente y al igual que en la técnica de eco-ladrillos en disposición horizontal, se debe realizar dentro de un horno como lo especifica la norma.

Se recomienda usar esta técnica en la construcción de muros de albañilería confinada.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

BRUNTLAND. (1987). Nuestro futuro común, preparado por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo, NN.UU. Estocolmo. 1987

FRIEDMANN. 1997. Minimización de Residuos p. 276. En: Políticas para la Gestión Ambientalmente adecuada a los residuos sólidos. Cap VI. Proyecto CEPAL/GTZ III Etapa.

GALLARDO G. (2014) Evaluación Técnico-Económica y Resistencia al Fuego de Paneles Fabricados con Ladrillos Ecológicos. Tesis para optar al Grafo de Licenciado en ciencias de la construcción y al Título de Ingeniero Constructor. Valparaíso. Universidad de Valparaíso. Chile.

GAVILÁN J. (2014). Evaluación Térmica y Acústica de Paneles Fabricados con Ladrillos Ecológicos. Tesis para optar al Grado de Licenciado en ciencias de la construcción y al Título de Ingeniero Constructor. Valparaíso. Universidad de Valparaíso. Chile.

GREENPEACE. 2019. Los mares se están ahogando en plástico [En línea] <<http://www.greenpeace.org/chile/issues/oceanos/1503/los-mares-se-estan-ahogando-en-plastico/>>

INDIS/ URL y CII/USAC. (2011). Albergue progresivo unifamiliar. Etapa ensayos para la aprobación del sistema constructivo de paneles Prefabricados de Eco-ladrillos con estructura de madera. Guatemala.

Instituto Nacional de normalización (Chile). Albañilería armada – Requisitos para el diseño y cálculo. NCh 1928 Of 1993 Modificada en 2003. Santiago, Chile: 1993.

Instituto Nacional de normalización (Chile). Albañilería confinada – Requisitos de diseño y cálculo. NCh 2123 Of 1997 Modificada en 2003. Santiago, Chile: 1997.

Instituto Nacional de normalización (Chile). Cementos – Ensayos de flexión y compresión de morteros de cemento. NCh 158 Of 67. Santiago, Chile: 1967.

Instituto Nacional de normalización (Chile). Construcción – Ladrillos cerámicos – Clasificación y requisitos. NCh 169 Of 2001. Santiago, Chile: 2001.

Instituto Nacional de normalización (Chile). Construcción – Ladrillos cerámicos – Ensayos. NCh 167 Of 2001. Santiago, Chile: 2001.

Instituto Nacional de normalización (Chile). Morteros – Parte 1: Requisitos generales. NCh 2256/1 Of 2001. Santiago, Chile: 2001.

JQ INDUSTRIA. 2012. Ficha Técnica PET ASTM C-177. Productos PTFE. Buenos Aires. Argentina.

ORCCOSUPA J. (2002). Relación entre la producción Per Cápita de Residuos Sólidos Domésticos y Factores Socioeconómicos. Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Santiago, Universidad de Chile.

PURA VIDA ATITLÁN. 2011. 3º Edición. Manual Sistema Constructivo Pura Vida. Guatemala

PURA VIDA ATITLÁN. (2013). Manuales Virtuales. [En línea]
<<http://www.piravidaatitlan.org/>>

SEPÚLVEDA L. (2016). Estudio experimental de soluciones de reparación y refuerzo para muros de albañilería de ladrillos confinada. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Santiago. Universidad de Chile. Chile.

SINIA. (2018). Cuarto Reporte del Estado del Medio Ambiente. [En línea]
<<http://www.sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/>> P. 67