Facultad de Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

Estudio físico-mecánico de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET

Por

Zurama Danai Jara Tapia

Tesis para optar al Título de Ingeniero Constructor

Prof. guía: Christian Rasmussen Duarte

Prof. correferente: Marco Montero Lara

Junio, 2023

Agradecimientos y dedicatorias

Agradecimientos:

"*Primero que todo quiero agradecer a mi familia, por estar en todo momento ofreciendo su apoyo y brindándome buenos momentos cuando sentía que las cosas podrían salir mal en el proceso de Trabajo de título. A mis padres, Silvana Tapia y Ricardo Jara por recibirme con una sonrisa cada fin de semana al volver a mi ciudad, cuidarme y darme su amor incondicional, los amo mucho, gracias, por tanto. A mis hermanas, Irella Jara y Haily Jara, quienes hacían mis fines de semana alegres cuando me estresaba por la tesis, son la mejor compañía que el universo me pudo haber dado, no saben cuánto las amo a ambas. Y por supuesto, a mi gatita Luna de Plutón, que cuidó de mis sueños constantemente, y cada maullido tuyo me tranquiliza, eres la mejor hija gatuna.*

En segundo lugar, agradezco a mis profesores, Christian Rasmussen quien amablemente aceptó ser mi profesor guía y a Marco Montero, mi profesor correferente, siempre estuvieron dispuestos a entregarme parte de su conocimiento, gracias por hacerme saber mis errores y reconocer cuando estaba haciendo las cosas bien, sin duda eran los indicados para apoyarme en este proceso, gracias por darme de su tiempo y ayudarme en todo.

En tercer lugar, quiero agradecer a mis amigos de universidad, Paula Cisternas, Andrés Daines, Brenda Lira, Vanessa Malleo y Elizabeth Rivero, que conforman nuestro grupo Triple P, sin ustedes no hubiese tenido ratos de distracción, gracias por siempre escucharme, apoyarme y salir a caminar o incluso solo conversar entre nosotros, espero nuestra amistad perdure por muchos años más, porque los quiero muchísimo y son todos personas maravillosas con las cuales siempre querré tener contacto.

En cuarto lugar, agradecer también, a mi pareja, José Morel, quién siempre ha sabido como sacarme una sonrisa y hacer mi semana más a menos, no sabes lo agradecida que estoy de tenerte y de habernos conocido en esta universidad, sin duda eres de lo mejor que me ha pasado en estos años.

También quisiera agradecer a mis amigos de otras ciudades, con los cual jugamos online, Claudio Durán, Rodolfo Rojas y Nicolás Jara, gracias por entregar su tiempo para divertirnos en unas partidas de valo o de lolcito, los quiero mucho, eran mis recreos en momentos de estrés".

Dedicatoria:

“Finalmente, quisiera dedicar la presente tesis, a mi familia, nombrados anteriormente, ya que acá están reflejado muchos años de esfuerzo que sin ustedes jamás habría podido lograrlo, gracias por entregarme tanto cariño y apoyarme en todo lo que quiero hacer, son la mejor familia que el universo pudo haber elegido para mí, sé que puedo contar con ustedes en todo, son muy compresivos y atentos, no seremos la familia perfecta, pero son perfectos a mis ojos y no cambiaría nada, los amo y gracias”.

Índice

Lista de figuras 8
Lista de tablas 12
Resumen 14
1.- ANTECEDENTES GENERALES 16
1.1 Planteamiento del problema 16
1.2 Pregunta de investigación 19
1.3 Objetivos 19
1.3.1 Objetivo general 19
1.3.2 Objetivos específicos: 19
1.4 Hipótesis 19
1.5 Alcances 20
2. MARCO TEÓRICO 21
2.1 Antecedentes 21
2.1.1 Antecedentes internacionales 21
2.1.2 Antecedentes nacionales 22
2.2.- Albañilería 23
2.2.1 Tipos de albañilería 24
2.2.2 Unidad de albañilería 26
2.2.3 Ladrillo artesanal 27
2.2.4 Bloque de hormigón 27
2.3. Mortero 28
2.3.1 Mortero de junta 28
2.4 Plástico 29
2.4.1 Características de los plásticos 29
2.4.2 Técnicas de moldeo del plástico 29
2.4.3 Tipos de plásticos 30
2.5 Tereftalato de polietileno (PET) 31
2.5.1 Historia del PET 32
2.5.2 Tipos de PET 32
2.5.3 Identificación del PET 32
2.5.4 Propiedades del PET 33
2.5.5 Procesos de producción del PET 34

2.5.6 Aplicaciones del PET 35
2.5.7 Degradación del PET 36
2.6 Residuos solidos 36
2.6.1 Proceso para el aprovechamiento de los residuos 36
2.7 Reciclaje 37
2.7.1 Reciclaje del plástico 37
2.7.2 Tipos de reciclaje para el PET 39
2.8 Materiales que conforman el Ladrillo artesanal con plástico reciclado PET 40
2.8.1 Cemento 40
2.8.2 Arena 42
2.8.3 Tereftalato de polietileno (PET) triturado 43
2.8.4 Agua potable 46
2.9 Requisitos de calidad de los materiales 47
2.9.1 Clasificación y requisitos del ladrillo artesanal. 47
2.10 Propiedades físicas 47
2.10.1 Resistencia térmica (R) 48
2.10.2 Aislamiento acústico 49
2.11 Propiedades mecánicas 50
2.11.1 Resistencia a compresión 50
2.11.2 Resistencia a flexión (flexotracción) 51
2.12 Ensayos 52
2.12.1 Murete de ensayo 52
2.12.2 Prensa de compresión 53
2.12.3 Cámara térmica 54
2.12.4 Máquina trituradora de plástico 54
2.12.5 Tamiz 55
3. METODOLOGÍA 57
3.1 Plan metodológico 57
3.2 Tipo y diseño de investigación 58
3.3 Variables 58
3.3.1 Variable independiente 58
3.3.2 Variables dependientes 58
3.4 Población y muestra 59

3.4.1 Población 59
3.4.2 Muestra 59
3.5 Materiales 60
3.5.1 Recolección de tereftalato de polietileno: 62
3.6 Confección del molde 63
3.7 Procedimiento de la confección del ladrillo artesanal con plástico reciclado PET 64
3.8 Dimensiones de ladrillos 66
3.9 Método y análisis de datos para ladrillos unitarios: 66
3.9.1 Procedimiento ensayo a compresión: 67
3.9.2 Procedimiento de ensayo a flexión: 69
3.10 Métodos y análisis de datos para muretes de ensayo: 72
3.10.1 Procedimiento de ensayo de resistencia térmica 72
3.10.2 Ensayo de aislación acústica 73
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS 75
4.1 Resultados de granulometría y curva granulométrica 75
4.1.1 Proceso de transformación del PET como residuo a materia prima 75
4.1.2 Resultados de granulometría y curva granulométrica de la arena en un 100% 78
4.1.3 Resultados de granulometría y curva granulométrica del PET triturado en un 100% 81
4.1.4 Resultados de granulometría y curva granulométrica de mezcla de 78% arena gruesa del río Maipo y 22% de PET triturado 84
4.1.5 Resultados de granulometría y curva granulométrica de mezcla de 68% arena gruesa del río Maipo y 32% de PET triturado 85
4.1.6 Resultados de granulometría y curva granulométrica de mezcla de 58% arena gruesa del río Maipo y 42% de PET triturado 87
4.2 Resultados de densidades de materiales granulares 90
4.2.1 Resultado de densidad aparente suelta de la arena gruesa del río Maipo 90
4.2.2 Resultado de densidad aparente apisonada de la arena gruesa del río Maipo 92
4.2.3 Resultado de densidad aparente suelta del PET triturado 93
4.2.4 Resultado de densidad aparente apisonada del PET triturado 94
4.3 Dosificaciones para la mezcla de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET 96
4.4 Desarrollo de la experiencia 103
4.5 Resultados de densidades de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET 110
4.6 Resultados de resistencia a compresión a los 7 días de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET de manera unitaria 113

4.7 Resultados de resistencia a flexo tracción a los 7 días de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET de manera unitaria 117

4.8 Resultados de resistencia a compresión a los 28 días de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET de manera unitaria 120

4.9 Resultados de resistencia a flexo tracción a los 28 días de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET de manera unitaria 126

4.10 Resultados de resistencia térmica a los 28 días de muretes de ensayo confeccionados con ladrillos artesanales con plástico reciclado PET 132

4.11 Resultados de aislación acústica a los 28 días de muretes de ensayo confeccionados con ladrillos artesanales con plástico reciclado PET 140

5. CONCLUSIONES 147

6. INVESTIGACIONES FUTURAS 149

7. BIBLIOGRAFÍA 150

Lista de figuras

Figura 2.1 – Albañilería simple 24
Figura 2.2 – Albañilería armada 25
Figura 2.3 – Albañilería reforzada 26
Figura 2.4 – Ladrillo artesanal 27
Figura 2.5 – Bloques de hormigón 28
Figura 2.6 – Símbolo del tereftalato de polietileno 33
Figura 2.7 – Diagrama de producción del tereftalato de polietileno. 35
Figura 2.8 – Algunos envases de PET. 35
Figura 2.9 – PET triturado. 43
Figura 2.10 – Gráfico del estudio de la Universidad Católica de Chile de la resistencia del ladrillo con plástico reciclado PET versus el porcentaje de PET agregado a la mezcla. 44
Figura 2.11 - Gráfico del estudio de la Universidad Nacional de Cajamarca de Perú de la resistencia del ladrillo con plástico reciclado PET versus el porcentaje de PET agregado a la mezcla. 45
Figura 2.12 - Gráfico del estudio de la Universidad Cesar Vallejo de Perú de la resistencia del ladrillo con plástico reciclado PET versus el porcentaje de PET agregado a la mezcla. 45
Figura 2.13 - Incidencia de una onda acústica sobre un cuerpo de elevada densidad. 50
Figura 2.14 – Murete de ensayo de albañilería 52
Figura 2.15 – Prensa de compresión 54
Figura 2.16 – Máquina trituradora de plástico 55
Figura 2.17 – Tamices de laboratorio 56
Figura 3.1 – Flujograma del plan de trabajo 57
Figura 3.2 – Cemento especial Melón 60
Figura 3.3 – Arena gruesa de 5 mm RIO MAIPO 60
Figura 3.4 – Botella de agua mineral vital hecha PET 61
Figura 3.5 – PET triturado. 61
Figura 3.6 – Agua potable 62
Figura 3.7- Molde de acero para la confección de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET. 64
Figura 3.8 – Dibujo del ladrillo artesanal con plástico reciclado PET dimensionado. 66
Figura 3.9 – Ensayo a compresión 68
Figura 3.10 – Dibujo de la aplicación de fuerzas a compresión 68
Figura 3.11 – Ensayo a compresión por norma 69

Figura 3.12 – Medición en la sección de rotura de las probetas 70
Figura 3.13 – Ensayo de flexión..... 71
Figura 3.14 – Dibujo de la fuerza a flexión aplicada a un material 71
Figura 3.15 – Simulación de cómo funciona la cámara térmica 72
Figura 3.16 – Ensayo de resistencia térmica 73
Figura 3.17 – Dibujo de ensayo de aislación acústica 74
Figura 4.1 – Formato en que debe estar la botella de tereftalato de polietileno para introducirla a la máquina trituradora. 76
Figura 4.2 – Proceso de trituración de botellas plásticas..... 77
Figura 4.3 – Tamices que se utilizaron para estudio granulométrico de arena gruesa del río Maipo y PET triturado. 78
Figura 4.4 – Arena gruesa del río Maipo separada por sus diámetros de partículas..... 79
Figura 4.5 – Curva granulométrica de arena gruesa del río Maipo..... 80
Figura 4.6 – Banda granulométrica de arena gruesa del río Maipo..... 81
Figura 4.7 – Muestra de PET triturado que es sometido al ensayo granulométrico. 81
Figura 4.8 – Curva granulométrica del PET triturado. 82
Figura 4.9 – Banda granulométrica de Tereftalato de polietileno triturado. 83
Figura 4.10 – Curva granulométrica del material granular compuesto por 78% arena gruesa del río Maipo y 22% PET triturado. 85
Figura 4.11 – Curva granulométrica del material granular compuesto por 68% arena gruesa del río Maipo y 32% PET triturado. 87
Figura 4.12 - Curva granulométrica del material granular compuesto por 58% arena gruesa del río Maipo y 42% PET triturado. 88
Figura 4.13 – Banda granulométrica de mezcla de 58% arena y 42% de PET..... 89
Figura 4.14 – Recipiente para obtener densidades..... 91
Figura 4.15 – Mezcla fresca de mortero con PET triturado 103
Figura 4.16 – Desmoldante para enconfrados de metal, marca Topex 104
Figura 4.17 – Compactación de un ladrillo artesanal con plástico reciclado PET 104
Figura 4.18 – Confección de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET 105
Figura 4.19 – Ladrillos artesanales con plástico reciclado PET regados..... 106
Figura 4.20 – Ladrillos artesanales con plástico reciclado PET ordenados 106
Figura 4.21 – Ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET a la mitad para la confección de muretes de ensayo. 107
Figura 4.22 – Ficha técnica de mortero de pega marca Topex 108
Figura 4.23 – Mortero de pega marca Topex..... 108

Figura 4.24 – Mortero de pega marca Topex en estado húmedo 109

Figura 4.25 – Muretes de ensayo de 60x60 cm confeccionado con ladrillos artesanales con plástico reciclado PET 109

Figura 4.26 – Ladrillo artesanal con plástico reciclado PET midiéndose en una balanza. 111

Figura 4.27 – Identificación de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET..... 113

Figura 4.28 – Ladrillo artesanal con plástico reciclado PET posicionado para un ensayo de compresión..... 114

Figura 4.29 – Pantalla de la presa de compresión durante un ensayo. 115

Figura 4.30 – Comprobante de ensayo de flexo tracción del ladrillo artesanal con plástico reciclado PET n° 5.22%..... 118

Figura 4.31 – Comprobante impreso entregado por el equipo en el ensayo de compresión para el ladrillo identificado como 2.32% luego de 28 días 121

Figura 4.32 – Gráfico impreso entregado por el equipo en el ensayo de compresión para el ladrillo identificado como 2.32% luego de 28 días 121

Figura 4.33 – Gráfico entregado por el equipo en el ensayo de compresión para el ladrillo identificado como 2.32% luego de 28 días hecho en Excel..... 122

Figura 4.34 – Interior de un ladrillo artesanal con plástico reciclado PET 124

Figura 4.35 – Comparación de resultados de ensayos de compresión a los 28 días entre los ladrillos con diferentes porcentajes de PET..... 125

Figura 4.36 – Ensayo de flexo tracción de ladrillo artesanal con plástico reciclado PET 127

Figura 4.37 – Ladrillo artesanal con plástico reciclado PET luego de la ruptura por la carga aplicada en el ensayo de flexo tracción..... 128

Figura 4.38 – Comprobante de ensayo a flexo tracción de ladrillo unitario con 42% de PET a los 28 días desde su confección..... 128

Figura 4.39 – Gráfico de resistencia que entrega el equipo en ensayo de flexo tracción para ladrillo unitario con 42% PET a los 28 días desde su confección. 129

Figura 4.40 – Comparación de resultados de ensayos de flexo tracción a los 28 días entre los ladrillos con diferentes porcentajes de PET. 131

Figura 4.41 – Murete de ensayo confeccionado con ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET. 132

Figura 4.42 – Cámara térmica abierta. 136

Figura 4.43 – Cámara térmica cerrada. 136

Figura 4.44 - Exterch Mini Thermo-Anemometer, instrumento que permite medir la temperatura del ambiente. 137

Figura 4.45 – Murete de ensayo confeccionado con ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET 140

Figura 4.46 – Aplicación móvil “Decibel Meter”, permite medir los decibeles que se están transmitiendo en el ambiente..... 141

Figura 4.47 – Resultado de decibeles transmitidos por un lado de un murete de ensayo de ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET cuando se emiten 80 decibles por el otro lado. ... 142

Figura 4.48 – Comparación de resultados de ensayos acústicos entre los muretes confeccionados con ladrillos con diferentes porcentajes de PET. 146

Lista de tablas

Tabla 2.1 – Tipos de plásticos termoplásticos 31

Tabla 2.2 Propiedades del PET virgen 34

Tabla 2.3 – Tiempo de fraguado del cemento y las resistencias mínimas a compresión y flexión... 42

Tabla 2.4 – Tabla comparativa entre estudios de universidades sobre la resistencia a compresión en ladrillos artesanales con diferentes porcentajes de PET agregados en la mezcla. 44

Tabla 3.1 – Factorial de ensayo 59

Tabla 3.2 – Tolerancia en las dimensiones y en la forma de las unidades de ladrillos cerámicos artesanales. 63

Tabla 4.1 – Resultados del ensayo granulométrico de arena gruesa del río Maipo. 79

Tabla 4.2 – Datos de curva granulométrica de Arena gruesa del río Maipo..... 80

Tabla 4.3 – Resultados de ensayo granulométrico de PET triturado. 82

Tabla 4.4 - Datos de curva granulométrica de Tereftalato de polietileno triturado..... 83

Tabla 4.5 – Resultado de ensayo granulométrico de mezcla entre 78% arena gruesa del río Maipo y 22% de PET triturado..... 84

Tabla 4.6 - Resultado de ensayo granulométrico de mezcla entre 68% arena gruesa del río Maipo y 32% de PET triturado..... 86

Tabla 4.7 - Resultado de ensayo granulométrico de mezcla entre 58% arena gruesa del río Maipo y 42% de PET triturado..... 88

Tabla 4.8 - Datos de curva granulométrica de mezcla de 58% de arena y 42% de PET. 89

Tabla 4.9 – Resistencia especificada, fc, para dosificaciones..... 96

Tabla 4.10 – Nivel de confianza, t para dosificaciones..... 97

Tabla 4.11 – Razón Agua/Cemento para dosificación..... 98

Tabla 4.12 – Materiales totales para la confección de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET..... 102

Tabla 4.13 – Densidades de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET 111

Tabla 4.14 - Resultados de ensayo de compresión a ladrillos artesanales con 22% de plástico 116

Tabla 4.15 - Resultados de ensayo de compresión a ladrillos artesanales con 32% de plástico 116

Tabla 4.16 - Resultados de ensayo de compresión a ladrillos artesanales con 42% de plástico 116

Tabla 4.17 – Resultados de ensayo de flexo tracción a ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET después de 7 días desde su confección. 118

Tabla 4.18 - Resultados de ensayo de flexo tracción a ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET después de 7 días desde su confección. 119

Tabla 4.19 - Resultados de ensayo de flexo tracción a ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET después de 7 días desde su confección. 119

Tabla 4.20 - Resultados de ensayo de compresión de ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET después de 7 días desde su confección. 123

Tabla 4.21 - Resultados de ensayo de compresión de ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET después de 28 días desde su confección. 123

Tabla 4.22 - Resultados de ensayo de compresión de ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET después de 28 días desde su confección. 123

Tabla 4.23 – Razón peso/resistencia de cada ladrillo artesanal ensayado y el que establece la norma chilena NCh 2123. 126

Tabla 4.24 – Resultados de flexo tracción de ladrillos unitarios con 22% PET a los 28 días desde su confección. 129

Tabla 4.25 – Resultados de flexo tracción de ladrillos unitarios con 32% PET a los 28 días desde su confección. 130

Tabla 4.26 – Resultados de flexo tracción de ladrillos unitarios con 42% PET a los 28 días desde su confección. 130

Tabla 4.27 – Resumen ensayo de calor específico de muretes que contienen 22% PET en la mezcla. 134

Tabla 4.28 – Resumen ensayo de calor específico de muretes que contienen 32% PET en la mezcla. 134

Tabla 4.29 – Resumen ensayo de calor específico de muretes que contienen 42% PET en la mezcla. 134

Tabla 4.30 – Resultados de temperaturas de murete de ensayo con 22% PET en cámara térmica. 138

Tabla 4.31 – Resultados de temperaturas de murete de ensayo con 32% PET en cámara térmica. 138

Tabla 4.32 – Resultados de temperaturas de murete de ensayo con 42% PET en cámara térmica. 138

Tabla 4.33 – Conductividad térmica de los muretes de ensayo. 139

Tabla 4.34 – Resistencia térmica de muretes de ensayos. 139

Tabla 4.35 – Resultados de los ensayos acústicos en muretes de ensayos confeccionados con ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET. 143

Tabla 4.36 - Resultados de los ensayos acústicos en muretes de ensayos confeccionados con ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET. 144

Tabla 4.37 - Resultados de los ensayos acústicos en muretes de ensayos confeccionados con ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET. 145

Resumen

Chile, al igual que todo el mundo sufre de una contaminación que está perjudicando el planeta, donde el elemento que mayor abunda en forma de residuo es el plástico en diferentes formatos. La mayor contaminación de plástico es del tereftalato de polietileno en forma de botellas, por este motivo, el presente informe busca entregar una posible solución a este problema y en al área de la construcción, proponiendo así, un nuevo elemento de construcción llamado “Ladrillo artesanal con plástico reciclado PET”.

En el estudio se confeccionaron 3 tipos de ladrillos, los cuales contienen cemento especial Melón, arena gruesa del Río Maipo, tereftalato de polietileno triturado en partículas igual o menor 5 mm y agua. Solo, que cada ladrillo tiene una dosificación diferente en cuanto al arena y PET, la arena se reemplaza por tereftalato de polietileno en porcentajes diferentes que son 22%, 32% y 42%.

El objetivo principal de este trabajo es poder estudiar el comportamiento físico-mecánico de cada uno de estos ladrillos, por este motivo se someten a diferentes ensayos, compresión, flexo tracción, resistencia térmica y aislación acústica. Donde en el caso de los ensayos mecánicos se realizaron a los ladrillos unitariamente a los 7 y 28 días desde la confección. Y para los ensayos físicos se tuvo que ensayar a un murete de 60x60 cm compuesto por ladrillos artesanales con plástico reciclado PET y se ensaya luego de 28 días desde la confección.

Una vez ensayados cada uno de los elementos se obtuvieron los siguientes resultados:

Para el ensayo de compresión a 7 días desde la confección se obtuvo en promedio una resistencia de 10,68 MPa para ladrillos artesanales con 22% de PET incorporado a la mezcla, 9,92 Mpa en los que contienen 32% de PET en la mezcla y 7,932 MPa en los que contienen un 42% de PET en su composición.

Para el ensayo de compresión a 28 días desde la confección se obtuvo en promedio una resistencia de 32,696 MPa para ladrillos artesanales con 22% de PET incorporado a la mezcla, 27,995 Mpa en los que contienen 32% de PET en la mezcla y 23,597 MPa en los que contienen un 42% de PET en su composición.

Para el ensayo de flexo tracción a 7 días desde la confección se obtuvo en promedio una resistencia de 1,728 MPa para ladrillos artesanales con 22% de PET incorporado a la mezcla, 1,743 Mpa en los que contienen 32% de PET en la mezcla y 2,134 MPa en los que contienen un 42% de PET en su composición.

Para el ensayo de flexo tracción a 28 días desde la confección se obtuvo en promedio una resistencia de 3,569 MPa para ladrillos artesanales con 22% de PET incorporado a la mezcla, 4,427

Mpa en los que contienen 32% de PET en la mezcla y 5,323 MPa en los que contienen un 42% de PET en su composición.

Para el ensayo de resistencia térmica se obtuvo en promedio una resistencia de 0,25 W/m2K para murete compuesto por ladrillos artesanales con 22% de PET incorporado a la mezcla, 0,29 W/m2K en los que contienen 32% de PET en la mezcla y 0,35 W/m2K en los que contienen un 42% de PET en su composición.

Para el ensayo de aislación acústica se obtuvo en promedio una aislación de 21 dB para muretes compuestos por ladrillos artesanales con 22% de PET incorporado a la mezcla, 24 dB en los que contienen 32% de PET en la mezcla y 26 dB en los que contienen un 42% de PET en su composición.

Los resultados obtenidos, se compararon directamente con las normas chilenas NCh 2123, NCh 352 y NCh 853. De los cuales 3 resultados de los ensayos cumplieron con la norma, mientras que la aislación acústica no cumple con lo establecido en la norma chilena NCh 853.

1.- ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente en el mundo vivimos en un espacio contaminado, donde día a día aumenta esta contaminación, ya que, se consumen/utilizan productos envasados, que luego el envase es desechado. La mayoría de estos envases son plásticos, es por esto, que cada día aumenta la cantidad de residuos plásticos en el mundo.

El consumo de plástico se cuadruplicó en los últimos 30 años, impulsado por el crecimiento de los mercados emergentes. La producción mundial de plástico se duplicó de 2000 a 2019 y ascendió a 460 millones de toneladas. (OCDE, 2022)

La mayoría del plástico que se utiliza hoy es virgen o primario, fabricado a partir de petróleo crudo o gas. La producción mundial de plástico a partir de plástico reciclado o secundarios se ha cuadruplicado con creces, pasando de 6.8 millones de toneladas (Mt) en 2000 a 29.1 Mt en 2019, pero aún representa solo el 6% del volumen de la producción total de plástico. (OCDE, 2022)

En Chile existe un exceso de diferentes plásticos desechados que posteriormente no son reciclados.

Según estudio (Asipla, 2022) de las 970.000 toneladas de plástico que se consumieron en Chile el año 2020, se reciclaron 92.716 tons/año, las que equivalen a un 9,6% del consumo. En Chile, el reciclaje de plásticos se sigue focalizando principalmente en las resinas PE, PP, PET, en coherencia con el resto del mundo.

(ANIR, 2020) Realizó un estudio en donde a partir de entrevistas a los actores más relevantes de la industria de PET, obtuvo una cifra estimada en el estudio del material disponible para reciclar en el país, considerando envases y embalajes de PET. Como resultado, se obtuvo que existen 97.635 t de envases vacíos de PET disponibles en Chile en el año 2020.

El total de plásticos reciclados en 2020, un 86% (79.833 tons/año) fue de origen no domiciliario o industrial, mientras que el restante 14% (12.883 tons/año) fue de origen domiciliario. (Asipla, 2022)

En base al tipo de resinas recicladas, el PET representó el plástico que más valorizó a nivel domiciliario, con un 80% (10.290 tons/año), mientras que el PE (Polietileno) y el PP (Polipropileno) primaron en el reciclaje industrial con un 82% (65.602 tons/año). (Asipla, 2022)

Considerando que el PET es el plástico que tiene más uso domiciliario y solo representa el 12% de las 92.716 tons/año de plástico que se recicló en Chile el año 2020, se busca reutilizar estos

residuos en industrias, e incluirlos en nuevos elementos de construcción, para poder aportar a reutilizar este plástico que tanto abunda y no se recicla.

El PET es un plástico que está hecho de petróleo crudo, gas y aire, en proporciones 64%, 23% y 13% respectivamente, por lo que podemos entender que es un plástico primario. (Bolaños, 2019)

El PET es comercializable hace más de 40 años, en envases de bebidas gaseosas, aguas minerales, aceite, bebidas isotónicas, productos de limpieza, etc. (ANEP, 2010)

La identificación del PET se reconoce con el número “01” o también utilizando las siglas PET, cercado por tres flechas en la base de los envases fabricados con este material, según el procedimiento identificación creado por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI). (QuimiNET, 2005)

Por otra parte, cada año, alrededor de 100.000 viviendas se construyen en Chile. Más del 40% de estas casas se construyen con muros de albañilería de ladrillo prensado. (Bustamante et al, 2005).

Constantemente se tienen avances en cuanto a materiales y elementos de construcción, donde plásticos cada vez son más incluidos dentro del mundo de la construcción. Y en ocasiones han fabricado elementos innovadores que contienen materiales como el Tereftalato de polietileno (PET) reciclado.

Uno de los nuevos elementos es el llamado “Ladrillo artesanal con plástico reciclado PET”, el cual una parte de su dosificación la ocupa el PET reciclado.

Este ladrillo artesanal consiste básicamente en ser un bloque prefabricado y contiene una fracción de cemento, arena y plástico reciclado tipo PET triturado, donde la mezcla en fresco se aplicará en un molde de dimensiones indicadas en la norma NCh 2123, de modo que en seco pueda utilizarse en muros de albañilería.

De esta manera se podrá aportar un aumento en la utilización de PET, en forma de reciclaje, ya que, se reutilizará una fracción de los envases anteriormente mencionados, como botellas de bebidas gaseosas, aguas minerales, productos de limpieza, etc. En un nuevo elemento que estaría presente en la industria de la construcción que podrá venderse posteriormente y usarse en diversas obras en Chile.

Pero, para que este elemento sea tan eficiente como para entrar en el mundo de los elementos de construcción y lo veamos día a día en diferentes tipos de obras debe cumplir con una serie de condiciones, como por ejemplo la resistencia necesaria tanto en compresión como flexo tracción para poder relacionarlo directamente con las normas NCh 2123 of 1997, además de su transmitancia térmica y aislación acústica, la cual será relacionada con la norma NCh 352 of 2000 y NCh 853 of 2007 respectivamente. Donde la primera norma establece en el punto B.3 que la resistencia mínima

que posee un ladrillo artesanal es de 4,0 MPa, y la resistencia a flexo tracción mínima que debe tener un ladrillo artesanal es de 3,0 MPa.

La norma chilena NCh 352 establece en el punto 8, que los decibeles mínimos aptos que deben transmitirse tanto al exterior como al interior de la vivienda son de 55 dB, por lo cual el resultado que se desea debe ser inferior a este número.

Y la norma chilena NCh 853 nos ofrece la fórmula principal para obtener el dato de resistencia térmica de un elemento, la cual se indicará en el marco teórico. Además de establecer que la resistencia mínima requerida para un muro de una vivienda de albañilería es de 0,17 m2k/w.

Esta investigación estudiará el ladrillo artesanal con plástico reciclado PET y verificará si cumple con la exigencia de certificación de un ladrillo macizo artesanal, en su resistencia a flexo tracción, compresión, y además evaluar su transmitancia térmica y aislación acústica relacionando todos estos parámetros con las normas NCh 169. Of 2001, NCh 853. Of 2007, NCh 2123 Of 1997 y NCh 352 of 2000.

1.2 Pregunta de investigación

¿El ladrillo artesanal con plástico reciclado PET tendrá un buen comportamiento físico-mecánico en relación a las normas vigentes en Chile?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar la resistencia a compresión, flexo tracción y la aislación térmica y acústica de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET en relación a las normas NCh 169, NCh 853 y NCh 2123.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar la dosificación para la confección de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET.
- Analizar la resistencia a compresión y flexo tracción que alcanzan los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET.
- Analizar la transmitancia térmica y aislación acústica que alcanzan los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET.

1.4 Hipótesis

Los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET cumplirán con las normas NCh 169, NCh 853, NCh 352 y NCh 2123 en cuanto a resistencia mecánica, aislación térmica y acústica.

1.5 Alcances

- El estudio se va a regir bajo las normas chilenas en su totalidad, considerando las normas NCh 169 Of 2001, NCh 853 Of 2007, NCh 352 of 2000 y NCh 2123 Of 1197 principalmente.

- El proceso de trituración se realizará en el laboratorio ‘’Ecopolímero’’, ubicado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Católica de Valparaíso.

- Los ensayos se realizarán en el laboratorio de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso.

- Los ensayos tanto de compresión como flexo tracción se realizarán individualmente a los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET.

- Los ensayos de transmitancia térmica y aislación acústica se realizarán en un conjunto de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET, en forma de un pequeño muro.

- La cámara térmica que se utilizará para ensayos de transmitancia térmica y aislación acústica es artesanal, por lo tanto, se utilizarán diferentes equipos e instrumentos que servirán de apoyo a la cámara térmica para obtener un mejor resultado de acuerdo a lo establecido a las normas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Existe una amplia información acerca de este tema, tanto nacionales como internacionales, es por esto que en este punto se consideran los antecedentes más relevantes y actuales para poder desarrollar esta investigación y tener una base sólida de lo que ya existe acerca de la tesis que se desea desarrollar.

2.1.1 Antecedentes internacionales

Los antecedentes internacionales hacen referencia a estudios realizados en otros países y que se relacionan de alguna manera con nuestro foco de estudio, dentro de ellos podemos mencionar a los siguientes autores:

a) (Restrepo, et al 2007). La tesis de Colombia con título "Estudio de las características físico-mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacías (meta)" muestra un ladrillo de plástico reciclado para solucionar el déficit habitacional que sufre Colombia, ya que los materiales que ofrecen las viviendas sociales en ese país son de muy mala calidad y al mismo tiempo viven con una alta contaminación a nivel nacional. El ex estudiante fabrica un ladrillo hecho de una combinación de 70% de PET (Tereftalato de polietileno) y 30% de polietileno de alta densidad, estos materiales fueron reciclados y sometidos a una máquina que los moldea en altas temperaturas formando así, un bloque con las dimensiones que se desean (en este caso 22,1cm x 11,05cm x 5,1cm). Hay que considerar que este estudio está hecho en Colombia, por ende, toda la normativa no es la misma que en Chile.

b) (Echeverría, 2017) La tesis de Perú con título "Ladrillos de concreto con plástico PET reciclado" estudia las propiedades físico mecánicas de 4 ladrillos de concreto con plástico PET reciclado, de acuerdo a las normas de su país. Estos ladrillos se componen de cemento, grava, hojuelas de plástico PET y agua, donde las proporciones de PET fueron 0%, 3%, 6% y 9%. Finalmente, se concluyó que las propiedades mecánicas de los ladrillos de concreto vibrado al adicionar hojuelas de plástico PET reciclado no mejoran, ya que disminuye la resistencia a la compresión del ladrillo de 51.5 kg/cm2 o 31.8%, respecto a la mezcla patrón de concreto.

c) (Álvares, Bartolo; 2020) La tesis de Perú con título "Propiedades físico - mecánicas de los ladrillos de tereftalato de polietileno para el diseño de viviendas unifamiliares en Ate-Huaycán" estudia la resistencia a compresión para un ladrillo unitario, de manera axial en forma de muro de

pilas de 4 ladrillos con 4 mezclas diferentes en el porcentaje de PET, siendo 27%, 32% y 37% respectivamente además llevan cemento, arena y agua. Finalmente, se concluye que el ladrillo que más resiste unitariamente a la compresión es el que lleva 32% de PET en la mezcla.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Se consideran los estudios realizados en Chile, y que se relaciona con el estudio del comportamiento térmico, los cuales, se mencionan los siguientes autores:

a) (Suazo, Toledo; 2015) La tesis de la Universidad de la Frontera (UFRO) de título "Confección y análisis de ladrillos ecológicos a base de desechos plásticos PET reciclados" propone una alternativa constructiva de bajo impacto ambiental en nuestro país, y son ladrillos a base de plástico reciclado PET, estos fueron compuestos por cemento, gravilla, arena, agua y plástico PET reciclado. Se confeccionaron ladrillos de control sin PET agregado y ladrillos en donde se reemplaza la arena por plástico reciclado PET, hubo 3 ladrillos con diferentes proporciones de PET, 10%, 25% y 30%, todo se hizo de acuerdo a la norma chilena. Donde se concluyó que mientras más plástico reciclado PET tuviera el ladrillo ayudaba a tener una mejor aislación térmica.

b) (Infante, Valderrama; 2019) En la tesis de la Universidad Católica de Chile con título "Análisis Técnico, Económico y Medioambiental de la Fabricación de Bloques de Hormigón con Polietileno Tereftalato Reciclado (PET)" realizó 5 ladrillos para ser estudiados en su resistencia a compresión de manera unitaria, estos ladrillos tenían 5 mezclas de cemento, agua y PET triturado diferentes, teniendo porcentajes de PET diferentes cada una, siendo 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Finalmente se concluye que el ladrillo que más resiste a la compresión es el que tiene 10% de PET agregado en la mezcla.

c) El estudiante Gerardo Gran Scheuch de la Universidad Central de Chile ha realizado un proyecto que consiste en fabricar ladrillos a base de plástico reciclado tipo PET, cemento y agua. Donde con su proyecto afirma que "Es más fácil de trabajar y no son tan frágiles como un ladrillo tradicional; es más limpio, dado que no necesita de un horno para su cocción, sino que le basta sólo con ponerlo al sol y a temperatura ambiente y se pueden añadir aditivos para mejorar sus características técnicas".

d) Por otra parte, un grupo de estudiantes de la Universidad de la Frontera (UFRO) trabajó en una confección de ladrillos hechos de PET ensamblable tipo lego, con esto darían una solución para la gran contaminación que existe en Chile. El ladrillo requiere de 25 botellas plásticas, donde las calientan a altas temperaturas permitiendo derretirse y formando los bloques de ladrillo. Donde se

concluyó que los ladrillos hechos de PET se comportan muy bien en cuanto a transmitancia térmica, pero presenta deficiencias en resistencia a compresión.

La evaluación que se quiere abordar en la presente tesis es titulada “Estudio físico-mecánico de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET” va enfocada en evaluar y analizar la resistencia a compresión, flexión, transmitancia térmica y aislación acústica de un ladrillo artesanal con plástico reciclado PET tomando como parámetro de relación las normas NCh 169 Of 2001, NCh 853 Of 2007 y NCh 2123 Of 1197 principalmente.

Para poder dar inicio a la investigación se requiere analizar que trabajos, proyectos, investigaciones existen acerca de este tema, en donde se encontró un espacio para poder desarrollar la evaluación. Internacionalmente se hicieron estudios acerca de ladrillos hechos con plástico reciclado PET, pero utilizando las normas que corresponden a su país.

Dentro de Chile, también se han realizado proyectos y estudios acerca de ladrillos con PET, pero en la tesis de La Universidad de la Frontera los ladrillos fueron hechos con plásticos sometidos a altas temperaturas y la forma que le dieron a los ladrillos eran tipo legos ensamblables.

En la Universidad Central si bien las dimensiones corresponden a las de un ladrillo sus componentes eran solo PET, cemento y agua, además que estos ladrillos no fueron sometidos a ningún ensayo.

Teniendo en consideración todos estos estudios como antecedentes, se demuestra que existe un espacio para poder llevar a cabo esta investigación, ya que la presente evaluación será regida por las normas chilenas vigentes, y cada ladrillo artesanal con plástico reciclado PET tiene como materiales, cemento especial, arena del Río Maipo, PET y agua donde se medirán las resistencia de compresión, flexión, transmitancia térmica y aislación acústica y sus resultados serán directamente relacionados con la normas NCh 169, NCh 853, NCh 352 y NCh 2123.

2.2.- Albañilería

Material estructural que se obtiene con unidades de albañilería ordenadas en hiladas según un aparejo prefijado y unidas con mortero.

Según (San Bartolomé, 1994) se define como un conjunto de unidades trabadas o adheridas entre sí con algún material, como mortero de barro o de cemento.

2.2.1 Tipos de albañilería

a) Albañilería simple:

Estructura vertical hecha de unidades de albañilería y mortero o argamasa como se muestra en la figura 2.1, está hecha de manera tradicional, es decir, no lleva ningún otro elemento en su estructura, solo se apoya de los materiales anteriormente mencionados y serán los encargados de sostener y resistir todas las cargas que pueda requerir durante su vida útil.

Este tipo de albañilería se encuentra en tabiques, o muros divisorios interiores de una vivienda. También se encuentran en muros que no requieran sostener cargas más que su propio peso.



Figura 2.1 – Albañilería simple
Fuente: Propiedades físico - mecánicas de los ladrillos de tereftalato de polietileno para el diseño de viviendas unifamiliares en Ate-Huaycán (Álvarez, Bartolo; 2020)

b) Albañilería armada:

La albañilería armada es uno de los sistemas estructurales más utilizados a nivel mundial para las construcciones de edificaciones de baja y mediana altura, en zonas de alta y moderada actividad sísmica. En el caso de Chile, cerca del 32% de todo el inventario de construcciones residenciales lo constituyen edificaciones de albañilería armada. (Ramírez, 2021).

La albañilería armada a diferencia de la albañilería simple, es una estructura que posee armadura de acero como refuerzo en los muros que se construyen de albañilería como se muestra en la figura 2.2. Este tipo de construcciones consisten en que se refuerzan los tensores de manera

vertical siendo empotrados en los cimientos y estribos que están en horizontal, creando una sola estructura que garantiza gran flexibilidad.

Según la norma (NCh 1928, 2009) la albañilería armada es la que lleva incorporados refuerzos de barras de acero en los huecos verticales y en las juntas o huecos horizontales de las unidades.

Este tipo de albañilería se encuentra en pilares de la construcción o diversos muros armados.

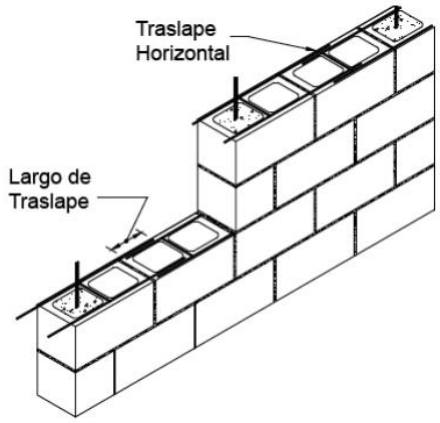


Figura 2.2 – Albañilería armada
Fuente: Recomendaciones de detallamiento para muros de albañilería reforzada (Nahum, 2012)

c) Albañilería reforzada:

La albañilería reforzada, también conocida como albañilería confinada es un tipo de estructura que como bien dice su nombre, refuerza los elementos horizontales y verticales que componen este muro, entregando así, una mayor durabilidad a la estructura, ya que permite que el conjunto de elementos se mantenga fuerte.

En la figura 2.3 se muestra como es un muro de albañilería reforzada.

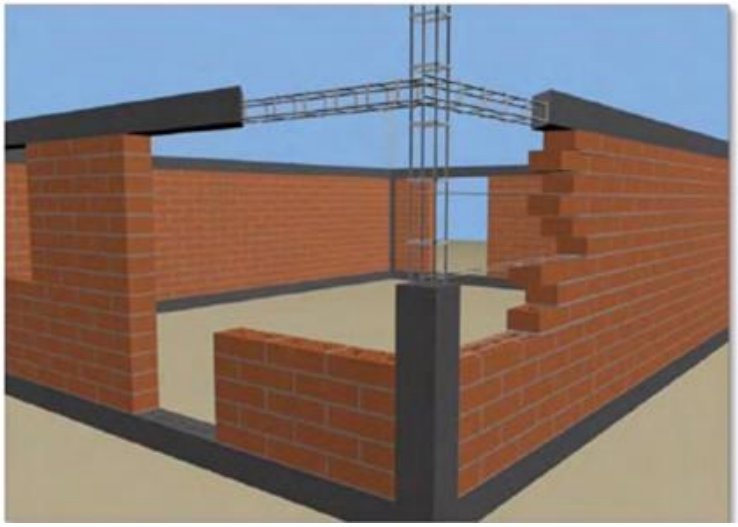


Figura 2.3 – Albañilería reforzada
Fuente: Recomendaciones de detallamiento para muros de albañilería reforzada (Nahum, 2012)

Este tipo de albañilería se destaca por su alta resistencia, ya que, se compone de albañilería simple o tradicional como se mencionó anteriormente y se enmarca todo su borde con pilares y cadenas de hormigón armado.

Según la norma (NCh 2123, 1997) Los paños de albañilería que pertenecen a un muro que forma parte de la estructura resistente del edificio, deben tener un espesor mayor o igual a la veinticincoava parte de la menor distancia entre los bordes internos de los elementos paralelos de confinamiento del paño. En todo caso el espesor debe ser mayor o igual a 14 cm, cuando se utilicen unidades hechas a máquina, y a 15 cm, cuando se usen unidades hechas a mano.

2.2.2 Unidad de albañilería

Pieza simple empleada en la construcción de albañilería, estos pueden ser fabricados de diferentes materias primas como arcilla, hormigón u otros. Son confeccionados mediante compactación y moldeo.

Las unidades de albañilerías pueden ser elaboradas a través de fábricas industriales, o de manera artesanal, considerando que en los fabricados industrialmente poseen un control de calidad y en esta última no es necesario tenerlo, por eso puede haber unidades de albañilerías artesanales de diferentes formas y dimensiones.

Según (Bartolomé, 1994) las unidades de albañilería se denominan ladrillos o bloques. Los ladrillos se caracterizan por tener dimensiones y pesos que hacen manejables con una sola mano en el proceso de asentado. Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo.

2.2.3 Ladrillo artesanal

Para la norma chilena (NCh 2123, 1997), es el ladrillo fabricado con procedimientos predominantemente manuales. El amasado o moldeado es hecho a mano o con maquinaria elemental que en ciertos casos se extruye, a baja presión.



Figura 2.4 – Ladrillo artesanal
Fuente: Sodimac

2.2.4 Bloque de hormigón

Bloque ahuecado en forma de paralelepípedo prefabricado, son fabricados de morteros y hormigones que tengan una consistencia seca, es decir, que en su mezcla fresca posean áridos finos, los cuales se compactan y vibran en moldes metálicos.

Según (Castro, et al; 2003) el ladrillo de hormigón es un bloque prefabricado, hecho con cemento portland, en forma de cubo rectangular, casi siempre con perforaciones. Se fabrica en moldes de prensa y se vibra para obtener unidades de mampostería con altas calidades de resistencia estructural.

En la figura 2.5, se muestran bloques de hormigón.



Figura 2.5 – Bloques de hormigón
Fuente: Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción (Reyes, González; 2011)

2.3. Mortero

Material que resulta de mezclar cemento, arena y agua, o, cemento, cal, arena y agua. (NCh 1928, 2009)

El mortero tiene diferentes funciones en la composición estructural, pueden ser usados en construcciones de elementos estructurales, o en mampostería, ya sea de pega o de relleno. En otros casos los morteros se usan como recubrimientos en forma de pañetes, revoques, etc.

2.3.1 Mortero de junta

Mezcla de cemento, arena y agua que se utiliza para unir ladrillos en hiladas de unidades de albañilería para realizar muros de albañilería.

Según norma (NCh 2123, 1997) el valor mínimo de la resistencia especificada a compresión del mortero, debe ser el que corresponda a la resistencia de la unidad que se emplee en la albañilería. En ningún caso, esta resistencia debe ser menos que 5,0 MPa cuando la albañilería se construye con unidades de ladrillos cerámicos artesanales, y que 10,0 MPa cuando la albañilería se construye con unidades hechas a máquina.

2.4 Plástico

Los plásticos son sustancias de diferentes estructuras, formas y naturalezas, que mantienen una forma cuando hay ausencia de un punto fijo de ebullición, pero cuando aumentan las temperaturas estos plásticos adquieren propiedades físicas como flexibilidad y elasticidad, de modo que se pueda moldear y darles formas y aplicaciones que se requieran para diferentes usos.

El plástico está hecho con el gas natural o el petróleo crudo que se modifican de manera química en productos sólidos llamados resinas. (Bolaños, 2019)

2.4.1 Características de los plásticos

El plástico en comparación a otros materiales se destaca por la relación directa entre resistencia y calidad, además posee excelente aislamiento eléctrico y térmico. Por otra parte, el plástico tiene alta resistencia a disolventes, ácidos y otros materiales corrosivos.

2.4.2 Técnicas de moldeo del plástico

El plástico al tener una buena flexibilidad y elasticidad puede moldearse para darle la forma y la aplicación que se necesite, a continuación, se describen los tipos de moldeos que existen para poder trabajar este material.

a) Moldeo de alta presión:

Para moldear el plástico se requiere de una máquina hidráulica que va ejercer la presión suficiente para poder trabajarlo.

i. Compresión: El plástico en polvo será sometido a altas temperaturas y comprimido entre dos partes de un molde mediante fuerza de una prensa hidráulica.

ii. Inyección: El plástico granulado se calienta y un tornillo sinfín lo inyecta a alta presión en el interior de un molde de acero donde quedará con la forma de este mismo. El molde y el plástico inyectado se enfrían mediante unos canales interiores por los que circula el agua.

iii. Extrusión: El plástico es empujado por un tornillo sinfín a través de un cilindro que acaba en una boquilla, con lo que se produce una tira de longitud indefinida. (Molina et al, 2007)

b) Moldeo de baja presión:

Para moldear el plástico a baja presión se pueden obtener láminas de este material y se hace mediante el proceso de aplicar calor o hacerlo a presión, como los tipos que se presentan a continuación.

i. Colada: El plástico se inserta en un estado líquido hacia un molde, donde fragua y se solidifica a temperatura ambiente.

ii. Espumado: Consiste en introducir aire u otro gas en el interior de la masa de plástico de manera que formen burbujas de aire permanentes.

iii. Calandrado: El plástico se pasa por unos rodillos que aplican presión al material cambiando su forma a láminas de plásticos de diferente espesor.

2.4.3 Tipos de plásticos

Existen dos familias de plásticos, que son termoplásticos y termoestables.

a) Termoestables:

Son plásticos que si se les aplica calor podrían ser inflamables por sus procesos químicos de producción, o incluso tóxicos al respirarlos.

b) Termoplásticos:

Son los plásticos más comunes en el mercado ya que son más del 80% (Bolaños, 2019). Se caracterizan por que al ser sometidos a altas temperaturas estos tienen la capacidad de ablandarse para ser moldeados y que se les pueda cambiar su forma.

A continuación, se muestra la tabla 2.1 que muestra los tipos de plásticos que se encuentran en esta familia, con su abreviación y el uso que tiene cada uno actualmente.

Código	Siglas	Nombre	Usos
	PET	Tereftalato de polietileno	Envases de bebidas gaseosas, jugos, jarabes, aceites comestibles, bandejas, artículos de farmacia, medicamentos, etc.
	PEAD (HDPE)	Polietileno de alta densidad	Envases de leche, detergentes, champús, baldes, bolsas, tanques de agua, cajones para pescado, etc.
	PVC	Policloruro de vinilo	Tuberías de agua, desagües, aceites, mangueras, cables, imitación de piel, y material de uso médico como catéteres, bolsas de sangre, etc.
	PEBD (LDPE)	Polietileno de baja densidad	Bolsas para basura.
	PP	Polipropileno	Envases de alimentos, materiales para la industria automotriz, bolsas de uso agrícola y cereales, tuberías de agua caliente, envolturas para protección de alimentos, pañales desechables, etc.
	PS	Poliestireno	Envases de alimentos congelados, aislante para heladeras, juguetes, rellenos, etc.
	Otros	Resinas epoxídicas	Adhesivos e industria plástica; industria de la madera y la carpintería; elementos moldeados como enchufes, asas de recipientes, etc., espuma de colchones, rellenos de tapicería, etc.

Tabla 2.1 – Tipos de plásticos termoplásticos
Fuente: Historia del PET (QuimiNet, 2005)

2.5 Tereftalato de polietileno (PET)

El tereftalato de polietileno es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo y gas. Se compone de 64% petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire.

A partir del petróleo crudo se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para dar ácido tereftálico. El etileno, que se obtiene a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar etilenglicol. El PET se hace combinando el ácido tereftálico y el etilenglicol.

Los PET son sustancias sintéticas de una estructura macromolecular ya que posee una gran cantidad de moléculas de alcoholes, hidrocarburos y compuestos netamente orgánicos.

2.5.1 Historia del PET

De acuerdo con (Quiminet, 2005) la historia es la siguiente: El PET, fue patentado como polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickson en 1941. La producción se inició a mediados de 1955; desde entonces, el PET se ha mantenido en un constante avance tecnológico hasta lograr el nivel de sofisticación, debido principalmente a su alta demanda a nivel mundial y a la diversidad de sus posibles usos en la industria. Whinfield y Dickson, quienes trabajaron en colaboración de los inventores W. K. Birtwhistle y C. G. Ritchiethey para crear la primera fibra de poliéster llamada Tenileno en 1941. Y la segunda fibra de poliéster fue el Sacrón de DuPont. A mediados de la década de los años 70 se empezó a utilizar el PET en la producción y fabricación de envases para bebidas que tenían una apariencia ligera, que fueran transparentes y principalmente resistentes, gracias a eso el PET ha alcanzado un desarrollo fuera de lo común para empaques.
En todos estos años que el PET es comercializado se ha logrado diversificar en varios sectores ya sea reemplazando los productos que se usaban tradicionalmente o innovando en nuevas alternativas para el uso en envasado.

2.5.2 Tipos de PET

Existen diferentes tipos de PET que los encontramos a diario, a continuación, se describen cada uno.

a) APET: Tereftalato de polietileno amorfo. Primeramente, el PET se encuentra como un polímero cristalino cuando tiene forma de pellets y luego de la extrusión quita su forma cristalina volviéndose amorfo. Antes de utilizar estos trozos de PET deben ser cristalizados para que se puedan usar en ocasiones que se requiera mantener las propiedades mecánicas a temperaturas altas, ya que el tereftalato de polietileno tiene la característica de poder volver a moldearse a los 80°C.

b) RPET: Tereftalato de polietileno reciclado.

c) PET post-industria: Residuos de operaciones de arranque producidos en operaciones de elaboración que no vuelven a ser utilizados nuevamente.

d) PET post-consumo: Botellas de gaseosas recicladas.

2.5.3 Identificación del PET

El tereftalato de polietileno se encuentra en diferentes envases y es reconocido por el símbolo triangular hecho con tres flechas, donde el centro tiene el número “01”, o bien debajo de este símbolo tiene la sigla “PET”, tal como muestra la siguiente figura 2.6.



Figura 2.6 – Símbolo del tereftalato de polietileno
Fuente: Historia del PET (QuimiNet, 2005)

2.5.4 Propiedades del PET

El tereftalato de polietileno tiene muchas propiedades tales como:

a) Resistencia química:

El tereftalato de polietileno tiene una gran resistencia al agua, alimentos, bacterias, hongos, etc. Dándole así, una cualidad de ser compatible con las aplicaciones de envasado de alimentos.

b) Transparencia:

El tereftalato de polietileno es un plástico naturalmente transparente, pero existen otros polímeros con una mayor transparencia, por esto, si se requiere escoger un plástico por estas características debe considerarse primeramente el policarbonato y el acrílico.

c) A prueba de golpes:

El tereftalato de polietileno es un plástico sólido y fuerte, tanto que se utiliza como alternativa al vidrio.

d) Otros:

A continuación, se muestra la tabla 2.2 en donde entrega resultados de diferentes ensayos que se le han hecho al tereftalato de polietileno, para mostrar en un listado las propiedades del PET virgen y sus valores.

Tabla 1 Propiedades del PET virgen.

Propiedades	*Unidad*	*Valor típico*
Viscosidad Intrínseca	dl/g	0,783
Densidad	g/cm^3	1,33 – 1,34
Color	-	Cristal
Forma física	N/A	Hojuela (flakes)
Tamaño	cm.	1.25
Origen	N/A	Botellas
Temperatura de transición vítrea	°C	69 – 115
Resistencia a la tracción	kgf/cm^2	55,89
Módulo de elasticidad	kgf/cm^2	599,96
Resistencia al impacto		No rompe.
Valor límite de la viscosidad medido en ácido dicloroacético a 25°C		1.07
Punto de fusión °C		aprox. 252/260
Acetaldehído		ppm < 1
Contenido en grupos carboxílicos		mval/kg 20
Densidad aparente [g/cm3] aprox.		0.85

Tabla 2.2 Propiedades del PET virgen

Fuente: Estudio de factibilidad para la manufactura de empuñaduras de PET reciclado (Juárez, et al 2011)

2.5.5 Procesos de producción del PET

Las resinas se presentan en un aspecto de diminutos tubos o chips, aquellos que cuando se encuentran deshumedecido se derriten y se introducen a presión en máquinas de varias cavidades; las cuales elaboran las preformas (envases aun no inflados y que solo poseen la boca del envase en apariencia final). Luego, son impuestas a un proceso en donde se va calentado de forma gradual y precisa, entonces son colocadas en moldes y se procede a realizar estiramiento por medio de una varilla hasta que alcancen su tamaño definitivo, finalmente se infla la preforma con aire a presión hasta que alcancen la forma del molde y da paso al envase requerido.

A continuación, se muestra la figura 2.7 donde muestra el proceso de producción del PET, a través de un diagrama.

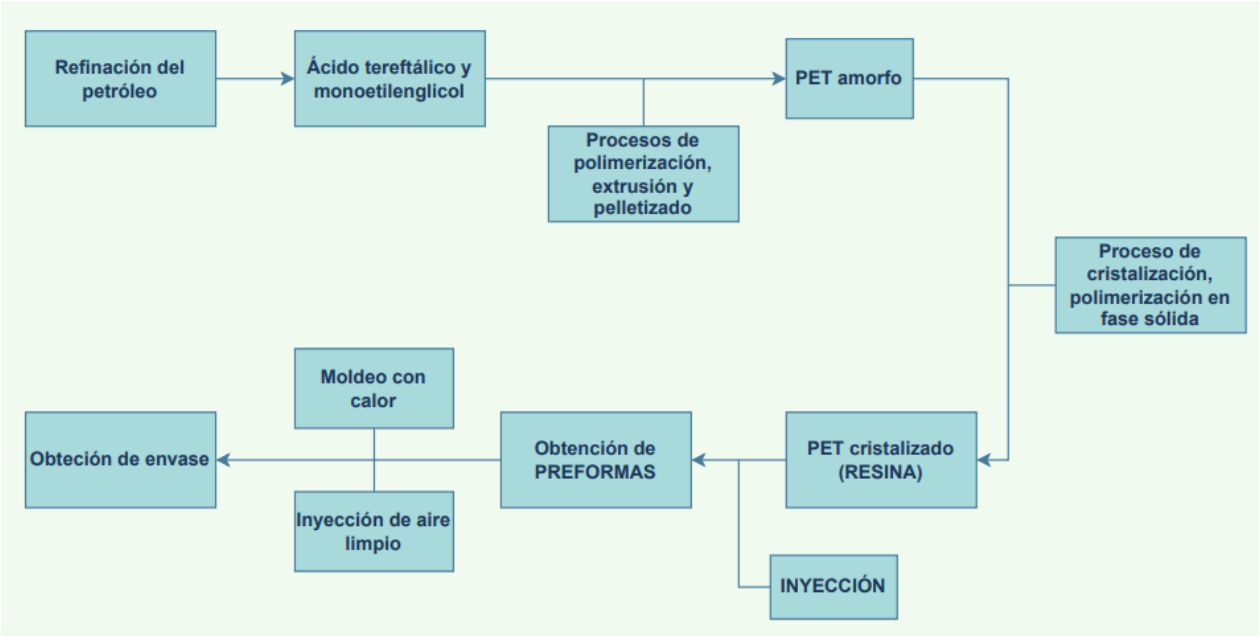


Figura 2.7 – Diagrama de producción del tereftalato de polietileno.
Fuente: Historia del PET (QuimiNet, 2005)

2.5.6 Aplicaciones del PET

El tereftalato de polietileno es un material que lo encontramos en diferentes envases de manera cotidiana como en envases de bebidas gaseosas, agua mineral, jugo, aceite, bebidas isotónicas, productos de limpieza como poett, cloro, lavaloza, etc. Como los productos que se encuentran en la figura 2.8



Figura 2.8 – Algunos envases de PET.
Fuente: Empresa Cencosud, Supermercados y Tiendas Jumbos

2.5.7 Degradación del PET

La degradación es un proceso que provoca una modificación en la estructura del polímero para haciéndolo vulnerable, perecedero y que desaparezca como residuo. Algunos de los procedimientos de degradación se basan en la acción de la luz (fotodegradación), del calor (degradación térmica), de los microorganismos (biodegradación), etc.

El primer efecto que causa la degradación es la disminución del peso molecular del polímero y en ocasiones aparece una reticulación en el mismo.

En el proceso de la degradación de un plástico se observan variaciones tanto físicas como químicas en el mismo. Entre las modificaciones físicas pueden encontrarse la pérdida de brillo y color, la formación de grietas, la aparición de zonas pegajosas, y endurecimientos con la consiguiente pérdida de propiedades.

2.6 Residuos solidos

Se considera residuos sólidos a todos los elementos, sustancias, productos en estado sólido o semi sólido que el usuario dispone, o está obligado a disponer y que podrían provocar peligros en la salubridad humana o del ecosistema.

2.6.1 Proceso para el aprovechamiento de los residuos

Existen dos procesos para el aprovechamiento de residuos que se detallarán a continuación:

a) Separación de residuos:

Se pueden separar de acuerdo a las especificaciones del material del cual son residuos, se pueden separar plásticos, vidrios, metales, papeles, etc.

b) Segregación de residuos:

i. Separación de la fuente: Es recuperar los productos que pueden pasar por el proceso de reciclado en el mismo lugar donde se originan, ya sean casas, fábricas, locales comerciales, etc. Los residuos que pueden servir para el proceso de reciclaje son trasladados a los centros de acopio y reciclaje que les corresponda según las características del lugar que se almacenen y en algunos casos son separados para su posterior proceso o para ser exportados.

ii. Segregación manual después del recogido: Es una separación de residuos que se hace después de la recogida. Este método no se recomienda, ya que, presenta problemas de salud y seguridad porque los materiales ya se habían mezclado con otros desechos contaminados.

iii. Separación mecánica: Luego del recojo de residuos se puede proceder a la recuperación de materiales mediante procesos mecánicos o electromecánicos. Consiste en que separan todos los materiales, lo que permite una cantidad mayor de los desechos sólidos en comparación a otros métodos manuales.

2.7 Reciclaje

Actividad de recuperar los desechos sólidos al fin de reintegrarlos al ciclo económico, reutilizándolos o aprovechándolos como materia prima para nuevos productos. Es un concepto que integra las tres erres, “reciclar, reducir y reutilizar”, a fin de controlar el exceso de basura acumulada en el planeta.

El reciclaje es una cuestión individual que forma parte de un problema general social, es decir que a nivel personal solo podemos reciclar una parte mínima de nuestra basura. Sin embargo, el reciclaje de la mayoría de materiales actuales requiere un tratamiento complejo que solo resulta viable a nivel industrial. (Virginie, 2011).

Las posibles vías de reutilización de los plásticos son de diferente naturaleza, abarcando desde su reciclado directo, incineración con o sin recuperación energética, hasta su transformación en productos más nobles y de mayor valor agregado mediante el reciclaje químico. La selección del procedimiento para el reciclado depende de su composición, legislación medioambiental, precio de las materias vírgenes y estrategias de reciclaje. (Ramirez D. 2011)

2.7.1 Reciclaje del plástico

A causa del crecimiento industrial de los plásticos, se ha provocado un aumento y acumulación de plásticos como desecho, en donde, son tirados indiscriminadamente a basureros, ignorando los tipos de plásticos que existen y que comprenden diferentes propiedades físicas y químicas, por ello, se han formalizado sectores físicos para colocar y separar los desechos que se generan.

En el reciclaje del plástico existen etapas, para establecer un control de la contaminación del plástico, como la recolección, centro de reciclado, y clasificación.

a) La recolección:

Todo sistema de recolección diferenciada descansa en un principio fundamental, que es la separación de los residuos en dos grupos básicos: residuos orgánicos por un lado e inorgánicos por

otro. En los residuos orgánicos irían los restos de comida y de jardín; y en el otro grupo los metales, madera, plásticos, vidrio, aluminio. (Zavala, 2015)

b) Centro de reciclado:

Aquí se reciben los residuos plásticos mixtos compactados en fardos que son almacenados a la intemperie. Existen limitaciones para el almacenamiento prolongado en estas condiciones, ya que la radiación ultravioleta puede afectar a la estructura del material, razón por la cual se aconseja no tener el material expuesto más de tres meses. (Zavala, 2015)

c) Clasificación:

Luego de la recepción se efectúa una clasificación de los productos por tipo de plástico y color. Si bien esto puede hacerse manualmente, se han desarrollado tecnologías de clasificación automática, que se están utilizando en países desarrollados. Considerando lo anterior, el reciclaje del plástico es una práctica muy útil para reducir los desperdicios sólidos. (Zavala, 2015)

Existen algunas técnicas de reciclado, las cuales dan como resultado 4 tipos:

i. Reciclado Primario: Consiste en la conversión del desecho plástico en artículos con propiedades físicas y químicas idénticas a la del material original. El reciclado primario se hace con los termoplásticos, pues las propiedades permiten que el material se funda a bajas temperaturas sin ningún cambio en su estructura (Zavala, 2015)

ii. Reciclaje Secundario: Convierte el plástico en artículos con propiedades inferiores a las del polímero original. El proceso de mezclado del plástico es representativo, eliminado la necesidad de separarlo. (Zavala, 2015)

iii. Reciclaje Terciario**:** Es el que degrada al polímero a compuestos químicos básicos y combustibles. Diferente a otros polímeros porque en este existe un cambio químico y no físico. (Zavala, 2015)

iv. Reciclaje Cuaternario: Consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada por medio de dicho proceso; para integrarlo en otros procesos químicos y físicos. (Zavala, 2015)

2.7.2 Tipos de reciclaje para el PET

Se definen tres procesos de reciclajes para el PET, las cuales son, el reciclaje mecánico, reciclaje químico y reciclaje energético.

a) Reciclaje mecánico:

Proceso que está dirigido a la recolección y separación de envases, trituración, lavado y extrusión del material polimérico. Con este proceso se obtienen hojuelas que mediante la acción del calor se utiliza para obtener nuevas piezas. Así mismo, estas hojuelas se emplean como agregado fino en concretos para disminuir costos en obra (Echeverria, 2017).

Los materiales de reciclaje mecánico PET, provienen directamente de dos fuentes: Residuos de la fabricación industrial y residuos de la sociedad urbana.

El reciclaje mecánico presenta etapas para llevar a cabo el reciclaje de manera correcta, las cuales son:

I. Limpieza
II. Clasificación
III. Triturado
IV. Lavado
V. granceado

b) Reciclaje químico:

Proceso mediante el cual se produce la descomposición del polímero para obtener los componentes de partida (monómeros) y a partir de ellos, y tras un nuevo proceso de polimerización se obtienen nuevos materiales poliméricos. lo cual es la principal razón que se pueda ampliar la gama de materiales para el reciclado y el ahorro sustancial de petróleo y gas, las cuales son las materias primas básicas en la elaboración de PET. (Bolaños, 2019)

El reciclaje químico al igual que el reciclaje mecánico, presenta etapas para realizar de manera ordenada y correcta el reciclaje del PET, en donde, el reciclaje químico presenta las siguientes:

I. Despolimerización térmica
II. Disolución
III. Reacciones de despolimerización

c) Reciclaje energético:

Aquellos productos y materiales que no pueden ser reciclados de una forma económica y medio ambientalmente viable son generalmente incinerados bajo condiciones controladas para la obtención de energía. (Ramirez D, 2011).

2.8 Materiales que conforman el Ladrillo artesanal con plástico reciclado PET

El ladrillo artesanal con plástico reciclado PET, es un tipo de unidad de albañilería prefabricado, que está compuesto por cuatro materiales que se mezclan en fresco para introducirlos en un molde de manera manual y que se seque a temperatura ambiente, los materiales que se utilizarán para estos ladrillos se muestran a continuación:

2.8.1 Cemento

Es un material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire (NCh 148, 1968)

Es un material capaz de endurecerse después de interactuar químicamente con el agua del mezclado en un proceso conocido como fraguado, siendo la fuente de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del hormigón. Sin embargo, el cemento sólo constituye entre un 10 y 20% del peso del hormigón.

El proceso de fabricación del cemento comienza con la obtención de las materias primas necesarias para conseguir la composición deseada para la producción del Clinker.
Los componentes básicos para el cemento Portland son: CaO, obtenida de materiales ricos en cal, como la piedra caliza rica en $CaCO_3$, con impurezas de SiO_2, Al_2O_3 y $MgCO_3$, de Margas, que son calizas acompañadas de sílice y productos arcillosos, conchas marinas, arcilla calcárea, greda, etc (Flores, Ochoa; 2019)

a) Tipos de cementos:

Los tipos de cementos que se verán a continuación se clasifican de acuerdo a su resistencia en dos grados, el primero cemento corriente y segundo cemento de alta resistencia (NCh 148, 1968)

i. Cementos siderúrgicos: Es el producto que se obtiene la mezcla conjunta de clínquer, escoria básica granulada de alto horno y yeso. La escoria básica granulada, es el producto que se obtiene por enfriamiento brusco de la masa fundida no metálica, que resulta en el tratamiento de

mineral de hierro, en un alto horno. Si tiene menos de 30% de escoria básica, se denomina Cemento Portland Siderúrgico.

ii. Cemento portland: Es el que se obtiene de la molienda conjunta del clínquer y yeso y que puede aceptar hasta un 3% de materia extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado. (NCh 148, 1968)

El peso específico del cemento Portland será superior o igual a 3,00 kg/dm3 (NCh 148, 1968).

iii. Cemento con agregado tipo A: Es el producto que se obtiene de molienda conjunta con clínquer, agregado tipo A y yeso. El agregado tipo A es una mezcla de sustancias, compuestas por un material cálcico-arcilloso, que ha sido calcinado a temperatura superior a 900 °C, y otros materiales a base de óxidos de silicio, aluminio y fierro. Si contiene menos del 30% del agregado tipo A se llama Cemento Portland Tipo A, y si tiene entre 30 y 50% se llama Cemento Tipo A.

iv. Cemento puzolánico: Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clínquer, puzolana y yeso. La Puzolana es el material sílicoaluminoso que, aunque no posee propiedades aglomerantes por sí solo, las desarrolla cuando está finamente dividido y en presencia de agua, por reacción química con el hidróxido de calcio, a la temperatura ambiente.

v. Cemento con fines especiales: Es el cemento que en cuya composición entran los productos que se emplean normalmente en la fabricación de cementos, cuyos requisitos y propiedades se establecen por acuerdo previo entre productor y consumidor para cumplir determinados fines. (NCh 148, 1968)

b) Características del cemento:

i. Tiempo de fraguado: El tiempo de fraguado para cada tipo de cemento será indicado en la tabla 2.3 adjuntada desde la norma chilena NCh 148, 1968.

ii. Resistencia mecánica:

La resistencia a compresión y la resistencia a flexión se indica en la siguiente tabla 2.3, adjuntada desde la norma chilena NCh 148, 1968.

Grado	Tiempo de fraguado		Resistencia mínima a la compresión		Resistencia mínima a la flexión	
	Inicial mínimo min	Final máximo h	7 días kg/cm²	28 días kg/cm²	7 días kg/cm²	28 días kg/cm²
Corriente	60	12	180	250	35	45
Alta resistencia	45	10	250	350	45	55

Tabla 2.3 – Tiempo de fraguado del cemento y las resistencias mínimas a compresión y flexión. Fuente: Norma chilena 148 “Cemento – Terminología, clasificación y especificaciones generales” (NCh 148, 1968)

2.8.2 Arena

Material pétreo que pasa por el tamiz de abertura 4,75 mm y queda retenido en el tamiz de abertura 0,075 mm. (NCh 1325, 2010)

La arena (áridos finos) es un elemento esencial en la composición del hormigón. Supone el 60% o más de la composición del hormigón y es necesaria para formar la pasta plástica y conseguir una mezcla homogénea con el resto de componentes del hormigón, especialmente al unir a todos las gravas (áridos gruesos) en una única masa. Además, la arena permite mejorar la resistencia del hormigón, proporcionada principalmente por las gravas.

La arena sirve de base para que el cemento hidratado pueda tomar mayor consistencia y densidad, debido a la interacción de las partículas finas de la arena y las del cemento, que poseen un tamaño similar.

a) Tipos de arena

i. Arena fina: se puede mezclar con cemento para hacer morteros de enfoscado o revoco, mampostería o aplanados. Tiene dimensiones inferiores a los 4 milímetros y uno de los principales componentes es la sílice.

ii. Arena de miga: es un poco más gruesa y compacta que la arena fina y se usa normalmente para unir diversos materiales de construcción. También para hacer mortero para soldados de estructuras (si se une con el cemento). Puede alcanzar 4 milímetros de grosor.

iii. Arena gruesa o lavada: se suele mezclar con cemento para obtener el conocido mortero de albañilería y fabricar pisos, formar parte de la cimentación o unir ladrillos o bloques. Puede alcanzar hasta los 5 milímetros de grosor.

2.8.3 Tereftalato de polietileno (PET) triturado

El presente polímero se utilizará en la confección de los ladrillos de manera triturada, se utilizarán únicamente botellas de aguas, bebidas y jugos, que pasarán por un proceso de reciclaje manual, para luego ser trituradas por una máquina trituradora y se utilizarán los trozos iguales o menores a 4,75 mm, para así tener una mejor compactación entre la variedad de dimensiones en las partículas que componen la mezcla de este ladrillo.

A continuación, se muestra la figura 2.9 de PET triturado en las dimensiones que se utilizarán.



Figura 2.9 – PET triturado
Fuente: Creación propia (2023)

Para determinar la cantidad de tereftalato de polietileno se hizo una tabla comparativa con los estudios que se hicieron anteriormente similares a esta investigación, comparando las resistencias a compresión de los ladrillos y los porcentajes de PET que utilizaban en la mezcla, a continuación se muestra la tabla 2.4 donde están destacadas las filas en verde determinando el ladrillo que más resistió en cada Universidad que se compara, en el caso de la Universidad Católica de Chile el 0% no se considera, ya que, fue el ladrillo patrón que realizaron y desde ahí comienza su estudio comparativo.

Ensayo	Fuente	Porcentaje de PET agregado a la mezcla	Resistencia a compresión (MPa)
Compresión	Estudio Universidad Católica - Chile	0%	26,1
	Estudio Universidad Nacional de Cajamarca - Perú	3%	13,38
	Estudio Universidad Católica - Chile	5%	23,4
	Estudio Universidad Nacional de Cajamarca - Perú	6%	12,2
	Estudio Universidad Nacional de Cajamarca - Perú	9%	11,57
	Estudio Universidad Católica - Chile	10%	24,1
	Estudio Universidad Católica - Chile	15%	21,4
	Estudio Universidad Católica - Chile	20%	21,7
	Estudio Universidad Cesar Vallejo - Perú	27%	13,31
	Estudio Universidad Cesar Vallejo - Perú	32%	21,13
	Estudio Universidad Cesar Vallejo - Perú	37%	14,39

Tabla 2.4 – Tabla comparativa entre estudios de universidades sobre la resistencia a compresión en ladrillos artesanales con diferentes porcentajes de PET agregados en la mezcla.

Fuente: Creación propia (2023)

Luego de ver las mayores resistencias en los estudios anteriores se pasó esta información a gráficos de barras, donde se hizo un gráfico por Universidad como se muestran a continuación las figuras 2.9, 2.10 y 2.11 y se observa que la Universidad Cesar Vallejo tiene un ladrillo que destaca muchísimo tanto por su resistencia como por su cantidad de PET agregado en la mezcla.

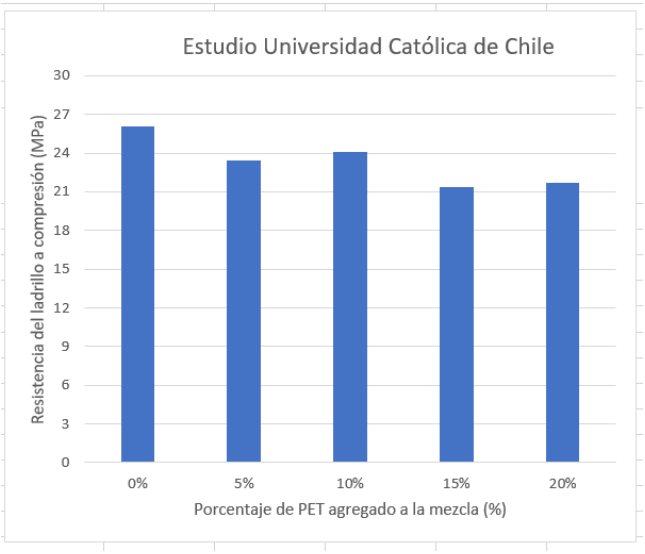


Figura 2.10 – Gráfico del estudio de la Universidad Católica de Chile de la resistencia del ladrillo con plástico reciclado PET versus el porcentaje de PET agregado a la mezcla.

Fuente: Creación propia (2023)

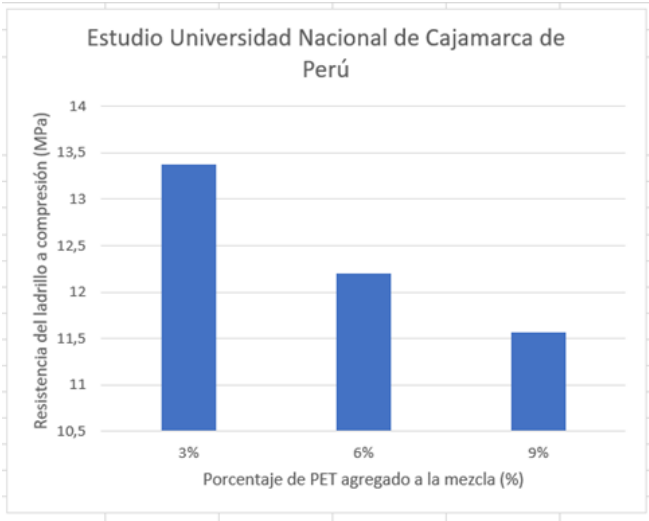


Figura 2.11 - Gráfico del estudio de la Universidad Nacional de Cajamarca de Perú de la resistencia del ladrillo con plástico reciclado PET versus el porcentaje de PET agregado a la mezcla.

Fuente: Creación propia (2023)

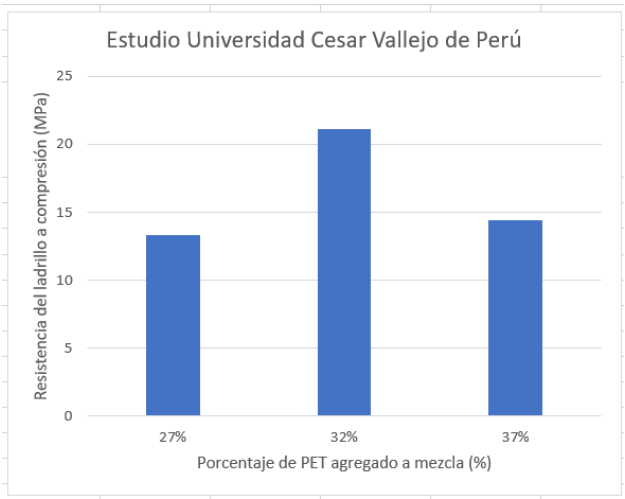


Figura 2.12 - Gráfico del estudio de la Universidad Cesar Vallejo de Perú de la resistencia del ladrillo con plástico reciclado PET versus el porcentaje de PET agregado a la mezcla.

Fuente: Creación propia (2023)

Si se realiza una comparación en todos los estudios pasados por otros estudiantes se obtiene que la Universidad Católica de Chile tiene la mayor resistencia a compresión en su ladrillo que contiene 10% de PET, ya que, resiste 24,1 MPa, superando la mínima que debería resistir un ladrillo

artesanal (4,0 MPa), el siguiente ladrillo con mayor resistencia a compresión es de la Universidad Cesar Vallejo, el cual contiene 32% de PET en su mezcla y resistió 21,13 MPa también cumpliendo con el criterio de la norma.

Por esta razón se considera utilizar este último dato para el presente estudio, ya que el ladrillo está dentro de lo establecido en la norma NCh 2123 en cuanto a resistencia a compresión y además contiene más porcentaje de PET en su mezcla en comparación al ladrillo estudiado por la Universidad Católica de Chile, ayudando así a reutilizar en mayor cantidad el plástico que actualmente está como residuo en el espacio.

De esta manera, se establece que existirán 3 ladrillos artesanales con plástico reciclado PET a estudiar, donde tendrán tres porcentajes de PET diferentes y serán 22%, 32% y 42% para poder evaluarlos en sus propiedades físicas y mecánicas del presente estudio.

2.8.4 Agua potable

El agua potable es el agua que cumple con los requisitos microbiológicos, de turbiedad, químicos, radiactivos, organolépticos y de desinfección, que aseguran su inocuidad y aptitud para el consumo humano. (NCh 409, 2005)

El agua en esta mezcla es fundamental ya que se encarga de hidratar los materiales que se utilizan, y además tiene una gran importancia en la relación agua-cemento, ya que si su proporción no es la adecuada no se obtendrá la resistencia deseada.

Si bien el agua es el componente de más bajo costo para la elaboración del hormigón, es un elemento tan importante como el cemento, ya que la variación de su contenido en una mezcla, permite realizar la dosificación del hormigón variando su resistencia, plasticidad, asentamiento, trabajabilidad y permeabilidad. Además, cuando se desconoce la calidad del agua utilizada, su procedencia y composición química, se corre un gran riesgo, porque, aunque la relación “a/c” sea la deseada, no se sabe si en el interior del hormigón el agua provocará un beneficio o un inconveniente. Las impurezas del agua pueden presentarse disueltas o en forma de suspensión y pueden ser: carbonatos o bicarbonatos, cloruros, sulfatos, sales de hierro, sales inorgánicas, ácidos, materia orgánica, aceites, o sedimentos y pueden interferir en la hidratación del cemento, producir modificaciones del tiempo de fraguado, reducir la resistencia mecánica y causar manchas en la superficie del hormigón.

2.9 Requisitos de calidad de los materiales

Cada material debe cumplir con una serie de criterios que son evaluados para obtener una certificación y poder usarse deliberadamente y sin correr riesgos en fallas en el área de la construcción, estos parámetros están establecidos por diferentes normas chilenas y establecen diferentes criterios como dimensiones, formas, dosificaciones, resistencias a compresión, flexión tracción, aislaciones, absorción, etc.

2.9.1 Clasificación y requisitos del ladrillo artesanal.

El ladrillo artesanal está descrito en la norma NCh 2123 en cuanto su uso en la albañilería con su resistencia mínima a compresión que indica que debe ser de 4,0 MPa, además de sus dimensiones y la forma en que se debe realizar los ensayos. Además, la norma NCh 169 establece la forma y dimensiones que deben tener los ladrillos y el margen de error entre las caras de este ladrillo que está entre los 8 mm.

Para el caso de la flexión, se utilizará como referencia la norma NCh 167 en los ladrillos cerámicos, donde determina que la resistencia mínima que debe tener un ladrillo es de 3,0 MPa y también muestra cómo se realiza el ensayo.

En el caso de la aislación térmica se utiliza como referencia la norma NCh 853, y se compara con la resistencia que debe tener un ladrillo cerámico el cual establece que la resistencia térmica debe ser superior a los 0,17 m2K/W.

Finalmente, para poder dar un punto de comparación en cuanto a aislación acústica, se toma de apoyo la norma NCh 352 que habla justamente sobre la aislación acústica en los materiales, ésta norma establece que hay una aislación mínima en donde todos los materiales deben cumplirla, y es un mínimo apto de 55 dBA como aislación acústica.

2.10 Propiedades físicas

Características que se pueden observar sin cambiar la composición del material, es decir, materia que no está asociada a un cambio en su composición química. Las propiedades físicas son la densidad, color, tamaño, forma, peso específico y porosidad, sin embargo, dentro de las propiedades físicas es necesario considerar la resistencia térmica y aislamiento acústico, ya que, es necesario determinar las funciones del material.

Las propiedades físicas tienen mayor importancia en el comportamiento mecánico de las mezclas de concreto, porque de ellas depende la resistencia y la durabilidad de la mezcla en estado endurecido (Romero & Hernández, 2014).

2.10.1 Resistencia térmica (R)

La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica.

Es necesario tener en cuenta, la respuesta térmica en los plásticos. Como se estableció anteriormente, los plásticos presentan diferentes características y cada plástico una resistencia térmica diferente. La norma NCh 853, distingue cuatros casos para la resistencia térmica:

a) Resistencia térmica de una capa material:

Para una capa de caras planas y paralelas, de espesor *e, conformada por un material homogéneo de conductividad térmica* λ, la resistencia térmica, R, queda dada por:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Ecuación 2.11.1 Resistencia térmica de una capa de material.

b) Resistencia térmica total de un elemento compuesto:

Inverso de la transmitancia térmica del elemento. Suma de resistencias de cada capa del elemento. Se expresa en m2 x K/W.

$$R_T = \frac{1}{U}$$

Ecuación 2.11.2 Resistencia térmica total de un elemento compuesto.

c) Resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada:

Resistencia térmica que presenta una masa de aire confinado (cámara de aire). Se determina experimentalmente por medio de NCh 851. Se expresa en m2 x K/W.

d) Resistencia térmica de superficie:

Inverso del coeficiente superficial de transferencia térmica h. Se expresa en m2 x K/W.

$$R_s = \frac{1}{h}$$

Ecuación 2.11.3 Resistencia térmica de superficie.

2.10.2 Aislamiento acústico

El sonido es la sensación auditiva cuando las ondas sonoras chocan con un obstáculo, generando movimientos vibratorios de cuerpos, el cual, se transmite por el aire. Los niveles sonoros se miden a través de la unidad denominada decibel (dB).

Una característica a tener en cuenta es la absorción acústica, el cual, en una propiedad que presentan algunos materiales. La absorción acústica mantiene un control de la reproducción del sonido. Nos referimos a un material permeable acústicamente cuando se disipa el sonido en la estructura celular, es decir, entre más recorrido deba transitar en el espesor del material.

La aislación sonora, es la técnica característica en la práctica del control del ruido. Consiste básicamente en dividir mediante barreras físicas, preferentemente con cierres totales, el sector que contiene a la o las fuentes sonoras del que se desea proteger, de tal manera que constituyan recintos estancos. En general, puede decirse que un material o combinación de materiales tienen buen comportamiento acústico, cuando son pesados e impermeables al paso del aire (Boschi et al, 2005).

A continuación, se muestra la figura 2.12 que expresa cómo se comporta el sonido cuando choca con un material aislante.



Figura 2.13 - Incidencia de una onda acústica sobre un cuerpo de elevada densidad.
Fuente: Determinación del coeficiente de aislación acústica de un muro construido con ladrillones (Boschi et al, 2005).

2.11 Propiedades mecánicas

Característica que afectan la resistencia mecánica y capacidad de los materiales cuando se les aplica una fuerza

Las propiedades mecánicas permiten diferenciar los materiales que componen la mezcla; ya sea por su composición, estructura o comportamiento, cuando estos reaccionan a efectos físicos y químicos. Las propiedades mecánicas describen los comportamientos de dureza, resistencia, tenacidad y adherencia de los materiales pétreos. (Romero & Hernández, 2014).

Dentro de las propiedades mecánicas, es crucial establecer los parámetros de resistencia a compresión y resistencia a flexión que presenta el material de construcción. La norma NCh 2123, define los parámetros de resistencia a compresión y flexión que debe establecer los ladrillos cerámicos artesanales.

2.11.1 Resistencia a compresión

Se define como la capacidad que tiene el material de soportar una carga de aplastamiento en determinada unidad de área. Se mide en variadas unidades: kg/cm2, Mpa y psi. Se requiere de la prensa a compresión para obtener la resistencia del material de ensayo.

Para la resistencia a compresión de materiales rígidos, se debe establecer el límite de fallo o fractura del material, sin embargo, en materiales maleables, se establece el límite cuando se genera una deformación de cualquier tipo en el material.

Asimismo, la resistencia a compresión sirve para evaluar el comportamiento mecánico de diversos materiales, dentro de los materiales a considerar en este estudio se encuentra los ladrillos artesanales con plástico PET. Por ello, la norma NCh 2123 define la resistencia mínima la unidad de ladrillo cerámico artesanal.

La norma NCh 2123, menciona que la resistencia mínima a la compresión de unidades de ladrillo cerámicos artesanales es de 4,0 MPa.

2.11.2 Resistencia a flexión (flexotracción)

La resistencia a flexión, es una propiedad del material que se manifiesta como esfuerzos ocurridos justos antes de ceder, consiste en flexionar por la acción de un momento flector.

Se entiende por la capacidad que tiene un material al recibir una carga puntual que va en dirección perpendicular del eje longitudinal, con dos apoyos en los extremos de su base.

Al igual que la resistencia a compresión, se requiere la prensa a compresión, sin embargo, el material presentará apoyos en la zona inferior. El punto de aplicación de carga se encuentra en la zona superior, el cual, está sometida a compresión, por otra parte, la zona inferior está sometida a tracción, sin embargo, hay una capa que no sufre compresión, tracción ni variación de la longitud del material, el cual, se le denomina capa neutra.

La norma NCh 169, menciona que la resistencia mínima a la compresión de unidades de ladrillo cerámicos es de 3,0 MPa.

Se utilizará la siguiente fórmula para determinar la resistencia a flexión de un material:

$$R = \frac{3*P*L}{2*b*h^2}$$

Donde:

R: Tensión de rotura en MPa

P: carga máxima en N

L: Luz de ensayo en mm

b: Ancho de la sección rota en mm

h: Altura de la sección rota en mm

2.12 Ensayos

Los ensayos son pruebas que se le hacen a los si los materiales funcionan o bien para hacer estudios sobre si un material obtiene o no el resultado esperado en diferentes estudios.

2.12.1 Murete de ensayo

El murete de ensayo es un pequeño muro que esta normado a través de la norma NCh 2123, para poder someterlo a diferentes ensayos que en el presente estudio son resistencia térmica y aislación acústica.

Este murete debe tener como dimensiones mínimas 60 x 60 cm, y el espesor en este estudio será de 5 cm, el espesor del mortero de junta será de 1 cm y solo se le pueden realizar ensayos después de 28 días desde la confección de los ladrillos y 7 días más desde la confección del muro, tal como se indica en la figura 2.14.

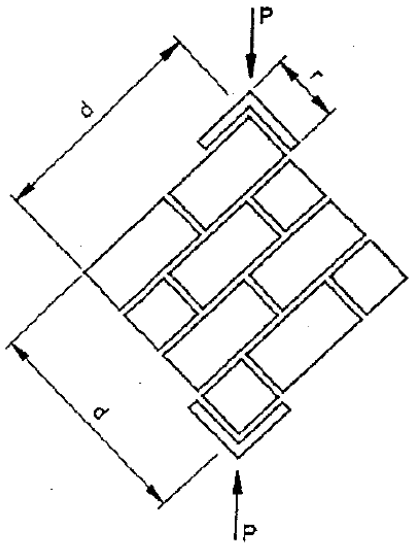


Figura 2.14 – Murete de ensayo de albañilería

Fuente: Norma chilena “Albañilería confinada – Requisitos de diseño y cálculo” (NCh 2123, 1997).

2.12.2 Prensa de compresión

Es una máquina que tiene un cabezal para comprimir, este aparato sirve para realizar múltiples ensayos como compresión tradicional, compresión axial, flexión, etc.

El usuario es quien establece todo el funcionamiento de este equipo, ya que el cabezal baja a una velocidad constante que se establece previamente, dependiendo del ensayo es cual se determinará, debido a que cada norma de cada material indica sus propias reglas.

La máquina comprime el material a estudiar y luego entrega un gráfico de cargas que muestra la resistencia máxima, la carga máxima recibida, etc.

a) Criterios de aceptación de la Prensa:

Según la norma chilena (NCh 1038, 2009) la prensa debe cumplir ciertos criterios de aceptación para poder ser utilizada en los ensayos y se detallan a continuación:

i. Debe tener la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de resultados.

ii. La sensibilidad de la prensa debe ser tal que la menor división de la escala de lectura sea menor o igual que 1% de la carga máxima.

iii. La exactitud de la prensa debe tener un error de +/- 1% de la carga dentro del intervalo utilizable de la(s) escala(s) de lectura.

iv. En general el rango utilizable se considera comprendido entre el 10% y 90% de la lectura máxima en la respectiva escala de lectura, sin embargo, el rango utilizable queda definido en el certificado de calibración. La calibración se debe efectuar con una frecuencia no mayor que 12 meses.

v. Las prensas de ensayo se deben calibrar cada vez que se efectúe una reparación y cada vez que se efectúe un traslado de la misma.

A continuación, se muestra la figura 2.13 de una prensa a compresión.



Figura 2.15 – Prensa de compresión

Fuente: Evaluación a lo largo del tiempo de las propiedades mecánicas de los bloques de suelo-cemento utilizados en pavimentos semipermeables (Carvalho, et al; 2015)

2.12.3 Cámara térmica

La cámara térmica es un equipo de laboratorio especializado para determinar el comportamiento térmico del material de ensayo. Es un medidor de calor, en el que una muestra de ensayo se somete a un salto térmico entre sus caras midiéndose las diferencias de calor a través de la misma. Una vez que se alcanza el estado estacionario es posible determinar la conductividad térmica y en apoyo de otras fórmulas se puede calcular la resistencia térmica.

2.12.4 Máquina trituradora de plástico

La máquina trituradora de plástico como se muestra en la figura 2.14 es un equipo eléctrico que en la parte superior tiene una especie de bandeja para depositar plásticos que se deseen triturar, dentro lleva unas cuchillas que giran en altas velocidades para triturar los materiales.



Figura 2.16 – Máquina trituradora de plástico
Fuente: Propiedades físico - mecánicas de los ladrillos de tereftalato de polietileno para el diseño de viviendas unifamiliares en Ate-Huaycán (Alvares, Bartolo; 2020)

a) Características de la trituradora de plástico:

Potencia: 30hp
Dimensión de la cámara de trituración: 820mmx470mm
Cuchillas giratorias: 24/12
Hojas fijas: 4
Capacidad de trituración: 700-800kg
Tamaño: 1600x1380x2030mm
NW.: 1450 kg

2.12.5 Tamiz

Los tamices para pruebas de laboratorio son un utensilio fabricado por una malla metálica sujeta a un aro conocido como cedazo o tamiz, el cual separa las partes finas de las gruesas con

una gran exactitud por lo cual las mallas tienen que ser perfectas ya que su aplicación es para pruebas de granulometría.

Las mallas o tamices se pueden utilizar en las pilas, para dividir los granos en varias fracciones de tamaño así poder determinar las distribuciones de tamaño de partícula.

Cada malla o tamiz es representado por un número que indica la cantidad de hilos cruzados por cada pulgada cuadrada, por ejemplo: la malla número 8, tiene 8 hilos verticales y 8 hilos horizontales, formando una cuadrícula por cada pulgada cuadrada.

En la figura 2.15 se muestra lo que vendrían siendo los tamices de laboratorio.



Figura 2.17 – Tamices de laboratorio

Fuente: Utilización de caucho pulverizado proveniente de llantas en bases estabilizadas con suelo – cemento sustituyendo la franja granulométrica entre el tamiz N°30 y N°80 (Cruz, Díaz; 2015)

3. METODOLOGÍA

3.1 Plan metodológico

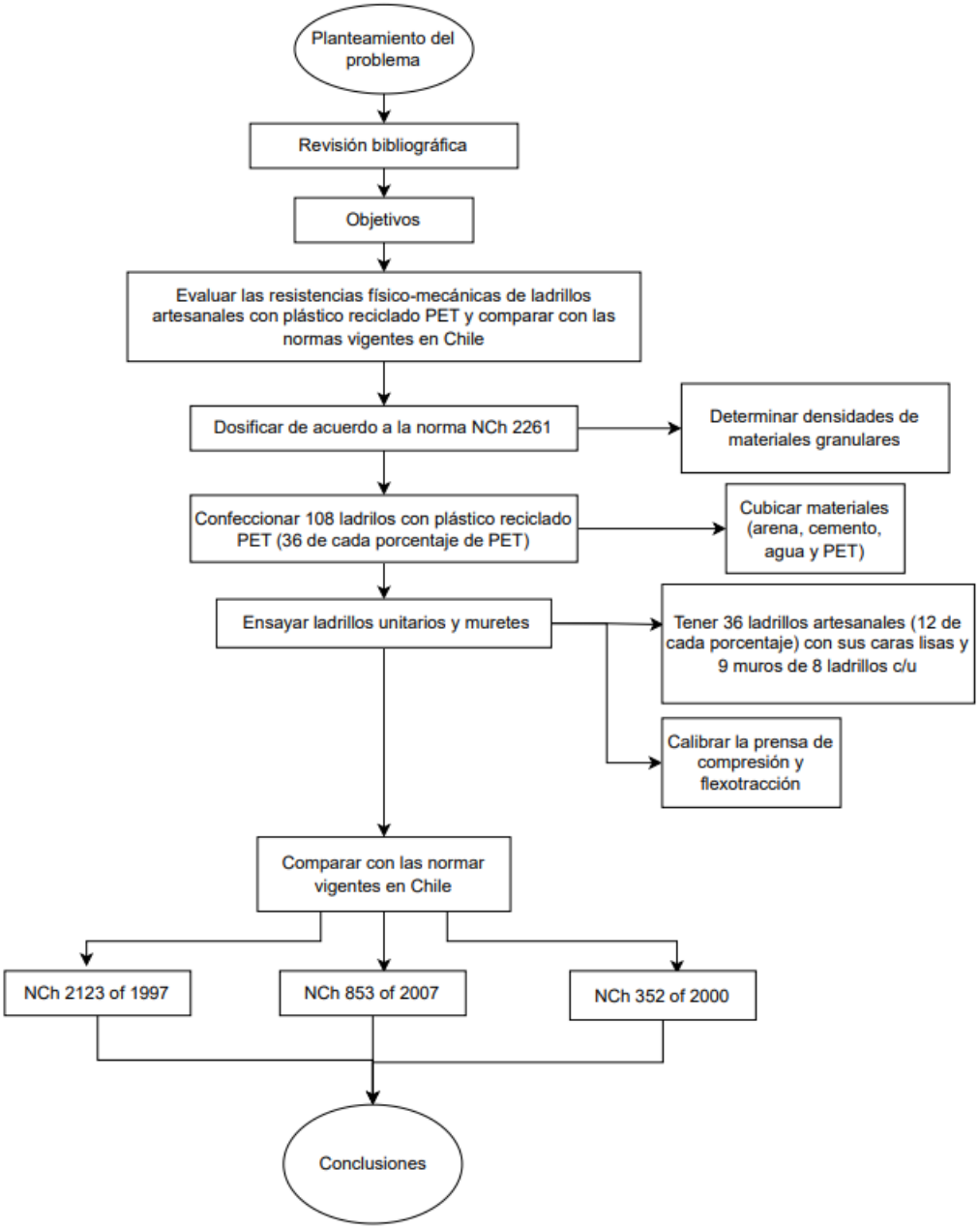


Figura 3.1 – Flujograma del plan de trabajo

Fuente: Creación propia (2023)

3.2 Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación será aplicada, ya que se busca ver si existe la factibilidad física y mecánica para crear un elemento que pueda ser de utilidad, en este caso ver si es posible la realización de ladrillos incorporando tereftalato de polietileno reciclado.

El diseño del presente estudio será de carácter experimental, ya que, existen variables en la investigación y estas son controladas, en este caso son los materiales que se utilizan para fabricar los ladrillos y son controlados en los porcentajes que se le agregaran a la mezcla en fresco. Luego, se debe observar que efecto producen estas variables, en este caso observar de qué manera alteran o mantienen las propiedades físico-mecánicas que se estudiarán en los ladrillos. Además, hay una hipótesis previamente indicada en la investigación, que se observará si se cumple o no.

El enfoque que tendrá esta investigación será cuantitativo, porque es un estudio que para poder obtener resultados y conclusiones requiere de mediciones, realizando estudios, donde como se mencionó anteriormente está la existencia de una hipótesis.

3.3 Variables

3.3.1 Variable independiente

Se considerará como variable independiente la cantidad de tereftalato de polietileno reciclado representado en porcentaje que reemplaza en volumen a la arena que se aplicará a la mezcla para confeccionar los ladrillos. Este residuo se encuentra en botellas y algunos envases de limpieza y cocina, es reconocible por su símbolo, un triángulo con flechas donde en el centro lleva el número 1, o bien debajo lleva la palabra “PET”, en este estudio el residuo que se utilizará es exclusivamente de botellas de tereftalato de polietileno trituradas.

3.3.2 Variables dependientes

Se considerará como variables dependientes las propiedades físico-mecánicas, en este caso serán: resistencia térmica, aislación acústica, resistencia a compresión y flexión de los ladrillos, en donde todos estos resultados dependerán del porcentaje de tereftalato de polietileno triturado que se le agregue a la mezcla.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

Para realizar este estudio se requiere de una población de 108 ladrillos compuestos con una fracción de tereftalato de polietileno, donde se van a distribuir en diferentes grupos para someterlos a los diferentes ensayos que se estudiarán en esta investigación.

3.4.2 Muestra

En total existen 45 muestras, ya que el total de los ladrillos se van a distribuir por ensayos a realizar, donde serán 36 ladrillos que se someterán a diferentes ensayos de forma unitaria, y 9 muros que se componen de 8 ladrillos cada uno para ser sometidos a otros ensayos.

A continuación, se muestra la tabla 3.1 con la factorial de ensayo como se van a distribuir cada uno de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET.

CANTIDAD DE LADRILLOS

ENSAYO	LADRILLO	ENSAYO (TIEMPO)		TOTAL DE LADRILLOS
		7 DÍAS	28 DÍAS	
Resistencia a compresión	Con 22% PET	3	3	6
	Con 32% PET	3	3	6
	Con 42% PET	3	3	6
Resistencia a flexión	Con 22% PET	3	3	6
	Con 32% PET	3	3	6
	Con 42% PET	3	3	6
Resistencia térmica/aislación acústica	Con 22% PET		3	24
	Con 32% PET		3	24
	Con 42% PET		3	24
TOTAL				**108**

Tabla 3.1 – Factorial de ensayo

Fuente: Creación propia (2023)

3.5 Materiales

Para la confección de cada ladrillo se requiere de 4 materiales que son fundamentales. Primeramente, tenemos el Cemento Melón especial, este material será el que le de resistencia y unifique en conjunto con el agua las partículas participantes de esta mezcla, se utilizará el cemento que muestra en la figura 3.1



Figura 3.2 – Cemento especial Melón
Fuente: Empresa Easy

En segundo lugar, se utilizará para la mezcla como segundo material, Arena gruesa del río Maipo, la cual permitirá servir de base para que el cemento hidratado pueda tomar mayor consistencia y densidad, debido a la interacción de las partículas finas de la arena y las del cemento, al tener un tamaño similar. En este estudio, se utilizará arena gruesa como la que se muestra en la figura 3.2, ya que será usada en albañilería.



Figura 3.3 – Arena gruesa de 5 mm RIO MAIPO
Fuente: Empresa Easy

Como tercer material, y el más importante para esta investigación, se tiene botellas de tereftalato de polietileno como la figura 3.3, las cuales pasarán por un proceso de trituración y se utilizarán los trozos de tereftalato de polietileno reciclado menores o iguales a 4,75 mm como en la figura 3.4, para que exista una buena compactación entre todas las partículas que se mezclarán.



Figura 3.4 – Botella de agua mineral vital hecha PET
Fuente: Creación propia (2023)



Figura 3.5 – PET triturado
Fuente: Creación propia (2023)

Y finalmente, y no menos importante, se utilizará agua potable que se ve en la figura 3.5, para mezcla e hidratar los componentes secos durante la producción de hormigón. Tiene como función unir el cemento con el PET y arena de la mezcla, formando así, una pasta homogénea con una consistencia adecuada para que obtenga una buena trabajabilidad de la mezcla, en este caso, al hablar de confeccionar ladrillos se requiere de una razón agua/cemento baja, ya que de acuerdo a un asentamiento de cono el mortero que se desea no debe ser para nada fluido.



Figura 3.6 – Agua potable
Fuente: Creación propia (2023)

3.5.1 Recolección de tereftalato de polietileno:

En el presente estudio, se realizarán ladrillos artesanales con plástico reciclado PET, donde el tereftalato de polietileno estará en tres porcentajes diferentes dentro de la mezcla de cada uno de los ladrillos, en 22%, 32%, y 42%, es por eso que se requieren de botellas de PET para utilizarlas en este estudio.

Para poder obtenerlas, se puso un balde con la frase “depositar solo botellas” en la escuela de San Antonio “Elum kimu”, para que todos los estudiantes y funcionarios de esta escuela botaran sus botellas en este punto, cada semana se fue recolectando las botellas juntadas.

En segundo lugar, se informó a toda la gente cercana, que no botaran sus botellas plásticas, y que las guardaran para poder incluirlas en este estudio.

Hay que considerar que las botellas se aplican a la mezcla trituradas, es decir, deben pasar un proceso, en este caso se realizará un reciclaje mecánico, en otras palabras, primeramente, se lavarán estas botellas, luego se secarán sin dejar ni una sola gota de líquido, se procede a triturar las botellas con una máquina trituradora que deja trozos laminados de PET.

Una vez se tienen todos estos trozos se tamizarán para considerar los trozos iguales o menores a 4,75 mm.

Estos se volverán a lavar y a secar para poder tenerlos como materia prima listos para aplicarlas a una mezcla para confeccionar ladrillos artesanales con plástico reciclado PET.

3.6 Confección del molde:

Un ladrillo artesanal en Chile por lo general mide 28,5 x 14 x 5 cm, la norma NCh 2123 permite una tolerancia de dimensión como se muestra en la tabla 3.2.

Tolerancias dimensionales, mm	Largo y ancho	± 8
	Espesor	± 10
Tolerancias de planeidad, mm	± 10	

Tabla 3.2 – Tolerancia en las dimensiones y en la forma de las unidades de ladrillos cerámicos artesanales.

Fuente: Norma chilena “Albañilería confinada – Requisitos de diseño y cálculo” (NCh 2123, 1997).

Por este motivo, se tuvo que confeccionar un molde que permitiera fabricar ladrillos artesanales con las dimensiones mencionadas anteriormente, para esto se utilizaron 4 láminas de acero galvanizado, las cuales fueron cortadas en 2 dimensiones, 14,2 x 5, cm y 28,7 x5 cm, estas se unieron soldando las aristas y formando un rectángulo que en las esquinas tuvieran 90°, además se le soldó en los extremos una pequeña lámina de acero que actuarán como “manillas” para desmoldar de manera sencilla los ladrillos una vez fabricados.

El molde quedó en su interior con las dimensiones 28,5 x 14 x 5 cm, tal como se muestra en la figura 3.6.



Figura 3.7 – Molde de acero para la confección de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET. Fuente: Creación propia (2023)

3.7 Procedimiento de la confección del ladrillo artesanal con plástico reciclado PET

Primero que todo se debe realizar una granulometría para cada una de las mezclas de los ladrillos que se van estudiar, en este caso para las que tengan incorporado 22%, 32% y 42% de PET respectivamente, para así evaluar el tamaño de las partículas de cada uno de los materiales que se usarán y asimismo poder realizar una curva granulométrica de este mismo material, en representación del peso que pasa de cada material por cada uno de los tamices.

El proceso para realizar la granulometría consiste en hacer un sistema de cuarteo, es decir, se pone una gran cantidad del material y se divide en cuatro, sacando las partes opuestas, hasta obtener una cantidad que caiga adecuadamente en los tamices. En este caso el tamiz más grande será el de 4,75 mm, ya que, tanto la arena como el PET tienen tamaños de partículas similares, y no son superior a 5 mm, entonces se aplica el material a la torre de tamices que van en un orden de 4,75 mm hasta 150 um, desde donde se aplica el material, entonces se va registrando en peso el material retenido en cada uno de los tamices para luego confeccionar una tabla en Excel con los datos registrados y así obtener una curva granulométrica para evaluar su comportamiento.

Luego, se determinará la densidad tanto de la arena como del PET triturado, de este modo se obtendrá un dato clave para determinar la dosificación más adelante de los morteros que se quieren realizar para la confección de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET. Este proceso se hace comenzando por secar el material, si se habla de arena debe someterse 24 hrs en el horno para

poder ensayarla, luego se debe sacar una muestra a través del sistema de cuarteo, y se procede a obtener la densidad aparente suelta, donde se aplica el material de a poco a una altura de 5 cm sobre el recipiente, el cual tiene un volumen determinado, entonces luego se pesa y se puede determinar esta densidad, este proceso debe hacerse 3 veces para luego determinar un promedio de la densidad aparente suelta.

Para obtener la densidad aparente apisonada, se saca una muestra seca de material por sistema de cuarteo y se aplica un tercio al recipiente, donde luego se le da 25 golpes con un tubo de acero, luego se rellena otro tercio y se golpea 25 veces más, y finalmente el último tercio y se da 25 golpes más, para después pesar el material y poder obtener esta densidad este proceso debe hacerse 3 veces para luego determinar un promedio de la densidad.

Teniendo todos estos datos, se realizará una dosificación de cada uno de los morteros que se quieren realizar, en este caso que a lo menos resistan 20 MPa, por los estudios pasados, estas dosificaciones se harán de acuerdo a la norma chilena NCh 170 of 2016, y para los morteros con 22%, 32% y 42% de PET, es decir, serán tres dosificaciones diferentes para cada uno.

Una vez hechas las dosificaciones se puede proceder a realizar las mezclas para los morteros, ya que se obtendrá la cantidad de cada uno de los materiales que se utilizarán para la confección de estos morteros.

Hay que considerar que, previamente debe instalarse un pliego de nailon en un lugar horizontal con grado 180° y totalmente liso, de medidas 2x2 m, ya que acá se dejarán los ladrillos secar.

Entonces, una vez confeccionadas las mezclas se aplica desmoldante para metal por todo el contorno interior del molde y luego se rellena el molde y se apisona para que esta se compacte bien y obtenga la forma de un ladrillo perfecto, este molde se puede retirar de inmediato. Así, se repite el proceso hasta confeccionar el total de los ladrillos.

18 de estas probetas se dejarán reposar por solo 7 días para medir tanto su resistencia a flexión como compresión.

Y el resto de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET se dejarán reposar por 28 días para poder ensayarlos.

Hay que tener en consideración que 72 ladrillos serán utilizados para hacer muretes de ensayo, en este caso luego de los 28 días se confeccionará una mezcla de mortero de junta, tal como establece la norma NCh 2123.

Los ladrillos serán unidos por este mortero de junta formando así 9 muretes de 60 x 60 cm donde habrá muretes de 22%, 32% y 42% respectivamente, estos se dejarán secar por 7 días antes de ser sometidos a cualquier ensayo.

3.8. Dimensiones de ladrillos:

Todos los ladrillos de la población tendrán la misma dimensión, y fueron escogidas de acuerdo norma NCh 2123 en el punto “ladrillos artesanales”, ya que los resultados de los ensayos de los ladrillos con tereftalato de polietileno serán directamente comparados con esta norma.

Las dimensiones que tendrá cada uno de los ladrillos es 28.5 x 14 x 5 cm como se muestra en la figura 3.7 y se distribuirán en 3 grupos de 36 ladrillos, que tendrán diferentes porcentajes de tereftalato de polietileno incorporado en la mezcla, estos son 22%, 32% y 42%.

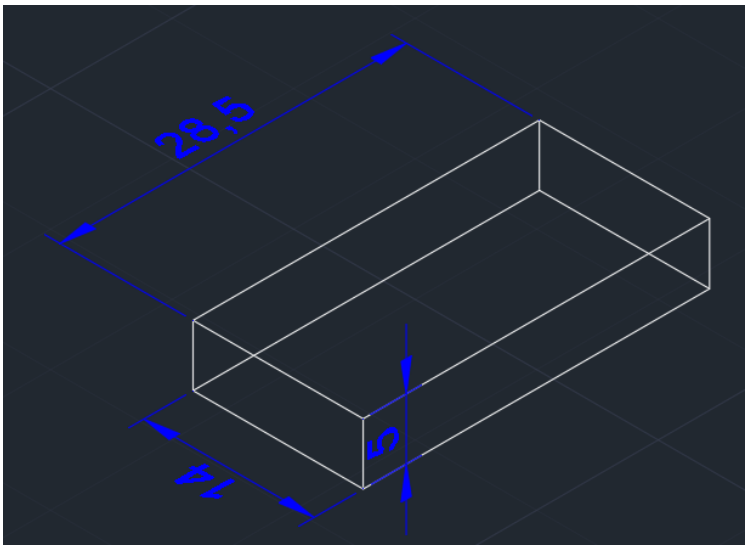


Figura 3.8 – Dibujo del ladrillo artesanal con plástico reciclado PET dimensionado.
Fuente: Creación propia (2023)

3.9 Método y análisis de datos para ladrillos unitarios:

Se estudiarán las propiedades físico-mecánicas, específicamente la resistencia a compresión, resistencia a flexo tracción, resistencia térmica y aislación acústica de los ladrillos con plástico reciclado tipo PET, y ver si mantienen, superan o pierden estas propiedades en comparación a los ladrillos artesanales descritos en la norma NCh 2123, para ello se realizarán 108 unidades de albañilería, en donde serán distribuidas en grupos, donde algunos serán medidos en ensayo por unidad como el de resistencia a compresión y resistencia a flexión y otras serán utilizadas en muretes de 60 x 60 cm para los ensayos de resistencia térmica y aislación acústica, de modo que estas muestras se ensayen en el laboratorio con los equipos pertinentes para obtener los datos que se requieren e irlos registrando en una tabla mediante el software Excel.

En primer lugar, se ensayarán 36 ladrillos en formato unitario. Después de 7 días desde su confección se ensayarán los primeros 18 ladrillos, las pruebas que se le harán son dos, es decir, 9 ladrillos artesanales con plástico reciclado PET serán sometidos a un ensayo de resistencia a compresión y los otros 9 a un ensayo de resistencia a flexo tracción.

Los otros 18 ladrillos se ensayarán a los 28 días desde su confección, y también serán sometidos a ensayos de resistencia a compresión y resistencia a flexión, estas dos pruebas se harán tal y como indican las normas, a continuación, se explicarán paso a paso los procedimientos a realizar.

3.9.1 Procedimiento ensayo a compresión:

Primero que todo, al ser ladrillos artesanales, la norma NCh 2123 indica que estas probetas deben cortarse en mitades de modo de obtener una sección cuadrada para las caras de aplicación de la carga a compresión.

En segundo lugar, se debe limpiar las superficies de apoyo de la máquina compresora, y también las caras donde se le aplicará la carga a los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET, retirando cualquier elemento suelto que pueda existir sobre estos ladrillos. Las probetas se colocarán en el centro de las placas de la máquina de ensayo.

Una vez apoyado el ladrillo de ensayo en las placas del equipo, se aplica una carga de esfuerzo normal a una velocidad de carga no superior a 20 MPa/min, esperando la rotura del material. La máquina compresora entregará una lectura en formato de gráfico de carga, indicando la resistencia máxima donde se muestra en el “eje y” la carga aplicada y en el “eje x” el tiempo que tardó, estas lecturas deben aproximar en +/- 1%, y estos datos deben registrarse en una planilla del software “Excel”.

A continuación, se muestran las figuras 3.8 y 3.9, de un ensayo a compresión.



Figura 3.9 – Ensayo a compresión

Fuente: Propiedades físico - mecánicas de los ladrillos de tereftalato de polietileno para el diseño de viviendas unifamiliares en Ate-Huaycán (Alvares, Bartolo; 2020)

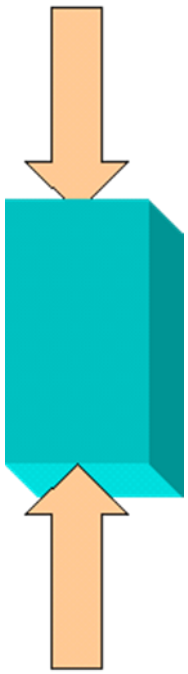


Figura 3.10 – Dibujo de la aplicación de fuerzas a compresión

Fuente: Sistema de compresión de biogás y biometano (Souza, Schaeffer; 2013)

3.9.2 Procedimiento de ensayo a flexión:

Todos los pasos que se nombrarán a continuación están especificados en la norma chilena (NCh 1038, 2009).

Primero que todo se debe limpiar la cara de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET que se ensayarán y medir la luz de ensayo, en este punto se debe cumplir el siguiente criterio que ya había sido mencionado anteriormente en el marco teórico del presente estudio, ya que se le aplicará una sola fuerza central y el ladrillo tendrá 2 apoyos.

A continuación, se muestra la figura 3.10 que explica cómo debe ser la posición de los apoyos y el punto de carga sobre la probeta que se va a ensayar.

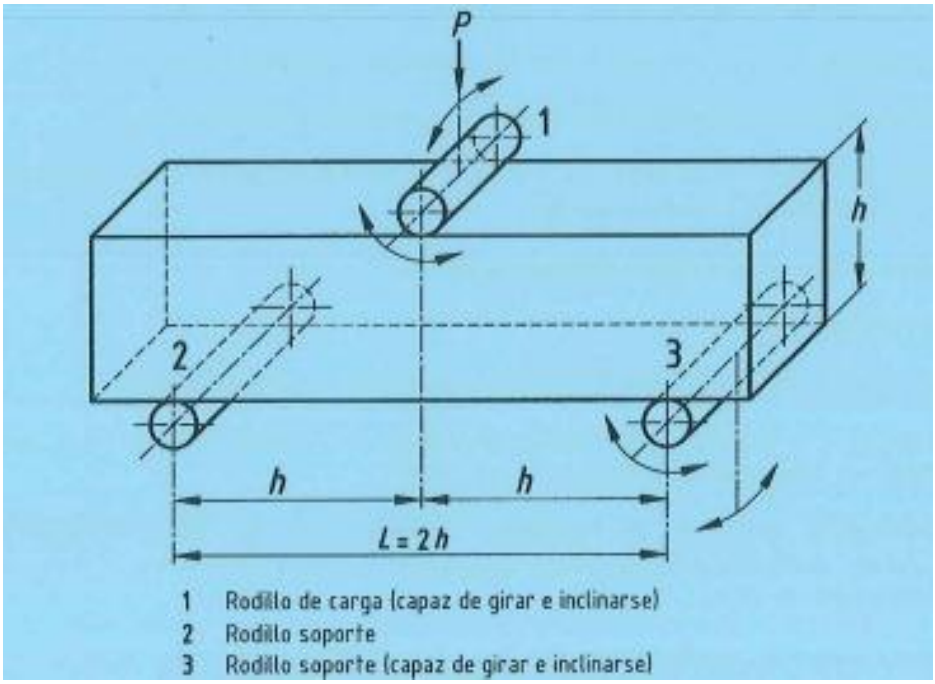


Figura 3.11 – Ensayo a compresión por norma
Fuente: Hormigón – Ensayo de tracción por flexión (NCh 1038, 2009)

La distancia entre cada línea de apoyo y el extremo más cercano de la probeta debe ser mayor o igual que 2,5 cm, entonces se miden los puntos en que irán los apoyos, y trazar rectas finas con mucha suavidad, sin que pueda alterar la forma de la probeta, las secciones en donde irán los apoyos y el punto de carga.

Luego, el ladrillo artesanal con plástico reciclado PET se debe pesar en kg, y además medir el largo del eje horizontal del ladrillo artesanal con plástico reciclado PET, y expresar estas medidas en mm.

Se procede a limpiar la superficie de los elementos de apoyo y de carga, y todas las zonas que tendrán contacto con la probeta y luego colocar el ladrillo en los puntos de apoyo que se habían marcado anteriormente, donde la separación entre la probeta y los elementos de apoyo debe ser menor o igual a 0,1 mm. En el caso que este rodeando entre los 0,1 mm y 0,4 mm de separación se acepta colocar láminas de cuero o algún material sintético.

Proceder a aplicar cargas de forma continua, sin choques y a una razón uniforme entre 0,86 MPa/min y 1,21 MPa/min. Donde a medida que se realice el ensayo la prensa entregará un gráfico de carga, donde evidenciará las cargas máximas, en este punto debe volver a medirse el ladrillo tal como muestra la figura 3.11.

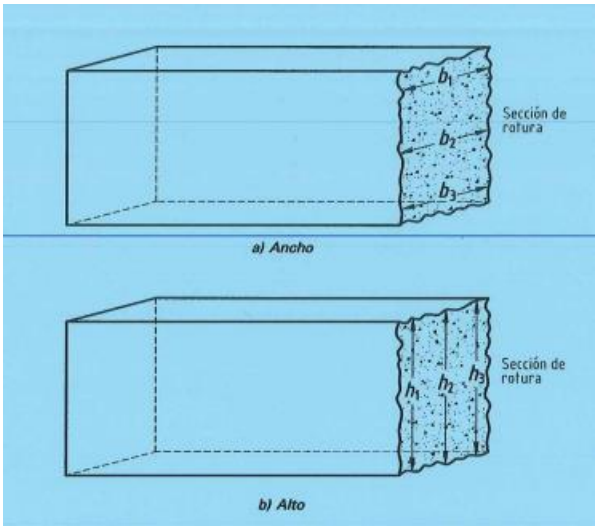


Figura 3.12 – Medición en la sección de rotura de las probetas
Fuente: Hormigón – Ensayo de tracción por flexión (NCh 1038, 2009)

Luego debe insertarse los datos en la fórmula detallada en el marco teórico para calcular la resistencia de flexión:

$$R = \frac{3*P*L}{2*b*h^2}$$

Ecuación 3.11.1 Determinación de resultado de resistencia a flexión

A continuación, se muestran las figuras 3.12 y 3.13, que muestran un ensayo a flexión.



Figura 3.13 – Ensayo de flexión

Fuente: Propiedades físico - mecánicas de los ladrillos de tereftalato de polietileno para el diseño de viviendas unifamiliares en Ate-Huaycán (Alvares, Bartolo; 2020)

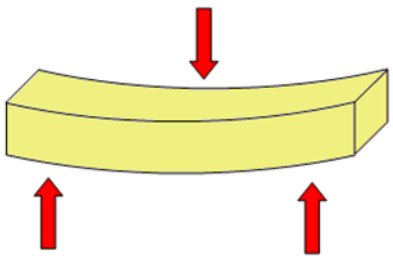


Figura 3.14 – Dibujo de la fuerza a flexión aplicada a un material

Fuente: Análisis del comportamiento a flexión de muros de adobe reforzados con geomallas (Solís, et al; 2015)

3.10 Métodos y análisis de datos para muretes de ensayo:

Considerando que ya se habrán ensayado 36 ladrillos, en este punto se tomarán en cuenta los 72 ladrillos restantes.

Una vez que hayan pasado 28 días desde la confección de los ladrillos, se realizarán 9 muretes de ensayo de 60 x 60 cm, entonces se debe realizar una mezcla de mortero de junta tal como indica la norma NCh 2123 y el marco teórico, con esto se unificarán los ladrillos con plástico reciclado PET, el mortero se aplicara con un espesor de junta de 10 mm, una vez confeccionados los muros deben dejarse reposar por otros 7 días antes de someterlos a cualquier tipo de ensayo.

3.10.1 Procedimiento de ensayo de resistencia térmica

Una vez que el murete de ensayo haya cumplido los 7 días desde su confección, se procede a realizar el primer ensayo a los primeros 3 muretes, en este caso será de resistencia térmica.

Para este ensayo se debe limpiar el murete en todos los espacios. Luego, se procede a instalar el murete de ensayo en la cámara térmica la cual dividirá los dos espacios de la cámara como se muestra en la figura 3.14, el cual en el “sector A” se aplicará temperaturas que comenzarán desde el 1°C e ira aumentando, para ver cuanta es la temperatura en °C que traspasó el material aislante hacia el “sector B” y cuanto tardó en traspasar el calor, así determinará que tan aislante es el material.

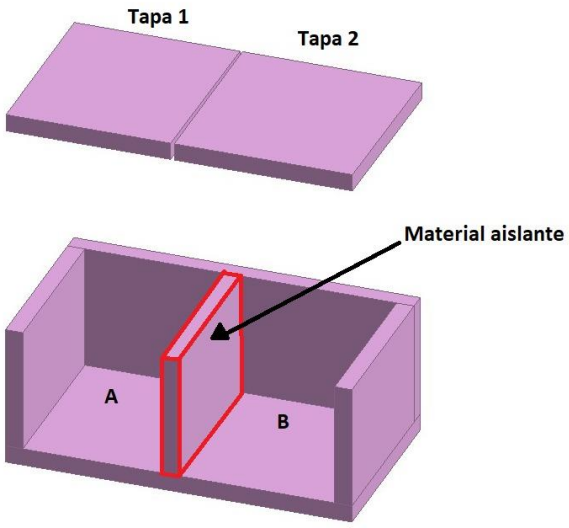


Figura 3.15 – Simulación de cómo funciona la cámara térmica
Fuente: Creación propia (2023)

El instrumento de apoyo que se usa entregará un dato en su pantalla siendo las temperaturas al iniciar el ensayo y al finalizarlo, con este dato podremos obtener la conductividad térmica, en donde luego se procederá a aplicar este dato en la fórmula planteada anteriormente en el marco teórico.

$$R = \frac{e^1}{\lambda}$$

Donde:

R: Resistencia térmica

$e^{1:}$ Espesor del material

λ: Conductividad térmica del material

Ecuación 3.10.1 Resistencia térmica

A continuación, se muestran la figura 3.16, de un ensayo de resistencia térmica.



Figura 3.16 – Ensayo de resistencia térmica
Fuente: Resistencia de materiales aplicada (Montt, et al; 1996)

3.10.2 Ensayo de aislación acústica

En este ensayo se someterán 3 muretes de ensayo, se utilizará el mismo equipo para el ensayo de resistencia térmica, es decir se utilizará una cámara térmica, con la diferencia que acá penetrará ondas de sonido en el material.

Para realizar el ensayo debe considerarse la norma NCh 352, la cual establece que el resultado obtenido en la prueba debe compararse con resultados de materiales similares al estudiado.

A continuación, se muestra la figura 3.16 de un ensayo de aislación acústica.

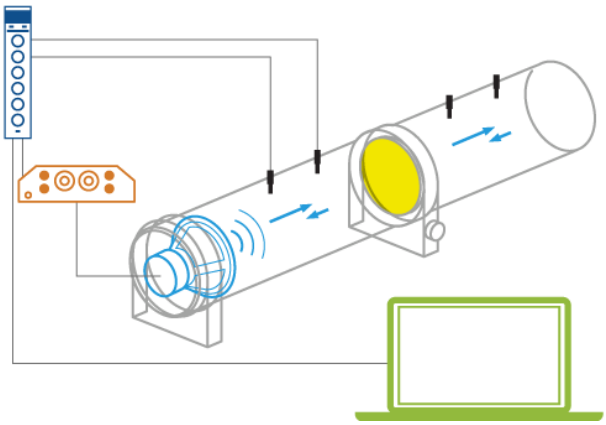


Figura 3.17 – Dibujo de ensayo de aislación acústica

Fuente: Aislación termo-acústica para tabiques en edificios de habitación (Orrego, 2008)

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente estudio, busca como objetivo principal dar a conocer los resultados de resistencia física y mecánica de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET, se medirá la compresión, flexo tracción, resistencia térmica y aislación acústica. Pero, para poder llevar a cabo todos estos ensayos hay que hacer una serie de procedimientos y estudios preliminares que ayudarán a determinar estos importantes resultados, como estudios granulométricos, determinar densidades de los materiales que se utilizarán en los ladrillos, para luego poder realizar una memoria de cálculo de dosificación para cada uno de los morteros que se realizarán, es decir, los que llevan 22%, 32% y 42% de PET por separado.

Una vez obtenidos todos estos datos, y haber realizado una correcta dosificación de acuerdo a la norma chilena NCh 170 of 2016, se puede confeccionar las mezclas de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET y realizar los ladrillos y muretes, y así, posteriormente ensayarlos en sus respectivos equipos y obtener los resultados de cada uno de los ensayos.

4.1 Resultados de granulometría y curva granulométrica

El tipo de mortero que se medirá en este estudio está compuesto por cemento especial marca Melón, arena gruesa del río Maipo, PET triturado y agua. Para conocer los materiales granulados se debe realizar un estudio granulométrico, para saber así el tamaño de las partículas con las que se trabajará y que serán sometidas a este estudio y, además, que formarán parte de la confección del ladrillo artesanal con plástico reciclado PET. Entonces, este estudio debe hacerse solo a materiales granulares, por lo cual, deben realizarse en total 5 estudios granulométricos.

Entonces, primeramente, se debe tener ambos materiales granulares y en estado seco, es decir, la arena debe estar totalmente seca y para esto debe dejarse en el horno por 24 hrs, y el PET ya debe estar triturado, porque este será el formato que se usará como materia prima. A continuación, se muestra el proceso de transformación del PET como residuo a materia prima.

4.1.1 Proceso de transformación del PET como residuo a materia prima

El PET como se hablado anteriormente, es un polímero que se encuentra en diferentes envases, como agua, bebidas, jugos, productos de limpieza, etc. y se encuentra con el símbolo de un triángulo y un “1” dentro o bien, con la sigla PET en cada uno de los envases.

Luego, se consideró que aproximadamente se usarían 6 botellas de 1 litro por ladrillo. Entonces, se hizo el siguiente cálculo para saber cuántas botellas se necesitarían en total:

6 X 108= 648 botellas

Que en peso serán:

1 botella = 0,041 kg

848 botellas X 0,041kg = 26,568 kg

Una vez recolectadas estas 648 botellas, se puede proceder al proceso de reciclaje, todas estas botellas serán lavadas, y secadas en su totalidad, para luego quitarles la etiqueta y la tapa, de modo que solo quede plástico tipo PET para insertarlo en la máquina trituradora. Luego, esta botella debe arrugarse como indica la figura 4.1, ya que las cuchillas que están dentro del equipo trituran más fácil el material en este formato, una botella sin arrugar, es decir, en su forma original queda rodando mucho tiempo entre las cuchillas antes de que lo tome y comience su proceso de trituración.



Figura 4.1 – Formato en que debe estar la botella de tereftalato de polietileno para introducirla a la máquina trituradora.

Fuente: Creación propia (2023)

Las botellas serán introducidas a la máquina y se deja una fuente debajo de este equipo, para que ahí se deposite el material triturado, a medida que se van introduciendo las botellas, irá saliendo por debajo de manera triturada como se muestra en la figura 4.2.



Figura 4.2 – Proceso de trituración de botellas plásticas
Fuente: Creación propia (2023)

Una vez, la fuente se llene, se procede a pesar el material e introducirlo en una bolsa para trasladarlo al lugar en donde se confeccionarán los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET.

Este proceso es bastante interesante, ya que, en lo personal uno nota la transformación de un objeto que se conoce como residuo, es decir una botella que anteriormente tenía un solo uso que es, mantener un líquido, que cuando se acaba se bota la botella a la basura y uno cree que su vida útil termina ahí, y solo hay que esperar a que se degrade. Pero, en este proceso de reciclaje, pasa de estar entera a ser plástico triturado y posteriormente será incorporado a una mezcla de mortero, o sea, se le da a este residuo una vida útil nuevamente, es decir, se transforma en materia prima.

Una vez, que tenemos nuestros 2 materiales granulares que serán sometidos a un estudio granulométrico, es decir, la arena en estado seco y el PET triturado seco se puede proceder con este primer estudio.

Hay que considerar que todos los porcentajes de materiales que se medirán en estos estudios son en volumen, es decir que las mezclas que existen en el siguiente punto están reemplazadas en volumen. A continuación, se explican los 5 estudios que se realizarán.

El primer ensayo se debe realizar a la arena en un 100%, el segundo al PET triturado en un 100% y además debe hacerse estudios granulométricos a ambos en conjunto en 3 estudios diferentes, es decir, en la misma forma en que estarán incorporados en el ladrillo artesanal.

Entonces, el tercer ensayo será a una mezcla de 78% de arena y 22% de PET triturado, en el cuarto estudio, una mezcla de 68% arena y 32% PET triturado y finalmente el quinto ensayo será a una mezcla donde habrá 58% arena y 42% PET triturado.

4.1.2 Resultados de granulometría y curva granulométrica de la arena en un 100%

Primero que todo, se obtuvo una muestra de 1060,4 g de arena que estuvo 24 hrs en el horno antes de hacerse el estudio, y se toma una muestra hecha con un sistema de cuarteo, luego se aplicó en los tamices, haciendo pasar la arena por cada uno y se registró el material retenido en peso en cada uno de los tamices que se ven en la figura 4.3, comenzando por el tamiz 4.75 mm, cada material retenido que fue pesado se deja en montoncitos, de modo que no tope con los otros como se muestra en la figura 4.4, donde la tabla 4.1 muestra en la parte izquierda los tamices que se utilizaron, su número y los milímetros de los orificios de cada tamiz. En la parte derecha de la tabla se muestra el peso retenido en cada uno de los tamices, el porcentaje retenido y el acumulado, además el porcentaje de material que paso por cada uno de los tamices que se utilizaron para hacer este ensayo.



Figura 4.3 – Tamices que se utilizaron para estudio granulométrico de arena gruesa del río Maipo y PET triturado.

Fuente: Creación propia (2023)



Figura 4.4 – Arena gruesa del río Maipo separada por sus diámetros de partículas.
Fuente: Creación propia (2023)

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO					
ENSAYO DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
Tamaño máximo 4,75mm	Peso seco (g): 1060,4				
Altura del tamiz		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje pasante (%)
(N°)	(mm)				
4	4,75	78,7	7,42	7,42	92,58
8	2,36	111,2	10,49	17,91	82,09
16	1,18	273,4	25,78	43,69	56,31
30	0,6	299,8	28,27	71,96	28,04
50	0,3	179,1	16,89	88,85	11,15
100	0,15	77,3	7,29	96,14	3,86
Residuos	Residuos	40,9	3,86	100,00	0,00
Total		1060,4	100,00	100,00	0,00

Tabla 4.1 – Resultados del ensayo granulométrico de arena gruesa del río Maipo.
Fuente: Creación propia (2023)

Luego de tener los datos en Excel se procede a realizar una curva granulométrica, a continuación, se muestra la figura 4.5 que demuestra cómo se comporta la curva granulométrica de la arena gruesa del río Maipo, donde en el eje x muestra la abertura del tamiz por el que pasó el material, y en el eje y se observa el material pasante en porcentaje.



Figura 4.5 – Curva granulométrica de arena gruesa del río Maipo
Fuente: Creación propia (2023)

Luego se realiza un ancho de banda de la arena para comparar si esta arena está dentro de estas dos curvas límites, donde los valores se muestran en la tabla 4.2, que, a la izquierda, en la primera columna se ve el tamaño del tamiz en milímetros, luego el porcentaje de arena que pasó por cada tamiz y finalmente los datos del ancho de banda por el que debe pasar la curva granulométrica que se desea medir.

La figura 4.6 muestra el gráfico de la arena estudiada donde su curva está en color azul, y los límites del ancho de la banda están en color rojo. Acá se puede observar que la arena pasa perfectamente por estas dos curvas, excepto por su último punto, que es inferior a las dos curvas.

Tamiz (mm)	Arena	Banda arena	
4,75	92,58	95	100
2,36	82,09	80	100
1,18	56,31	50	85
0,6	28,04	25	60
0,3	11,15	5	30
0,15	3,86	0	10

Tabla 4.2 – Datos de curva granulométrica de Arena gruesa del río Maipo.
Fuente: Creación propia (2023)

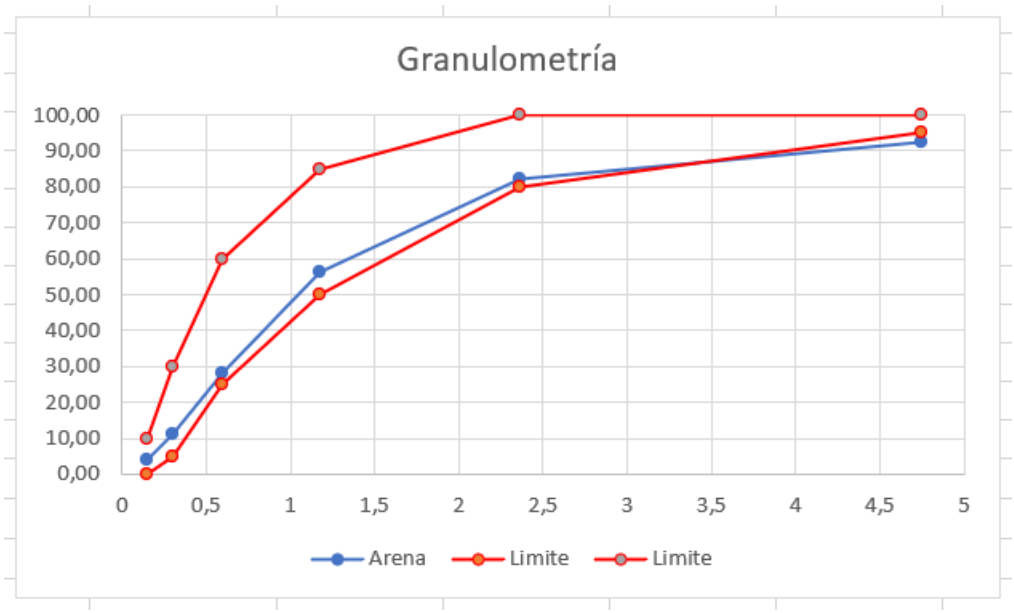


Figura 4.6 – Banda granulométrica de arena gruesa del río Maipo

Fuente: Creación propia (2023)

4.1.3 Resultados de granulometría y curva granulométrica del PET triturado en un 100%

Para hacer este ensayo se utilizó el método de cuarteo y se obtuvo una muestra de PET triturado de 344,5 g como el de la figura 4.7, que estaba en estado seco. Luego se pasó por cada uno de los tamices que se usaron este ensayo siendo el más alto el de 4,75 mm y se registró cada peso retenido.



Figura 4.7 – Muestra de PET triturado que es sometido al ensayo granulométrico.

Fuente: Creación propia (2023)

A continuación, se muestra la tabla 4.3 muestra el estudio granulométrico del PET triturado, donde en el lado izquierdo entrega información de los tamices utilizados, su número y tamaño de los orificios en cada tamiz, y a la derecha indica cuanto peso retenido de PET triturado hubo, esta misma información en porcentaje, el porcentaje acumulado y por último el porcentaje pasante del material estudiado, estos últimos datos se utilizarán para confeccionar la curva granulométrica de este material.

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO					
ENSAYO DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
Tamaño máximo 9,5mm	Peso seco (g): 344,5g				
Altura del tamiz		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje pasante (%)
(N°)	(mm)				
4	4,75	11	3,19	3,19	96,81
8	2,36	208,1	60,41	63,60	36,40
16	1,18	100,9	29,29	92,89	7,11
30	0,6	16,2	4,70	97,59	2,41
50	0,3	4,5	1,31	98,90	1,10
100	0,15	2,4	0,70	99,59	0,41
Residuos	Residuos	1,4	0,41	100,00	0,00
Total		344,5	100,00	100,00	0,00

Tabla 4.3 – Resultados de ensayo granulométrico de PET triturado.
Fuente: Creación propia (2023)

Con los datos anteriormente mostrados se realizó una curva granulométrica la cual se muestra a continuación en la figura 4.8 donde el eje x indica la abertura de los tamices en milímetros y en el eje y se muestra el porcentaje que pasa del PET triturado.

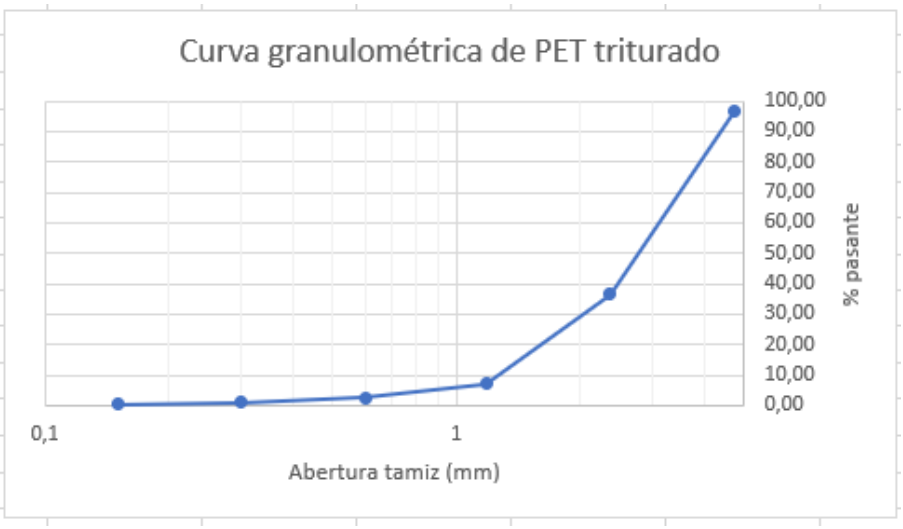


Figura 4.8 – Curva granulométrica del PET triturado.
Fuente: Creación propia (2023)

Luego se realiza un ancho de banda de la arena para comparar si el PET está dentro de estas dos curvas límites, debido a que será reemplazo de este material al momento de confeccionar los ladrillos artesanales, los valores se muestran en la tabla 4.4, que, a la izquierda, en la primera columna se ve el tamaño del tamiz en milímetros, luego el porcentaje de PET que pasó por cada tamiz y finalmente los datos del ancho de banda por el que debe pasar la curva granulométrica que se desea medir.

La figura 4.9 muestra el gráfico del tereftalato de polietileno triturado estudiado, donde, su curva está en color azul, uno de los límites del ancho de banda está en color naranja y el otro límite en color gris. Acá se puede observar que el PET no pasa por estas dos curvas, sino que es inferior a estos dos límites, entregando un resultado muy diferente al material por el cual se desea reemplazar.

Tamiz (mm)	PET	Banda arena	
4,75	96,81	95	100
2,36	36,60	80	100
1,18	7,11	50	85
0,6	2,41	25	60
0,3	1,10	5	30
0,15	0,41	0	10

Tabla 4.4 - Datos de curva granulométrica de Tereftalato de polietileno triturado.
Fuente: Creación propia (2023)

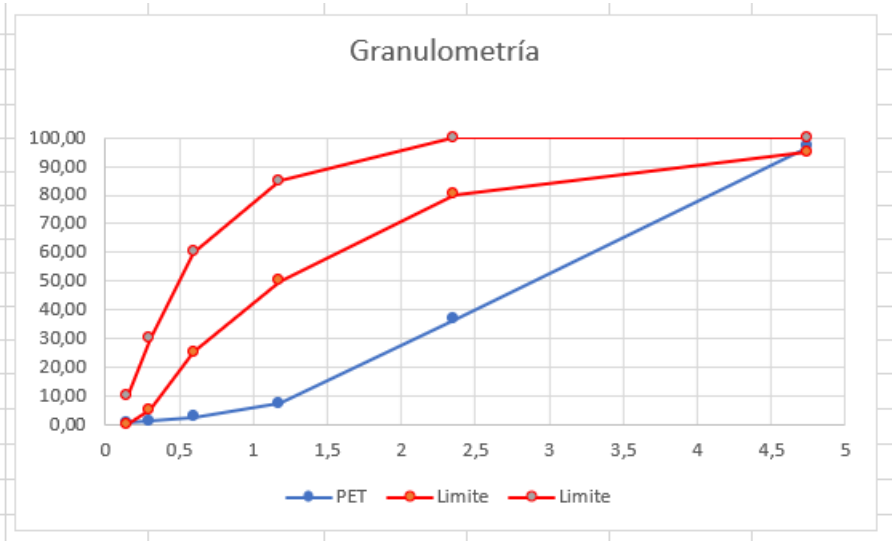


Figura 4.9 – Banda granulométrica de Tereftalato de polietileno triturado.
Fuente: Creación propia (2023)

4.1.4 Resultados de granulometría y curva granulométrica de mezcla de 78% arena gruesa del río Maipo y 22% de PET triturado

Usando el método de cuarteo, se toma una muestra de material granular mezclado de 998,5 g, en este caso contiene un 78% arena gruesa del río Maipo y 22% PET triturado, donde se comienza el ensayo y se registran los pesos retenidos en cada uno de los tamices, siendo el más grande el de 4,75 mm.

A continuación, se observa la tabla 4.5 con los resultados del estudio granulométrico de esta mezcla, en las columnas de la izquierda informan el número y tamaño de abertura de los tamices en milímetros que se utilizaron para realizar este ensayo y en las columnas de la derecha se muestra el material retenido representado en peso, porcentaje, porcentaje acumulado y además el porcentaje que si pasó por los tamices, usando este último dato para realizar la curva granulométrica de esta mezcla de materiales granulares.

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO					
ENSAYO DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
Tamaño máximo 9,5mm	Peso seco (g): 998,5g				
Altura del tamiz		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje pasante (%)
(N°)	(mm)				
4	4,75	76,8	7,69	7,69	92,31
8	2,36	131,1	13,13	20,82	79,18
16	1,18	261,5	26,19	47,00	53,00
30	0,6	265,2	26,56	73,56	26,44
50	0,3	160,1	16,03	89,59	10,41
100	0,15	66,1	6,62	96,22	3,78
Residuos	Residuos	37,8	3,78	100,00	0,00
Total		998,5	100,00	100,00	0,00

Tabla 4.5 – Resultado de ensayo granulométrico de mezcla entre 78% arena gruesa del río Maipo y 22% de PET triturado.

Fuente: Creación propia (2023)

Teniendo la tabla en Excel se genera una curva granulométrica utilizando los datos de abertura del tamiz en milímetros y el porcentaje pasante del material granular, tal como se muestra en la figura 4.10

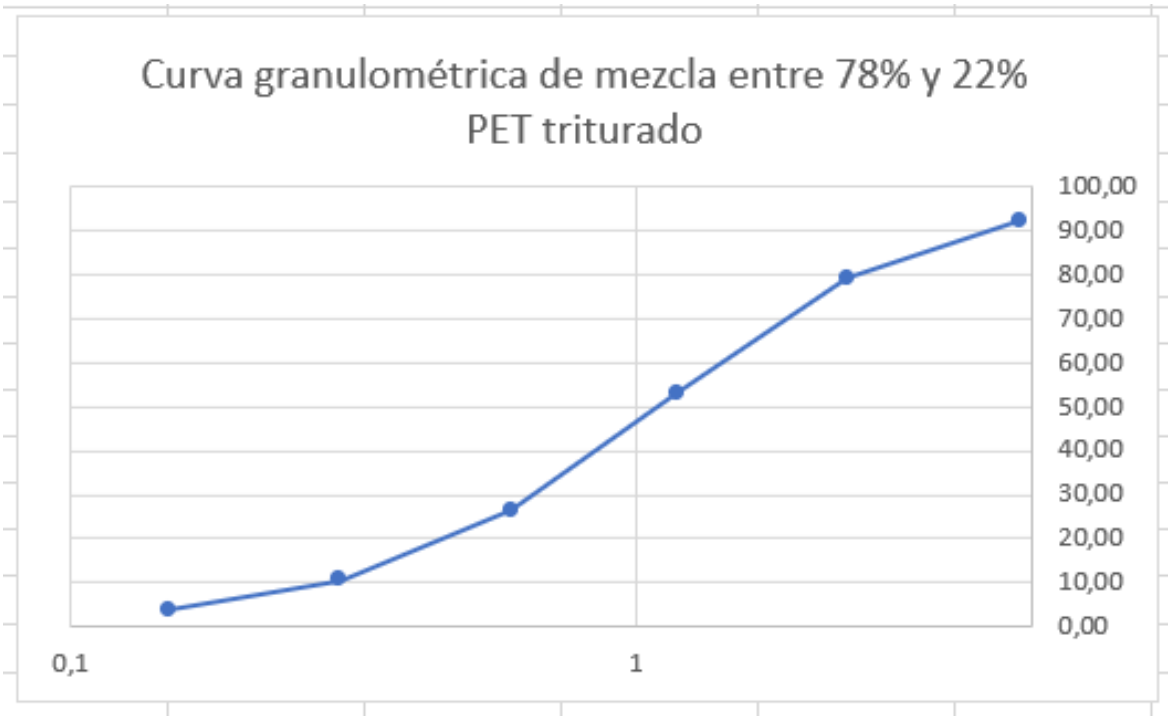


Figura 4.10 – Curva granulométrica del material granular compuesto por 78% arena gruesa del río Maipo y 22% PET triturado.

Fuente: Creación propia (2023)

4.1.5 Resultados de granulometría y curva granulométrica de mezcla de 68% arena gruesa del río Maipo y 32% de PET triturado

Al igual que todos los procedimientos se toma una muestra de esta mezcla granular con el sistema de cuarteo donde la muestra resultó pesar 906,9 g y se sometió al ensayo granulométrico comenzando por hacer pasar este material por el tamiz con abertura 4,75 mm y registrando los pesos retenidos en cada uno de los tamices.

La tabla 4.6 muestra los resultados obtenidos en el ensayo, donde las columnas de la izquierda muestra los tamices en su número y abertura medida en milímetros, y en las columnas de la derecha

indica el peso del material retenido en cada uno de los tamices, luego en porcentaje, el porcentaje acumulado y el porcentaje pasante en cada uno de los tamices.

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO					
ENSAYO DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
Tamaño máximo 9,5mm		Peso seco (g): 906,9g			
Altura del tamiz		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje pasante (%)
(N°)	(mm)				
4	4,75	68,0	7,50	7,50	92,50
8	2,36	136,1	15,01	22,51	77,49
16	1,18	238,5	26,30	48,81	51,19
30	0,6	233,0	25,69	74,51	25,49
50	0,3	140,1	15,45	89,95	10,05
100	0,15	58,0	6,40	96,35	3,65
Residuos	Residuos	33,1	3,65	100,00	0,00
Total		906,9	100,00	100,00	0,00

Tabla 4.6 - Resultado de ensayo granulométrico de mezcla entre 68% arena gruesa del río Maipo y 32% de PET triturado.

Fuente: Creación propia (2023)

Con los datos obtenidos en la tabla anterior se genera una curva granulométrica que se muestra en la figura 4.11, donde el eje x muestra las aberturas de los tamices en milímetros y en el eje e indica el porcentaje pasante de la mezcla de material granular.

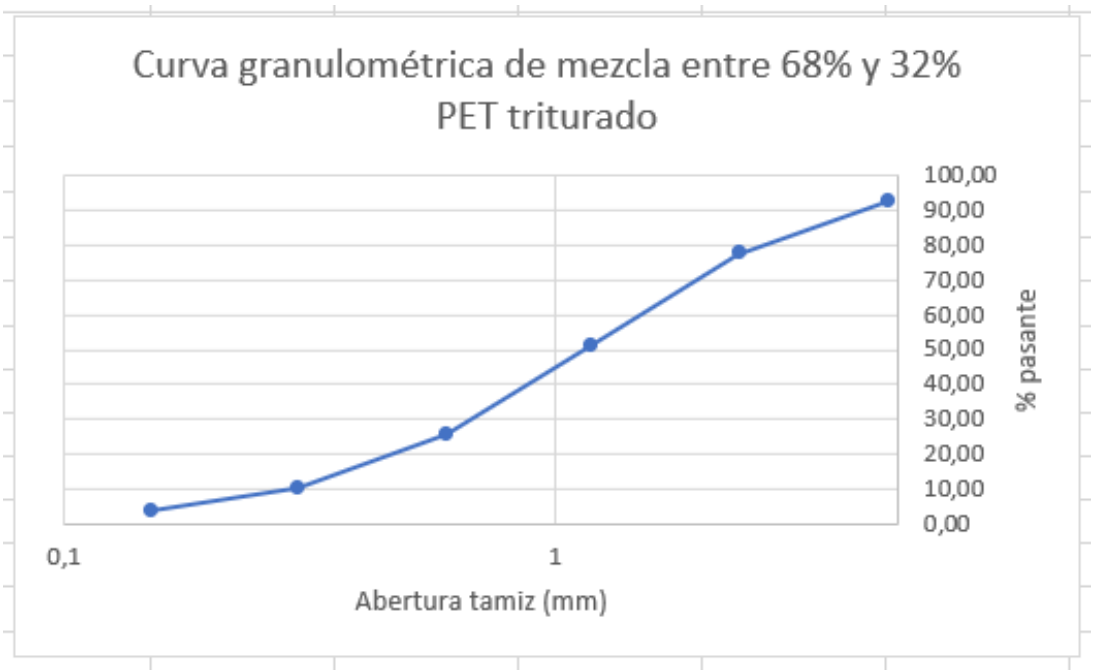


Figura 4.11 – Curva granulométrica del material granular compuesto por 68% arena gruesa del río Maipo y 32% PET triturado.

Fuente: Creación propia (2023)

4.1.6 Resultados de granulometría y curva granulométrica de mezcla de 58% arena gruesa del río Maipo y 42% de PET triturado

En este proceso el material ya se siente más ligero a la hora de manipularlo y esto ocurre por el alto porcentaje de PET triturado con el que se está trabajando, al igual que los otros procedimientos se toma una muestra por sistema de cuarteo y esta resulta pesar 815,3 g y se coloca en los tamices para registrar cada uno de los pesos retenidos en los tamices, por supuesto comenzando como siempre por el tamiz de 4,75 mm.

A continuación, se muestra una tabla 4.7 realizada en Excel que tiene los resultados de cada uno de los pesos retenidos en cada uno de los tamices, en las columnas de la izquierda especifica los tamices que se utilizaron en el estudio con su número y su abertura medida en milímetros, y en las columnas de la derecha se ven los resultados de los pesos retenidos en gramos, luego en porcentajes, el porcentaje acumulado y el porcentaje del material que si pasa por el tamiz.

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO					
ENSAYO DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
Tamaño máximo 9,5mm	Peso seco (g): 815,3g				
Altura del tamiz		Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje pasante (%)
(N°)	(mm)				
4	4,75	59,3	7,27	7,27	92,73
8	2,36	141,2	17,32	24,58	75,42
16	1,18	215,6	26,44	51,02	48,98
30	0,6	200,8	24,63	75,66	24,34
50	0,3	120,1	14,73	90,39	9,61
100	0,15	49,9	6,12	96,51	3,49
Residuos	Residuos	28,4	3,49	100,00	0,00
Total		815,3	100,00	100,00	0,00

Tabla 4.7 - Resultado de ensayo granulométrico de mezcla entre 58% arena gruesa del río Maipo y 42% de PET triturado.

Fuente: Creación propia (2023)

Una vez hecha la tabla en Excel se genera una curva granulométrica con los datos obtenidos. A continuación, se muestra en la figura 4.12 la curva granulométrica generada en Excel, donde el eje x muestra la abertura de los tamices medida en milímetros y en el eje y se muestra el porcentaje pasante de la mezcla de material granular que atraviesa cada uno de los tamices.

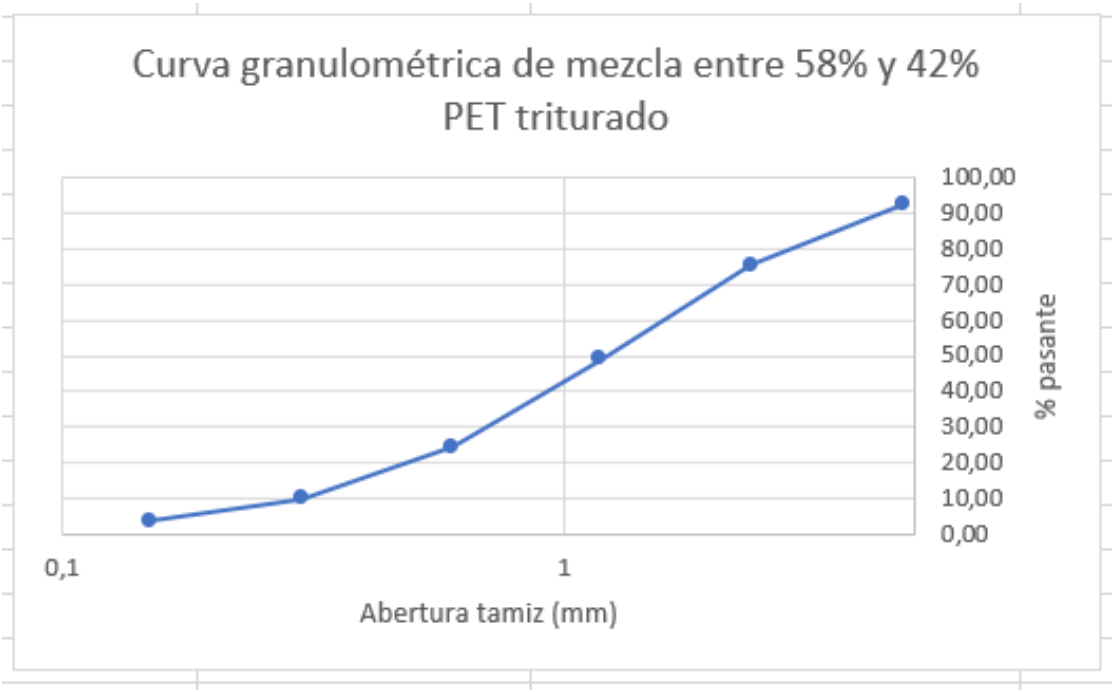


Figura 4.12 - Curva granulométrica del material granular compuesto por 58% arena gruesa del río Maipo y 42% PET triturado.

Fuente: Creación propia (2023)

Luego se realiza un ancho de banda de la arena para comparar si la mezcla de 58% arena y 42% PET está dentro de estas dos curvas límites, debido a que éstas serán las cantidades al momento de confeccionar uno de los 3 tipos de ladrillos artesanales. Los valores se muestran en la tabla 4.8, que, a la izquierda, en la primera columna se ve el tamaño del tamiz en milímetros, luego el porcentaje de la mezcla que pasó por cada tamiz y finalmente los datos del ancho de banda por el que debe pasar la curva granulométrica que se desea medir.

La figura 4.13 muestra el gráfico de la mezcla compuesta por 58% de arena y 42% de PET, donde, su curva está en color azul, uno de los límites del ancho de banda está en color naranja y el otro límite en color gris. Acá se puede observar que la mezcla está dentro de estas dos curvas en 2 puntos, otros dos puntos están en el límite naranja y los últimos 2 puntos están fuera del ancho de banda, por lo cual nos entrega un material mezclado que definitivamente se comportará diferente a la arena convencional que se estudió al inicio.

Tamiz (mm)	Mezcla	Banda arena	
4,75	92,73	95	100
2,36	75,42	80	100
1,18	48,98	50	85
0,6	24,34	25	60
0,3	9,61	5	30
0,15	3,49	0	10

Tabla 4.8 - Datos de curva granulométrica de mezcla de 58% de arena y 42% de PET.
Fuente: Creación propia (2023)

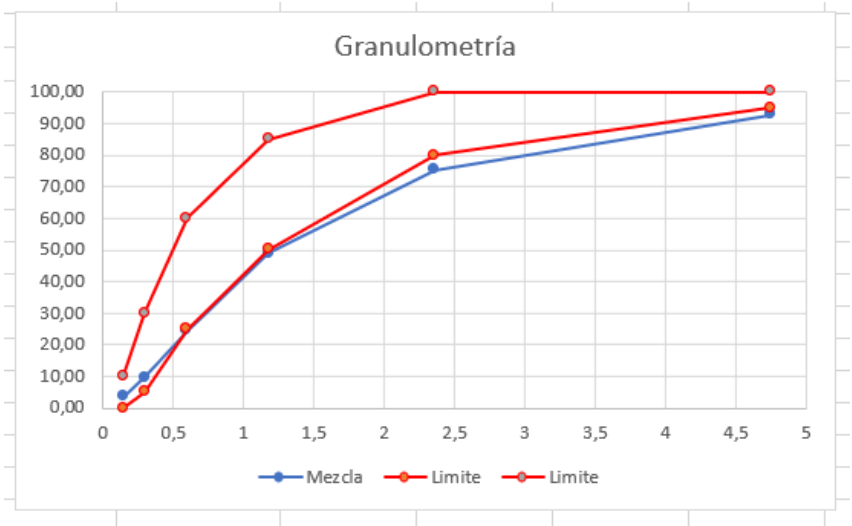


Figura 4.13 – Banda granulométrica de mezcla de 58% arena y 42% de PET.
Fuente: Creación propia (2023)

Si bien, los últimos 3 estudios granulométricos entregaron resultados muy similares, hay pequeñas diferencias en las curvas, en cada uno de los puntos que las conforman. Cabe destacar, que, en el caso de las granulometrías de mezclas de materiales granulados, a medida que aumentaba el porcentaje de PET en los estudios era mucho más manejable el ensayo, ya que este material es mucho más ligero que la arena, se nota al momento de levantarlo y hacerlo pasar por cada uno de los tamices.

4.2 Resultados de densidades de materiales granulares

Para hacer una correcta dosificación y siguiendo las indicaciones de la norma chilena NCh 170 of 2016, hay que tener presente las densidades aparentes sueltas de los materiales granulares y así aplicar estos datos en las fórmulas para obtener la cantidad de cada uno de los materiales que se ocuparán en la confección del mortero que se quiere realizar. En este caso, se realizaron dos tipos de ensayos de densidades, densidad aparente suelta y densidad aparente apisonada, y se realizó a la arena y al PET triturado, ambos en estado seco.

4.2.1 Resultado de densidad aparente suelta de la arena gruesa del río Maipo

El recipiente que se utilizó en este estudio tiene un volumen de 1003 cm3 como el que se muestra en la figura 4.14, y se aplicó la muestra de arena tal como se menciona en el punto 3.7 y en los 3 procedimientos se obtuvieron los siguientes datos:



Figura 4.14 – Recipiente para obtener densidades
Fuente: Creación propia (2023)

a) Ensayo 1 de densidad aparente suelta de arena gruesa del río Maipo

Peso: 1690,6 g

Volumen: 1003 cm3

Densidad: $\frac{1690,6}{1003}$ = 1,6855 g/cm3

b) Ensayo 2 de densidad aparente suelta de arena gruesa del río Maipo

Peso: 1708,6 g

Volumen: 1003 cm3

Densidad: $\frac{1708,6}{1003}$ = 1,7035 g/cm3

c) Ensayo 3 de densidad aparente suelta de arena gruesa del río Maipo

Peso: 1692,2 g

Volumen: 1003 cm3

Densidad: $\frac{1692,2}{1003}$ = 1,6871 g/cm3

d) Densidad aparente suelta de arena gruesa del río Maipo

Densidad: 1,6855 g/cm3 + 1,7035 g/cm3 + 1,6871 g/cm3

Densidad: $\frac{5,0761\ g/cm3}{3}$

Densidad aparente suelta de arena: 1,692 g/cm3

4.2.2 Resultado de densidad aparente apisonada de la arena gruesa del río Maipo

Para conocer el comportamiento de la arena se realiza este ensayo, si bien no se utiliza en las fórmulas para dosificar el mortero, es un dato que sirve para conocer más en profundidad el material que se utilizará para la confección de los ladrillos, el recipiente que se utilizó abarca 1003 cm3 de material y el ensayo se hace tal como indica el punto 3.7 de la metodología de este estudio. A continuación, se muestran los 3 resultados obtenidos en estos ensayos y el promedio final de esta densidad.

a) Ensayo 1 de densidad aparente apisonada de arena gruesa del río Maipo

Peso: 1697,7 g

Volumen: 1003 cm3

Densidad: $\frac{1697,7}{1003}$ = 1,6926 g/cm3

b) Ensayo 2 de densidad aparente apisonada de arena gruesa del río Maipo

Peso: 1698,2 g

Volumen: 1003 cm3

Densidad: $\frac{1698,2}{1003}$ = 1,6931 g/cm3

c) Ensayo 3 de densidad aparente apisonada de arena gruesa del río Maipo

Peso: 1689,2 g

Volumen: 1003 cm3

Densidad: $\frac{1689,2}{1003}$ = 1,6899 g/cm3

d) Densidad aparente apisonada de arena gruesa del río Maipo

Densidad: 1,6926 g/cm3 + 1,6931 g/cm3 + 1,6899 g/cm3

Densidad: $\frac{5,0756\ g/cm3}{3}$

Densidad aparente apisonada: 1,6899 g/cm3

4.2.3 Resultado de densidad aparente suelta del PET triturado

El PET triturado es un material granular fundamental en este estudio, ya que conformará parte del ladrillo artesanal, es por eso que debe conocerse su densidad para poder posteriormente determinar la dosificación y uno de los datos claves que se necesitará es este. A continuación, se muestran los 3 resultados obtenidos en los ensayos y el promedio de estos, demostrando así la densidad final de este material.

a) Ensayo 1 de densidad aparente suelta de arena gruesa del río Maipo

Peso: 390,3 g

Volumen: 1003 cm3

Densidad: $\frac{390,3}{1003}$ = 0,38919 g/cm3

b) Ensayo 2 de densidad aparente suelta de arena gruesa del río Maipo

Peso: 409,6 g

Volumen: 1003 cm3

Densidad: $\frac{409,6}{1003}$ = 0,4083 g/cm3

c) Ensayo 3 de densidad aparente suelta de arena gruesa del río Maipo

Peso: 404,5 g

Volumen: 1003 cm3

Densidad: $\frac{404,5}{1003}$ = 1,4033 g/cm3

d) Densidad aparente suelta de arena gruesa del río Maipo

Densidad: 0,38919 g/cm3 + 0,4083 g/cm3 + 0,4033 g/cm3

Densidad: $\frac{1,20079\ g/cm3}{3}$

Densidad aparente suelta de arena: 0,4 g/cm3

4.2.4 Resultado de densidad aparente apisonada del PET triturado

Al igual que la arena se realiza este ensayo para conocer más el comportamiento del PET triturado, si bien no se utiliza en las fórmulas para dosificar el mortero, es un dato que sirve para conocer más en profundidad el material que se utilizará para la confección de los ladrillos, el recipiente que se utilizó abarca 1003 cm3 de material y el ensayo se hace tal como indica el punto 3.7 de la metodología de este estudio. A continuación, se muestran los 3 resultados obtenidos en estos ensayos y el promedio final de esta densidad.

a) Ensayo 1 de densidad aparente apisonada de arena gruesa del río Maipo

Peso: 460,2 g

Volumen: 1003 cm3

Densidad: $\frac{460,2}{1003}$ = 0,4592 g/cm3

b) Ensayo 2 de densidad aparente apisonada de arena gruesa del río Maipo

Peso: 430,8 g

Volumen: 1003 cm3

Densidad: $\frac{430,8}{1003}$ = 0,4295 g/cm3

c) Ensayo 3 de densidad aparente apisonada de arena gruesa del río Maipo

Peso: 425,3 g

Volumen: 1003 cm3

Densidad: $\frac{425,3}{1003}$ = 0,424 g/cm3

d) Densidad aparente apisonada de arena gruesa del río Maipo

Densidad: 0,4592 g/cm3 + 0,4295 g/cm3 + 0,424 g/cm3

Densidad: $\frac{1,3127\ g/cm3}{3}$

Densidad aparente apisonada: 0,4376 g/cm3

Una vez hechas las densidades, tanto de la arena como del PET, es muy notoria la diferencia de resultados, es decir, que es evidente que si ambos materiales ocuparan el mismo volumen en recipientes distintos la arena pesaría mucho más que el PET, es por este motivo que el reemplazo de la arena en la dosificación de morteros debe ser en volumen, ya que, ambos materiales se comportan de manera muy distinta, y si el reemplazo fuera en peso habría una incongruencia, porque el PET si tuviese el mismo peso que la arena, ocuparía mucho más espacio.

4.3 Dosificaciones para la mezcla de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET

Para realizar la confección de los ladrillos que se desean se requiere de una dosificación, y al ser 3 bloques tipo de mortero diferentes, se deben dosificar 3 mezclas distintas para así determinar cuántos materiales se necesitan para poder confeccionar estos ladrillos, este cálculo se hace considerando paso a paso la norma chilena NCh 2261 of 2010, en cuanto a la dosificación de mortero.

El primer paso es determinar una resistencia mínima que se desea en nuestro mortero, y esto será lo que se conoce como “fc” en la fórmula. En este caso, de acuerdo a lo estudiado en el estado de arte que se hizo, se conoce que la mayor resistencia que ha adquirido un ladrillo de mortero con 32% de PET triturado es de 21,4 MPa, es por esto que el primer parámetro será que este mortero tendrá una resistencia estimada de 20 MPa. Se considera la tabla 4.9 donde se busca la resistencia en Mpa que se desea y se transforma a Kgf/cm2, en este caso se desea una resistencia de 20 Mpa, por lo cual en la fórmula se aplican 200 Kgf/cm2. Luego se debe considerar un nivel de confianza en la fórmula, y en este caso es de un 95%, ya que, es una mezcla que se hará en laboratorio y con todos los cuidados, en la tabla 4.10 se muestra en la columna izquierda el nivel de confianza en porcentajes y en la columna derecha se establece el dígito que se necesita expresar en la fórmula en el dato “t”. Y para el dato “s” de la fórmula se determina 30, tal como se muestra en la fórmula a continuación.

Grado	resistencia especificada, fc	
	MPa	Kgf/cm^2
H5	5	50
H10	10	100
H15	15	150
H20	20	200
H25	25	250
H30	30	300
H35	35	350
H40	40	400
H45	45	450
H50	50	500

Tabla 4.9 – Resistencia especificada, fc, para dosificaciones

Fuente: Norma chilena NCh 2261, of 2010

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

Tabla 4.10 – Nivel de confianza, t para dosificaciones

Fuente: Norma chilena NCh 2261, of 2010

$$f_d = f_c + t \cdot s$$

$$fd = 200 + 1{,}645 \cdot 30$$

$$fd = 249$$

La fórmula indica que fd (resistencia media requerida) es de 249 kgf/cm2. Teniendo este dato considerado se puede proceder a determinar la razón agua/cemento.

Para determinar la R (A/C) se utiliza la tabla 4.11, donde en la columna izquierda muestra la R (A/C), y en las columnas derechas muestra la resistencia media requerida del cemento en MPa, se conoce que la resistencia media requerida en nuestra fórmula resultó ser de 249 Kgf/cm2, entonces los datos de la tabla se pasan a Kgf/cm2 y se interpolan los datos que están encerrados en rojo, considerando que se nuestra R (A/C) es respecto a los 249 kgf/cm2.

Razón Agua/Cemento	Resistencia media requerida MPa	
	Cemento corriente	Cemento alta resistencia
0,45	34	43
0,50	29	36
0,55	25	31
0,60	21	26
0,65	18	23
0,70	16	20
0,75	14	17
0,80	12	15
0,85	10	13

Tabla 4.11 – Razón Agua/Cemento para dosificación
Fuente: Norma chilena NCh 2261, of 2010.

$$\frac{0,6-0,5}{240-335}=\frac{0,6-x}{240-249}$$

$$R\left({}^{A}/_{C}\right)=0,59$$

Al interpolar estos datos se determina que la R (A/C) es de 0,59 y este dato es fundamental para más adelante determinar la cantidad de cemento que se requiere para la mezcla de 1 m3 de mortero.

Luego se calcula la dosis de agua, considerando el tamaño máximo nominal de las partículas que formarán parte de la mezcla, en este caso es 4,75mm. Y se determina que el módulo de finura es de 3,04.

$$TMN = 4{,}75\ mm$$

$$MF = 6 - \frac{274{,}02}{92{,}58}$$

$$MF = 3{,}04$$

$$D.agua = 280\ \left({}^{lt\ agua}/_{m^3\ mortero}\right)$$

Teniendo la dosis de agua y además la R (A/C) se puede determinar la dosis de cemento con el siguiente cálculo:

$$0{,}59 = \frac{280}{C}$$

$$C = 475\ \left({}^{kg\ cemento}/_{m^3\ mortero}\right)$$

Se tiene la mayoría de los datos determinados, solo estaría faltando la dosis de arena, la cual se determina con la siguiente fórmula y cálculos:

$$\frac{C}{Dc} + \frac{H_2O}{DH_2O} + \frac{Ar}{DAr} + H = 1000$$

$$\frac{475}{D3} + \frac{280}{1} + \frac{Ar}{2{,}65} + 30 = 1000$$

$$Ar = 1409 \left({}^{kg}/_{m^3\ mortero}\right)$$

	Kg/m³	*Densidad kg/lt*
Cemento	475	1,2
Agua	280	1
Arena	1409	1,69
	2164	0,4

Hay que considerar que estos resultados son para 1 m3 de mortero patrón, es decir, aún no se considera la incorporación de PET.

A continuación, se muestra en un cálculo como determinar cuánto material se requiere en 1 m3 de mortero con 22% PET triturado en reemplazo de la arena en forma de volumen. Se debe dividir los kg/m3 de cada material por la densidad aparente suelta de estos mismos, donde estos datos están en el punto 4.2.1 en el caso de la densidad de la arena gruesa del río Maipo y el 4.2.3 para la densidad del PET triturado, ahí se tendrán los datos en volumen/m3 y es en este momento donde hace el reemplazo de 22% de PET triturado en la arena, ya que se está trabajando en volumen, y finalmente se multiplican los datos por sus densidades y se obtiene la cantidad de cada material en peso para 1 m3 de mortero con 22% de PET triturado.

	Kg/m³	*lt/m³*		*Kg/m³*
Cemento	475	395,8	395,8	475
Agua	280	280	280	280
Arena	1409	834	651 (78%)	1100
PET	0	0	183 (22%)	73,2

Pero, se debe considerar que para este estudio no se requiere 1 m3 de mortero con 22% de PET triturado, sino que mucho menos, ya que solo se necesitan de 36 ladrillos de este tipo, equivalentes a 0,07182 m3, entonces haciendo una regla de 3 se pueden obtener los valores en peso de cada uno de los materiales que se necesitan.

	Kg	*lt*
Cemento	34,115	
Agua		20,11
Arena	79,002	
PET	5,257	

Para el caso de los ladrillos con 32% de PET triturado, se hace el mismo proceso anterior, pero esta vez el reemplazo en volumen es de 32% PET triturado y 68% arena, donde se obtienen los siguientes valores para confeccionar 1 m3 de mortero:

	Kg/m³	*lt/m³*		*Kg/m³*
Cemento	475	395,8	395,8	475
Agua	280	280	280	280
Arena	1409	834	567 (68%)	958
PET	0	0	267 (32%)	106,8

Y como se mencionó anteriormente se hace una regla de 3 considerando solo los 0,07182 m3 (volumen de los 36 ladrillos) y se obtienen los valores de los materiales, como se muestra a continuación:

	Kg	*lt*
Cemento	34,115	
Agua		20,11
Arena	68,803	
PET	7,67	

Y finalmente, para el tercer ladrillo tipo, se requiere saber cuánto material se necesita para confeccionar los ladrillos con 42% de PET triturado, y los valores para 1 m3 de este mortero son los siguientes:

	Kg/m^3	lt/m^3		Kg/m^3
Cemento	475	395,8	395,8	475
Agua	280	280	280	280
Arena	1409	834	484 (58%)	818
PET	0	0	350 (42%)	140

A continuación, se tienen los resultados de los materiales requeridos para confeccionar 36 ladrillos de mortero con 42% PET triturado:

	Kg	*lt*
Cemento	34,115	
Agua		20,11
Arena	58,748	
PET	10,055	

Teniendo todos estos datos se realizó la suma y a continuación se muestra la tabla 4.12 con el total de materiales para la confección de los ladrillos de este estudio, es decir, para los 3 ladrillos tipo (108 ladrillos):

Materiales para la confección de ladrillos con PET		
Material	Cantidad	Unidad
Cemento especial Melón	136,458	Kg
Agua	80,436	lts
Arena gruesa del río Maipo	206,553	Kg
PET triturado	22,982	Kg

Tabla 4.12 – Materiales totales para la confección de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET
Fuente: Creación propia (2023).

4.4 Desarrollo de la experiencia

El presente estudio busca como objetivo principal determinar si las resistencias físicas que son en este caso, resistencia térmica y aislación acústica y las resistencias mecánicas que en este caso sería la resistencia a compresión y flexo tracción cumple con lo establecido a las normas vigentes en Chile, de acuerdo a los parámetros de un ladrillo artesanal convencional descrito en la norma chilena NCh 2123. Pero, para poder dar respuesta a estos objetivos hay una serie de actividades que realizar antes, como se mencionaba y fijándonos en los puntos anteriores, para obtener la dosificación de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET se requiere medir las granulometrías, densidades y luego con la norma NCh 2261 se puede dosificar y determinar el material que se necesita.

Como estos pasos ya están hechos, se puede proceder a confeccionar todos los ladrillos que se utilizarán en este estudio, tanto los que se ensayarán individualmente como los que se colocarán en muretes de ensayo.

Teniendo todo el material disponible para su uso, se puede comenzar el proceso, hay que tener una balanza para ir midiendo los pesos de cada uno de los materiales que se aplicarán a la mezcla, ya que, hay que seguir cuidadosamente las dosificaciones que se establecieron en el punto 4.3.

Primero que todo, debe aplicarse el cemento en el recipiente donde se confeccionará el mortero con 22% PET triturado, que en este caso serían 34,115 Kg, luego se aplican 79,002 Kg de arena, después se incluye en la mezcla 5,257 Kg de PET triturado, para finalmente agregar 20,011 lt de agua, se incorpora todo y se comienza a mezclar. Una vez esté todo mezclado, y se vea que tiene una consistencia adecuada, como la que se observa a continuación en la figura 4.15 se puede proceder a introducir la mezcla en el molde para realizar la confección de los ladrillos.



Figura 4.15 – Mezcla fresca de mortero con PET triturado
Fuente: Creación propia (2023)

Para confeccionar los ladrillos el molde se coloca sobre un pliego de nailon de 2x2, y se le aplica desmoldante para metal, como el que se muestra en la figura 4.16, una vez se aplique con una brocha el desmoldante por toda la orilla interior del molde se introduce una porción de la mezcla suficiente para tapar el molde tal como se muestra en las figuras 4.17 y 4.18, este se compacta con una llana y se retira, dejando la forma de un ladrillo con la mezcla fresca, y así se dejar secar para el otro día ser regado. Este proceso se hace con todos los ladrillos.



Figura 4.16 – Desmoldante para enconfrados de metal, marca Topex
Fuente: Creación propia (2023)



Figura 4.17 – Compactación de un ladrillo artesanal con plástico reciclado PET
Fuente: Creación propia (2023)

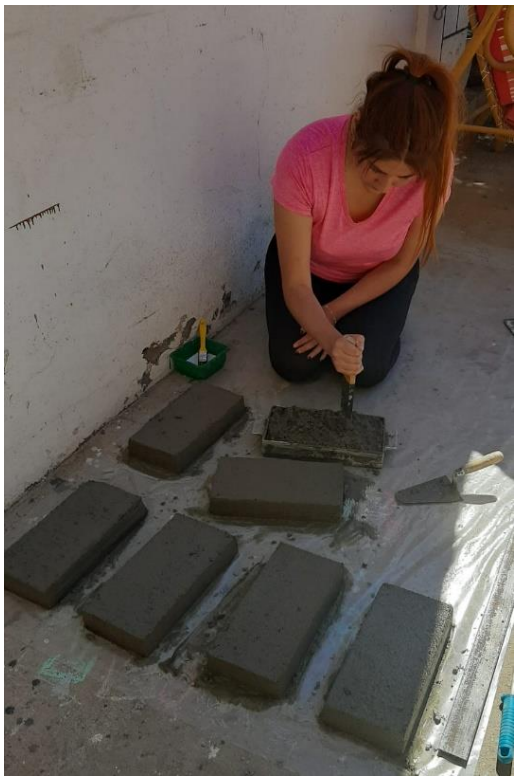


Figura 4.18 – Confección de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET
Fuente: Creación propia (2023)

Luego, el procedimiento se repite esta vez con la dosificación de mortero con 32% de PET triturado incorporado a la mezcla y lo mismo para el mortero con 42% de PET triturado en su mezcla, hay que considerar que los ladrillos no deben quedar en contacto con otro, para que se seque cada uno por sí solo, como se muestra en la figura 4.19, teniendo todos los ladrillos confeccionados hay que regarlos 2 veces al día durante una semana, al pasar un día, estos ya se pueden ordenar y apilar como en la figura 4.20, para desocupar espacio, en este modo igual se pueden continuar regando, esto se hace para que los ladrillos adquieran resistencia y no se agrieten.



Figura 4.19 – Ladrillos artesanales con plástico reciclado PET regados
Fuente: Creación propia (2023)



Figura 4.20 – Ladrillos artesanales con plástico reciclado PET ordenados
Fuente: Creación propia (2023)

Teniendo todos los ladrillos con la mezcla húmeda, se debe esperar 7 días para retirar los primeros 18 ladrillos, ya que, 9 se someterán a un ensayo de compresión y los otros 9 a un ensayo de flexo tracción, dejándolos en pequeños grupos de a 3 ladrillos, considerando los porcentajes de PET en cada mezcla.

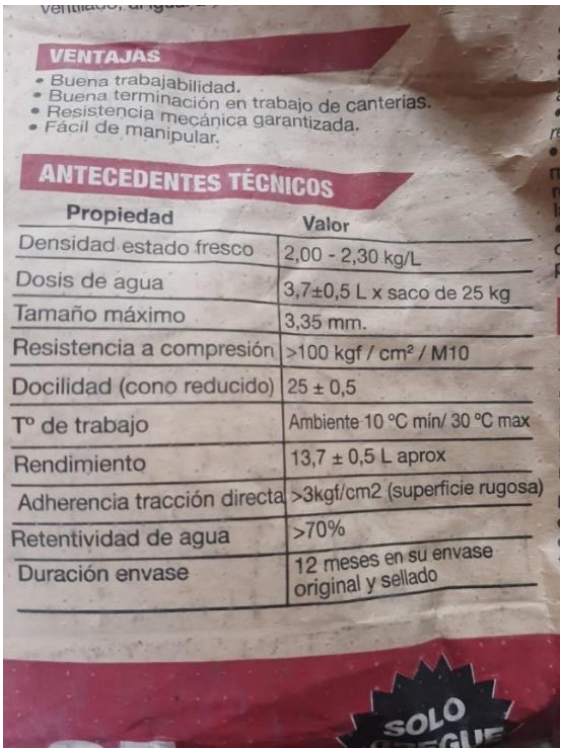
Luego, se espera 21 días más para retirar otros 18 ladrillos, ya que acá se cumplirán 28 días desde su confección, y deben ensayarse unitariamente, 9 a compresión y 9 a flexo tracción. Además, se ocuparán los otros ladrillos para hacer muretes de ensayo, serán 9 muretes que contienen 8 ladrillos cada uno, para medir la resistencia térmica y acústica, este será un muro convencional de medidas 60x60 cm, que para que encajen bien deben cortarse a la mitad 2 ladrillos como se muestra en la figura 4.21



Figura 4.21 – Ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET a la mitad para la confección de muretes de ensayo.

Fuente: Creación propia (2023)

Para confeccionar estos tipos de muros se requiere mortero de pega, en este caso se utiliza mortero de pega marca Topex, donde en la figura 4.22 se muestra la ficha técnica de este material y demuestra su cumplimiento respecto a sus funciones, este mortero se aplica en seco en un recipiente y se aplica el agua que especifica sus instrucciones en este caso fueron 2,5 lts y se mezcla, la figuras 4.23 y 4.24 muestra como quedó, una vez hecha la mezcla se confeccionan estos muretes donde el espesor de este mortero es entre 1 y 1,5 cm y quedan como se muestra en la figura 4.25



VENTAJAS

- Buena trabajabilidad.
- Buena terminación en trabajo de canterías.
- Resistencia mecánica garantizada.
- Fácil de manipular.

ANTECEDENTES TÉCNICOS

Propiedad	Valor
Densidad estado fresco	2,00 - 2,30 kg/L
Dosis de agua	3,7±0,5 L x saco de 25 kg
Tamaño máximo	3,35 mm.
Resistencia a compresión	>100 kgf / cm² / M10
Docilidad (cono reducido)	25 ± 0,5
Tº de trabajo	Ambiente 10 °C mín/ 30 °C max
Rendimiento	13,7 ± 0,5 L aprox
Adherencia tracción directa	>3kgf/cm2 (superficie rugosa)
Retentividad de agua	>70%
Duración envase	12 meses en su envase original y sellado

SOLO

Figura 4.22 – Ficha técnica de mortero de pega marca Topex

Fuente: Creación propia (2023)



Figura 4.23 – Mortero de pega marca Topex

Fuente: Creación propia (2023)



Figura 4.24 – Mortero de pega marca Topex en estado húmedo

Fuente: Creación propia (2023)



Figura 4.25 – Muretes de ensayo de 60x60 cm confeccionado con ladrillos artesanales con plástico reciclado PET

Fuente: Creación propia (2023)

Cuando los ladrillos se confeccionaron se pesaron y cada uno pesó aproximadamente 4 Kg, diferenciándose por 100 g aproximadamente, es decir todos los ladrillos que tienen 22% de PET triturado incorporado a la mezcla de mortero, pesan aproximadamente 4,082 Kg, los ladrillos artesanales que contienen 32% de PET triturado pesan aproximadamente, 3,892 Kg, y los que tienen incorporado a la mezcla un 42% de PET triturado pesan aproximadamente 3,798 Kg. Esto concluye que mientras más plástico tipo PET triturado haya en la mezcla de mortero más liviano será el ladrillo, y esto pasa por la diferencia de densidades que existen entre la arena y el PET triturado, ya que, como se mencionó anteriormente en el ensayo de densidades el PET triturado es un material mucho más ligero y la arena es mucho más densa.

Sin embargo, la mezcla en fresco más cómoda de usar de manera artesanal es la que posee un 22% de PET triturado, ya que mientras más PET se incorpore, pareciera que se trabaja con una especie de “granizado” y existen más burbujas en el interior de la mezcla, por esto mismo cuando se aplica la mezcla al molde es de mayor esfuerzo hacer el apisonado para la compactación y es por la cantidad de aire que existe en el interior de la mezcla.

4.5 Resultados de densidades de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET

Cuando se tienen todos los ladrillos confeccionados, una de las cosas más importantes es determinar la densidad, para conocer el material que se logró obtener, de acuerdo a su masa y volumen. Como bien se mencionó anteriormente, cada ladrillo tiene pesos diferentes, si bien su diferencia no es bastante, si alterará los resultados de las densidades entre ladrillos.

Se tomaron 18 muestras aleatorias para calcularlas, es decir 6 de cada mortero (diferentes porcentajes de PET incorporado), de este modo se obtendrá un promedio y una densidad para cada uno. Cabe destacar, que para poder reconocer cada ladrillo se le dio un nombre a cada uno, como son 6 de cada uno, se enumeran del 1 al 6, del siguiente modo, 1.22%, 2.22%, 3.22% y así sucesivamente, esto se hizo con todos los ladrillos con diferentes porcentajes de PET en su mezcla, a modo de demostrar que, si bien tienen la misma cantidad de PET, cada ladrillo es único al momento de ensayarlos.

Cada ladrillo se pesó, como se muestra en la figura 4.26 y luego se midieron todos sus lados, para posteriormente calcular las densidades. Los resultados obtenidos están especificados en la tabla 4.13.



Figura 4.26 – Ladrillo artesanal con plástico reciclado PET midiéndose en una balanza.
Fuente: Creación propia (2023)

Densidades de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (g)	Volumen (cm3)	**Densidad (g/cm3)**
1.22%	4090,2	2080,8	**1,966**
2.22%	4049,1	2186,2	**1,852**
3.22%	4044,8	2100,2	**1,926**
4.22%	4076	2044,9	**1,993**
5.22%	4055,5	2174,13	**1,865**
6.22%	4178,5	2197,9	**1,901**
1.32%	3944	1982,9	**1,989**
2.32%	3683,2	2192,4	**1,680**
3.32%	3857,8	2085,8	**1,850**
4.32%	3897,7	2167,5	**1,798**
5.32%	4047,3	2052,05	**1,972**
6.32%	3927,3	2156,1	**1,821**
1.42%	3854	2071,2	**1,861**
2.42%	3780,7	2114,7	**1,788**
3.42%	3768,2	2059,2	**1,830**
4.42%	3818,3	2129,8	**1,793**
5.42%	3786,4	2023,5	**1,871**
6.42%	3782,4	2156,5	**1,754**

Tabla 4.13 – Densidades de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET
Fuente: Creación propia (2023)

Una vez que se tienen todos estos datos, se puede determinar una densidad más específica para cada mortero con diferentes porcentajes de PET, lo cual a continuación se especifican.

4.5.1 Densidad de ladrillo artesanal con 22% de PET incorporado a la mezcla

Primeramente, se suman todos los resultados de densidades asociados a los ladrillos que poseen 22% de PET en la tabla anterior, para luego dividir por la cantidad de ladrillos considerados y así obtener un promedio más exacto del elemento que se fabricó.

Suma de densidades: 1,966 + 1,852 + 1,926 + 1,993 + 1,865 + 1,901 = 11,503

Densidad promedio: $\frac{11,503}{6}$ = 1,917 g/cm3

4.5.2 Densidad de ladrillo artesanal con 32% de PET incorporado a la mezcla

Al igual que el procedimiento anterior, se comienza identificando en la tabla los ladrillos que poseen 32% de PET en su mezcla, y se deben sumar, para luego dividirlos por la cantidad de ladrillos considerados, para así, determinar un promedio de las densidades de este nuevo elemento.

Suma de densidades: 1,989 + 1,680 + 1,850 + 1,798 + 1,972 + 1,821 = 11,11

Densidad promedio: $\frac{11,11}{6}$ = 1,851 g/cm3

4.5.3 Densidad de ladrillo artesanal con 42% de PET incorporado a la mezcla

Para poder determinar solo un valor para la densidad del ladrillo artesanal con 42% de PET, se debe calcular un promedio de los datos indicados en la tabla 4.10, por supuesto considerando solos los 6 ladrillos que llevan este porcentaje de PET, como se muestra a continuación:

Suma de densidades: 1,861 + 1,788 + 1,830 + 1,793 + 1,871 + 1,754 = 10,897

Densidad promedio: $\frac{10,897}{6}$ = 1,816 g/cm3

Si bien, los valores son similares, hay que ver que por la diferencia de porcentaje de PET varían estas densidades, además se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de PET incluido a la mezcla, disminuye la densidad de este elemento, ya que, se puede observar que para el mortero que contiene 22% de PET su densidad es de 1,917 g/cm3, en el caso del ladrillo con 32% de PET es 1,851 g/cm3 su densidad y para el que posee 42% de PET la densidad resulta ser

1,851 g/cm3. Demostrando así, que los valores van disminuyendo. Además, se puede concluir, que las densidades de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET están en un rango entre 1,8 g/cm3 y 1,9 g/cm3.

4.6 Resultados de resistencia a compresión a los 7 días de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET de manera unitaria

Cuando todos los ladrillos están confeccionados, se debe esperar 7 días para retirar los primeros 18, donde 9 serán ensayados a flexo tracción, y los otros 9 serán ensayados a compresión, este punto se centra en este último ensayo.

Teniendo 9 ladrillos para ensayar, se dividirán en 3 grupos. 3 ladrillos artesanales tendrán 22% PET, los otros 3, 32% PET y los últimos 3 ladrillos tendrán 42% de PET.

Pero, para diferenciar cada ladrillo y demostrar que cada uno es único, se les colocó nombres, es decir hay tres ladrillos que contienen 22% en este ensayo, entonces se enumeran así, 1.22%, 2.22%, 3.22% y así sucesivamente, tal como se muestra en la figura 4.27, y así se enumeran todos los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET, si tienen 32% de PET en la mezcla se enumerarán en 1.32%, 2.32%, 3.32%, 4.32% y así sucesivamente.



Figura 4.27 – Identificación de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET
Fuente: Creación propia (2023)

Estos ladrillos se enumeran e identifican, ya que no todos pesan lo mismo, ni miden lo mismo, si bien los datos son similares, no son iguales por unos gramos o milímetros. Entonces así se conoce las características de cada ladrillo que se va a ensayar.

Una vez que los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET se pesen, se midan y se identifiquen, se puede proceder con el ensayo de compresión, comenzando por encender el equipo, se introduce el ladrillo con una de sus caras hacia arriba tal como se muestra en la figura 4.28, donde en el equipo se debe ingresar como dato la superficie de su cara en milímetros, y comienza el ensayo.



Figura 4.28 – Ladrillo artesanal con plástico reciclado PET posicionado para un ensayo de compresión.

Fuente: Creación propia (2023)

El equipo comienza a comprimir este elemento de construcción y termina cuando el ladrillo se rompe, en la pantalla del equipo se va mostrando el tiempo en segundos y la carga que se va aplicando en KN, como se muestra en la figura 4.29, estos números van aumentando hasta que el ladrillo obtiene su ruptura, y comienza hacer cuenta regresiva, ya que el ladrillo no puede resistir más cargas, acá se da por finalizado el ensayo y se debe poner “STOP” en el equipo.



Figura 4.29 – Pantalla de la presa de compresión durante un ensayo.
Fuente: Creación propia (2023)

Cuando se hizo este ensayo, el equipo entregó resultados muy altos para cada uno de los ladrillos que se sometieron a cargas de compresión, por este motivo se analizó que era debido a la superficie tan grande y la altura tan pequeña de estos elementos, entonces provocó que el ladrillo se rompiera por dentro y al mismo tiempo acomodara sus partículas haciendo que el equipo no percatara el momento exacto de la ruptura, entonces seguía aplicando cargas. Por este motivo, se ensayaron probetas más pequeñas, los ladrillos se cortaron en tres, de modo que tuvieran un área más pequeña en relación a su altura y así entrego datos y percató el momento de la ruptura.

A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos para cada ladrillo en las tablas 4.14, 4.15 y 4.16, donde la primera muestra los resultados del ensayo a compresión de ladrillos artesanales con 22% de PET incorporado a la mezcla después de 7 días desde su confección, la tabla 4.15 muestra los resultados de los ensayos a compresión de ladrillos artesanales con 32% de PET incorporado a la mezcla a los 7 días de ser confeccionados y finalmente, la tabla 4.16 expresa los resultados de ensayos a compresión de ladrillos artesanales con 42% de PET incorporado a la mezcla luego de 7 días desde su confección. En cada tabla se puede observar que en la columna izquierda está la identificación de cada ladrillo, la siguiente columna el peso del ladrillo en Kg, luego las dimensiones en centímetros y finalmente la resistencia a compresión de este ladrillo sometido a cargas de manera unitaria en MPa.

Ensayo a los 7 días de compresión unitariamente a ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (Kg)	Medidas (cm)	Resistencia a compresión (Mpa)
1.22%	4,0902	28,7 x 14,5 x 5	10,287
2.22%	4,0491	28,6 x 14,7 x 5,2	10,787
3.22%	4,076	28,6 x 14,3 x 5	10,965

Tabla 4.14 - Resultados de ensayo de compresión a ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET después de 7 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

Ensayo a los 7 días de compresión unitariamente a ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (Kg)	Medidas (cm)	Resistencia a compresión (Mpa)
1.32%	3,944	28,7 x 14,1 x 4,9	9,913
2.32%	3,6832	29 x 14 x 5,4	9,841
3.32%	3,8977	28,8 x 14,2 x 5,3	10,007

Tabla 4.15 - Resultados de ensayo de compresión a ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET después de 7 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

Ensayo a los 7 días de compresión unitariamente a ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (Kg)	Medidas (cm)	Resistencia a compresión (Mpa)
1.42%	3,7682	28,6 x 14,4 x 5	7,841
2.42%	3,8183	29 x 14,4 x 5,1	7,904
3.42%	3,8824	28,8 x 14,4 x 5,2	8,053

Tabla 4.16 - Resultados de ensayo de compresión a ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET después de 7 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

Los datos obtenidos para el ensayo de compresión en ladrillos artesanales que contienen 22% de PET en la mezcla son bastante similares y obtienen un promedio de 10,68 MPa, lo cual es muy positivo, ya que, si lo relacionamos con la norma chilena NCh 2123, estaría cumpliendo, debido a que lo mínimo que establece esta norma en cuanto a resistencia a compresión es que un ladrillo artesanal debe resistir a lo mínimo 4 MPa, superando este dato.

Este mismo suceso pasa al observar los resultados de la tabla que resume los ensayos de compresión a ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET tiene un promedio de resistencia a compresión de 9,92 MPa a los 7 días desde su confección y cumple con lo establecido en la norma chilena NCh 2123.

Finalmente, al analizar la última tabla, se tiene que el promedio de resistencia a compresión de un ladrillo artesanal con 42% de plástico reciclado PET es de 7,932 MPa, cumpliendo así con lo establecido en la norma chilena NCh 2123 en el punto de resistencia mínima a compresión de un ladrillo artesanal, ya que supera los 4 MPa.

Además, se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de PET en la mezcla de cada ladrillo disminuye la resistencia a compresión, esto es debido a que este polímero en la mezcla no se adhiere tanto con los otros materiales, provocando más burbujas en su interior, por lo que cuesta compactarlo.

Hay que considerar que este ensayo fue realizado a los 7 días desde la confección de los ladrillos, por lo que debería obtener mayor resistencia en los ensayos que se realicen al día 28 desde la confección.

4.7 Resultados de resistencia a flexo tracción a los 7 días de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET de manera unitaria

Una vez confeccionados 9 ladrillos y pasados los primeros 7 días se debe medir resistencia a flexo tracción. Se ensayarán 3 ladrillos con 22% de PET, 3 con 32% PET y 3 ladrillos con 42% PET. Donde, para diferenciar unos de otros se usa el método anterior, de identificarlos por cifras como 4.22%, 5.22%, 6.22%, y así sucesivamente para saber cuál es el ladrillo que se está ensayando.

Hay que procurar que el equipo este limpio, que no haya nada que obstruya el ensayo, y que el ladrillo quede totalmente a 180° sobre los apoyos, hay que dejar 2,5 cm de ladrillo en las esquinas y ver que la carga puntual este centrada.

Se enciende el equipo y la carga irá a una velocidad de 0,02 m/s, los primeros 3 ladrillos a ensayar son los que contienen 22% PET en su mezcla y los resultados están expresados en la tabla 4.17, donde muestra en la primera columna la identificación de cada ladrillo, la segunda columna muestra los pesos en Kg de cada ladrillo, luego las dimensiones de estos y la última columna muestra los resultados del ensayo en MPa. Este último dato también es entregado por el mismo equipo impreso de la manera que se muestra en la figura 4.30, que muestra el resultado de uno de los ladrillos que se ensayaron, en este caso se muestra el resumen del ensayo del ladrillo n°5.22%, donde a la izquierda se muestra encerrado en color verde el momento exacto en que fue ensayada la probeta, luego encerrado en rojo muestra la resistencia que obtuvo el ladrillo expresada en KN y

MPa y por último, a la derecha muestra un gráfico encerrado en azul que muestra de qué manera se comportó el material, es decir, el “eje x” muestra el tiempo en segundos y el “eje y” la carga en KN, entonces a medida que avanza el tiempo este resistía más hasta que en un punto deja de resistir y se rompe el elemento, entregando al final del gráfico una línea recta en vertical, demostrando así, que ahí terminó el ensayo debido a que el ladrillo artesanal con plástico reciclado PET no resiste más.

Ensayo a los 7 días de flexo tracción unitariamente a ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (Kg)	Medidas (cm)	Resistencia a flexo tración (Mpa)
4.22%	4,0448	29 x14,2 x 5,1	1,952
5.22%	4,0555	29 x 14,7 x 5,1	1,942
6.22%	4,1785	28,6 x 14,5 x 5,3	1,29

Tabla 4.17 – Resultados de ensayo de flexo tracción a ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET después de 7 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

Los 3 resultados entregados por el equipo en el caso de los 3 ladrillos ensayados unitariamente a flexo tracción son bastante similares, promediando una resistencia máxima de 1,728 MPa, lo cual, si se relaciona con la norma chilena NCh 167, que habla acerca de ladrillos artesanales, no estaría cumpliendo el punto de resistencia mínima a flexo tracción ya que el mínimo establecido es de 3 MPa, y este resultado es inferior.

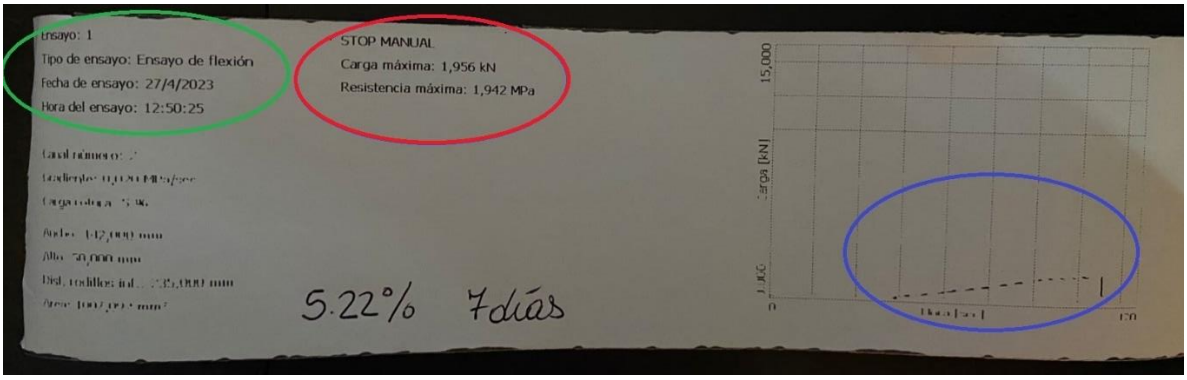


Figura 4.30 – Comprobante de ensayo de flexo tracción del ladrillo artesanal con plástico reciclado PET n° 5.22%.

Fuente: Creación propia (2023)

Este mismo procedimiento se hace con los demás ladrillos.

A continuación, se muestra en la tabla 4.18 los resultados de los ladrillos con 32% PET ensayados a flexo tracción luego de haber pasado 7 días desde su confección. La columna de la izquierda muestra la identificación de cada ladrillo, es decir, su nombre, 4.32%, 5.32%, 6.32%, la siguiente columna muestra el peso de cada ladrillo ensayado en Kg, luego las dimensiones de estos ladrillos y por último la resistencia a flexo tracción que alcanzó cada ladrillo en MPa.

Ensayo a los 7 días de flexo tracción unitariamente a ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (Kg)	Medidas (cm)	Resistencia a flexo tracción (Mpa)
4.32%	3,8578	28,6 x 14,3 x 5,1	1,639
5.32%	4,0473	28,7 x 14,3 x 5	1,886
6.32%	3,9273	28,4 x 14,6 x 5,2	1,704

Tabla 4.18 - Resultados de ensayo de flexo tracción a ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET después de 7 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

Si hablamos de los resultados de los 3 ladrillos ensayados a flexo tracción, se puede decir que el promedio de resistencia máxima en este ensayo es de 1,743 MPa para los ladrillos que contienen 32% PET, siendo un resultado casi igual que los ladrillos que contienen 22% de PET en su mezcla. Ahora, si esto lo relacionamos con la norma chilena NCh 167, se puede determinar que no estaría cumpliendo con el parámetro de la mínima resistencia de un ladrillo artesanal al flexo tracción, ya que los resultados están bajo los 3 MPa.

Y para finalizar, se muestra la tabla 4.19, que muestra los resultados del ensayo de flexo tracción para los ladrillos que poseen 42% de PET, y al igual que los otros ladrillos, estos fueron ensayados luego de 7 días de su confección, y la tabla muestra la identificación de cada ladrillo ensayado, el peso en Kg, las dimensiones en cm y la resistencia máxima en MPa.

Ensayo a los 7 días de flexo tracción unitariamente a ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (Kg)	Medidas (cm)	Resistencia a flexo tracción (Mpa)
4.42%	3,854	28,6 x 14,2 x 5,1	2,028
5.42%	3,7807	28,5 x 14 x 5,3	2,19
6.42%	3,9864	28,5 x 14,2 x 5	2,185

Tabla 4.19 - Resultados de ensayo de flexo tracción a ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET después de 7 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

Para ser exactos y solo dar un valor de resistencia a flexo tracción a los 7 días de la confección de ladrillos con 42% de PET incorporado a la mezcla, se promedia un total de 2,134 MPa, siendo el resultado más alto entre todos los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET ensayados a flexo tracción. Si lo analizamos en relación a la norma chilena NCh 167, ésta establece que un ladrillo artesanal a lo mínimo debería resistir 3 MPa a flexo tracción, por lo cual no estaría cumpliendo con este punto.

Si hablamos de todos los ladrillos ensayados luego de 7 días de la confección a flexo tracción, podemos decir que, si bien no cumplen con la norma NCh 167, a estos ladrillos aún les falta adquirir resistencia, ya que, se ensayaron a solo 7 días desde su confección, y a medida que avanza el tiempo más resistente deberían ponerse por el cemento que posee la mezcla. Por otra parte, los ladrillos que contienen 22% y 32% tienen resultados muy similares, solo destaca el ladrillo que contiene 42% y debe ser por el contenido alto de plástico que posee, lo cual, no es seguro ya que estos datos no son proporcionales, es decir, que no se da el hecho que a medida que aumenta la incorporación de PET en la mezcla, aumentará la resistencia, este aumento de resistencia solo ocurre en los ladrillos que contienen 42% PET.

4.8 Resultados de resistencia a compresión a los 28 días de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET de manera unitaria

Cuando los ladrillos cumplen 28 días desde que fueron confeccionados, se deben retirar 9 muestras, que se dividen en 3 grupos de a 3, donde estarán divididos por porcentaje de PET incorporado en la mezcla. Estos ladrillos serán pesados y medidos para clasificarlos de manera única como se mencionaba antes con las identificaciones enumeradas en cada ladrillo.

Una vez que se tienen todos los ladrillos que se ensayarán identificados, se procede a realizar el ensayo. El ladrillo se introduce individualmente con una de sus caras hacia arriba, se ingresa en la pantalla del equipo la superficie de la cara que recibirá la carga en milímetros.

El equipo comienza a comprimir este elemento de construcción y termina cuando el ladrillo obtiene su ruptura, luego el equipo entrega un resumen del ensayo impreso como las figuras 4.31 y 4.32, donde la primera figura en la parte izquierda marcada en verde, muestra el momento exacto en que comenzó el ensayo, y a la derecha encerrado en rojo, sale el resultado del ensayo, es decir, la resistencia a compresión del ladrillo artesanal con plástico reciclado PET en KN y en MPa, y en la figura 4.32, se muestra un gráfico que indica el comportamiento del ladrillo a medida que se aplica carga a compresión, donde el “eje x” muestra el tiempo en segundos y el “eje y” muestra la carga en KN final del gráfico se observa una recta en vertical, esto demuestra que el material se rompió, y por ende finaliza el ensayo.

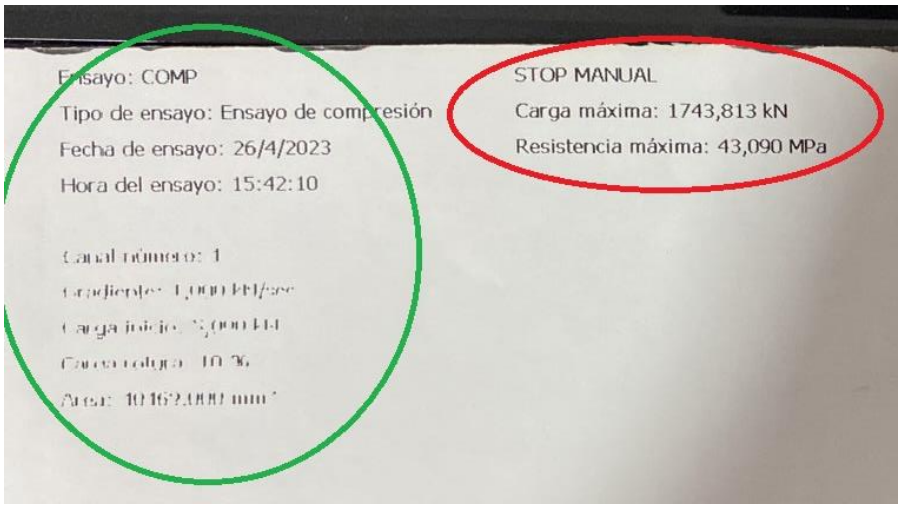


Figura 4.31 – Comprobante impreso entregado por el equipo en el ensayo de compresión para el ladrillo identificado como 2.32% luego de 28 días

Fuente: Creación propia (2023)

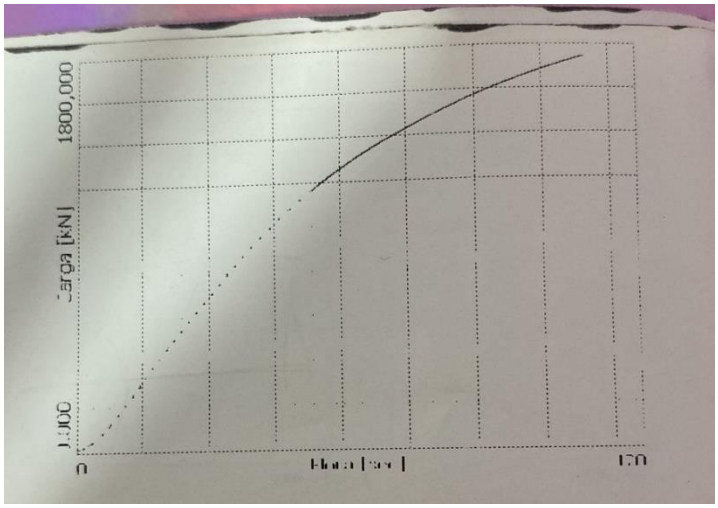


Figura 4.32 – Gráfico impreso entregado por el equipo en el ensayo de compresión para el ladrillo identificado como 2.32% luego de 28 días

Fuente: Creación propia (2023)

El equipo entregó un documento impreso con el resumen de cada ensayo que se realizó, donde se muestra una resistencia superior a la que se esperaría. El ensayo de compresión de estos ladrillos obtuvo un fenómeno extraño, ya que, una vez que el ladrillo se rompió, el equipo siguió aplicando cargas, esto quiere decir que la prensa no capta el momento exacto en que este elemento

se rompe debido a que el área del elemento es muy grande en comparación a su altura, haciendo que el ladrillo se muela por dentro y sus partículas se acomoden y el equipo sienta que aún está en su forma inicial , entonces sigue comprimiendo y entrega un dato errado, ya que es demasiado alto.

Para poder obtener un resultado verídico, se interpretaron los gráficos, para poder ver cuál fue el momento exacto en que se rompió el elemento, ya que, la resistencia que se muestra en el documento es superior a la real, debido a que la dosificación que se hizo es para tener una resistencia promedio de 20 MPa en cada ladrillo, por lo cual estos ensayos están mal, entonces se hicieron estos gráficos en Excel, donde al terminal la curva punteada, se supone que el elemento se rompe, entonces se capta ese punto exacto y se determina el minuto en que esto sucede, para posteriormente, ensayar un ladrillo y sacarlo al mismo minuto y ver si este está roto.

La figura 4.33 muestra el gráfico de la curva anteriormente mostrada, hecho en Excel, donde en color azul esta la curva punteada y en naranjo la curva que continúa entonces, donde se determina que en el punto que está encerrado en rojo la carga fue de 1162,542 KN y fue justo en el minuto 7:36, entonces debe hacerse un nuevo ensayo a compresión, pero justo en el minuto 7:36 debe detenerse el ensayo y sacarse el ladrillo para ver si obtiene una carga similar, cabe destacar que el gráfico demuestra que este ladrillo artesanal con 32% de PET incorporado a la mezcla resiste 28,775 MPa, siendo un resultado mucho más posible de acuerdo a la dosificación realizada.

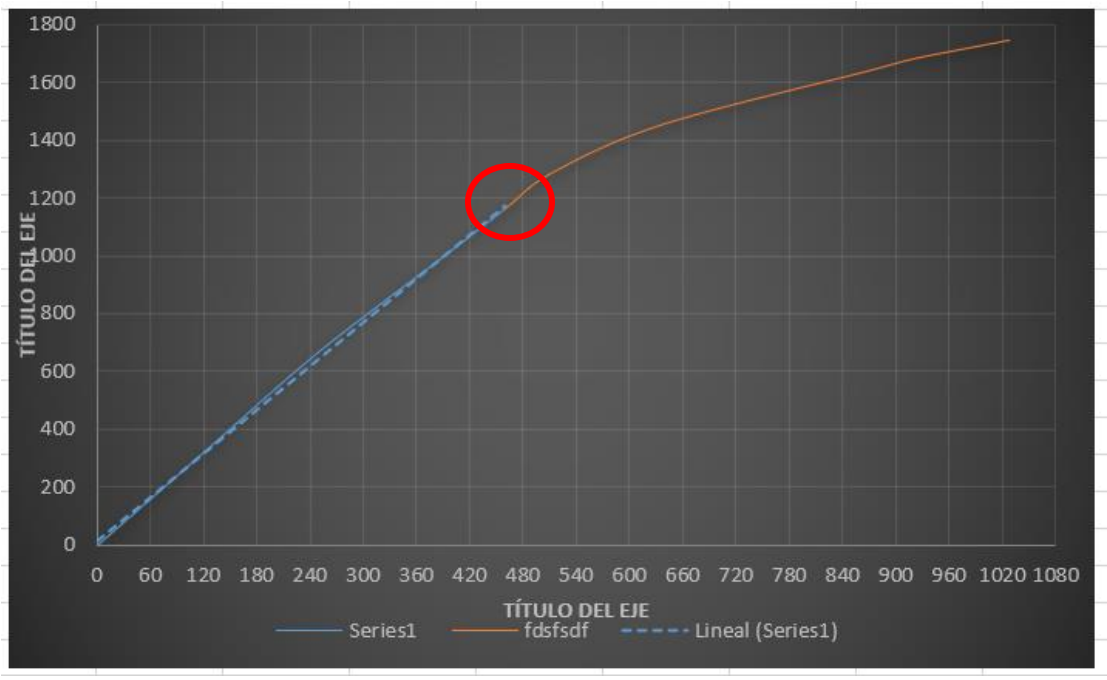


Figura 4.33 – Gráfico entregado por el equipo en el ensayo de compresión para el ladrillo identificado como 2.32% luego de 28 días hecho en Excel

Fuente: Creación propia (2023)

Este documento impreso se entrega por cada uno de los ensayos, y se hizo este análisis para cada uno de los ensayos que se realizaron y luego se vuelve hacer cada ensayo, deteniéndolo en el minuto que se calculó, donde en las siguientes tablas 4.20, 4.21 y 4.22 se muestran los resultados obtenidos para los ladrillos artesanales con 22%, 32% y 42% de plástico reciclado PET respectivamente. En la columna izquierda se muestra la identificación de cada ladrillo, luego el peso de cada ladrillo en Kg, después las dimensiones de cada ladrillo en centímetros y finalmente la resistencia a compresión en MPa.

Ensayo a los 28 días de compresión unitariamente a ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (Kg)	Medidas (cm)	Resistencia a compresión (Mpa)
1.22%	4,3192	28,3 x 14,3 x 5,4	32,608
2.22%	4,2162	28,4 x 14,4 x 5,5	32,07
3.22%	4,2699	28,5 x 14,6 x 5,4	33,411

Tabla 4.20 - Resultados de ensayo de compresión de ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET después de 7 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

Ensayo a los 28 días de compresión unitariamente a ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (Kg)	Medidas (cm)	Resistencia a compresión (Mpa)
1.32%	4,141	28,5 x 14,5 x 5,1	27,054
2.32%	4,1492	28,4 x 14,2 x 5	28,775
3.32%	4,4812	28,4 x 14,5 x 5,7	28,156

Tabla 4.21 - Resultados de ensayo de compresión de ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET después de 28 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

Ensayo a los 28 días de compresión unitariamente a ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (Kg)	Medidas (cm)	Resistencia a compresión (Mpa)
1.42%	4,2222	28,6 x 14,5 x 5,4	23,93
2.42%	4,0656	28,5 x 14,4 x 5,2	23,108
3.42%	4,2266	28,5 x 14,1 x 5,3	23,754

Tabla 4.22 - Resultados de ensayo de compresión de ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET después de 28 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

El ladrillo artesanal con 22% de plástico reciclado PET tiene un promedio de resistencia a compresión de 32,696 MPa, que, si lo asociamos con la norma chilena NCh 2123, estaría cumpliendo, ya que esta establece que un ladrillo artesanal debe resistir a compresión 4 MPa como mínimo, superando este dato, por lo cual estos resultados son bastante positivos.

Las resistencias a compresión de los ladrillos artesanales con 32% de PET incorporado a la mezcla obtenidas en esta oportunidad dieron valores muy similares, pero se promedian dando una resistencia de 27,995 MPa, lo cual cumple con lo establecido en la norma chile NCh 2123, ya que dice que un ladrillo artesanal debe resistir a lo mínimo a compresión 4 MPa.

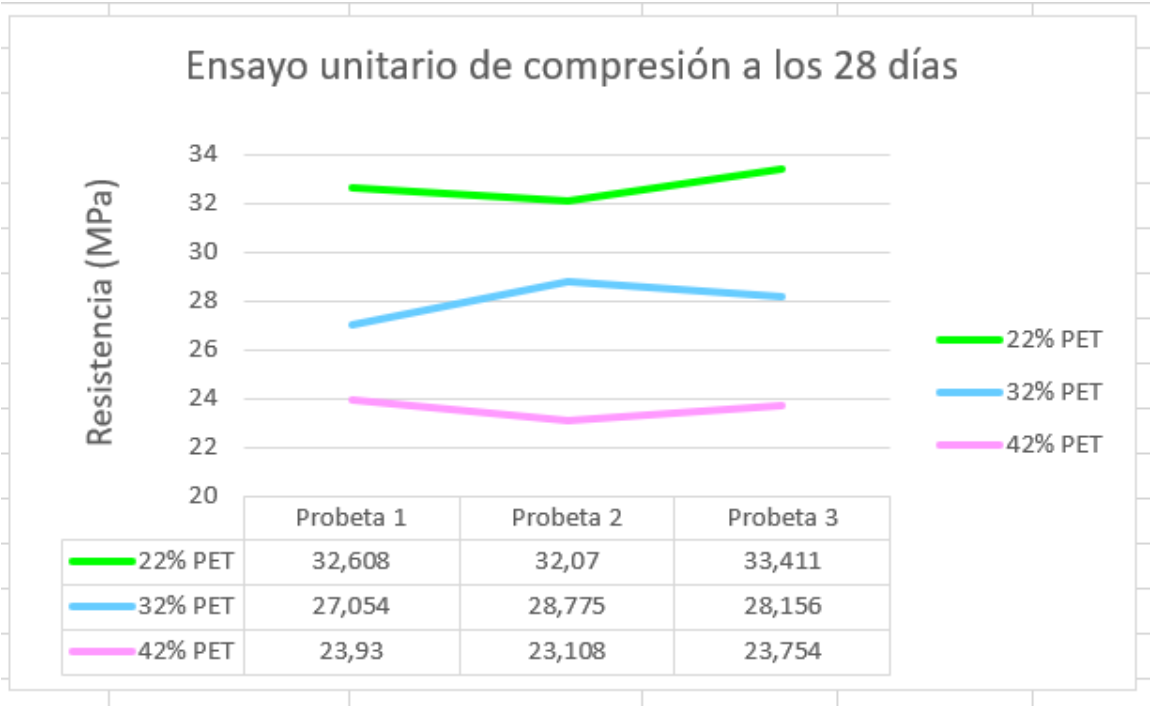
Los ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET tienen una resistencia promedio a compresión de 23,597 MPa, cumpliendo así con la norma chilena NCh 2123, que dice que un ladrillo artesanal debe resistir a lo mínimo 4 MPa.

A continuación, se muestra la figura 4.34 que muestra un trozo del ladrillo ya roto por la compresión y permite ver su interior, como se ven las partículas.



Figura 4.34 – Interior de un ladrillo artesanal con plástico reciclado PET
Fuente: Creación propia (2023)

Los datos que se obtuvieron en este ensayo en general son muy positivos, ya que todos estarían cumpliendo con la norma. Además, se puede observar en la figura 4.35 que a medida que aumenta el porcentaje de PET que tienen las mezclas para la confección de cada ladrillo disminuye la resistencia. El gráfico representa los 9 ensayos a compresión que se realizaron, donde el “eje x” muestra las 9 probetas ensayas y el “eje y” indica la resistencia de cada ladrillo en MPa, los ladrillos artesanales con 22% PET son la curva color verde, y muestra que los 3 resultados obtenidos son los más altos, la curva color celeste, que representa los ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET están en los datos del medio y la curva rosa, representa los ladrillos con 42% de plástico reciclado PET son los 3 resultados más bajos de este ensayo. Y esto es debido a la poca adherencia que tiene el PET en la mezcla, entonces mientas más plástico se le agregue habrá una dificultad mayor en la compactación, por la cantidad de aire que se forma entre las partículas.



	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
22% PET	32,608	32,07	33,411
32% PET	27,054	28,775	28,156
42% PET	23,93	23,108	23,754

Figura 4.35 – Comparación de resultados de ensayos de compresión a los 28 días entre los ladrillos con diferentes porcentajes de PET.

Fuente: Creación propia (2023)

A continuación, se muestra la tabla 4.23 que muestra un cálculo a modo de conclusión de la razón peso/resistencia de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET ensayados a compresión, en comparación a un ladrillo artesanal descrito en la norma chilena NCh 2123, tomando en consideración el promedio de los resultados, donde en la columna izquierda muestra el tipo de

ladrillo que se va a evaluar, en la segunda columna está el peso en Kg de cada ladrillo, luego la resistencia en MPa de cada ladrillo, y finalmente, en la columna derecha se establece la razón peso resistencia para cada uno de los bloques.

Tipo de ladrillo	Peso (Kg)	Resistencia a compresión (Mpa)	Razón peso/resistencia
Artesanal norma NCh 2123	2,5	4	1,6
Con 22% de PET	4,268	32,696	7,661
Con 32% de PET	4,257	27,995	6,576
Con 43%de PET	4,171	23,597	5,657

Tabla 4.23 – Razón peso/resistencia de cada ladrillo artesanal ensayado y el que establece la norma chilena NCh 2123.

Fuente: Creación propia (2023)

Si se compara directamente con la norma chilena NCh 2123, podemos decir que si se calcula el peso/resistencia que pide para un ladrillo artesanal común sería de 1,6; considerando que el peso de este es 2,5 Kg y tiene una resistencia de 4 MPa. En este caso, si hablamos del ladrillo artesanal con 42% de plástico reciclado PET, considerando que este ladrillo tiene más porcentaje de PET añadido a su mezcla, se tiene una razón de peso/resistencia de 5,7. Entonces podemos concluir que, mientras un ladrillo artesanal resiste 1,6 veces su peso, el ladrillo artesanal con 42% de plástico reciclado PET está resistiendo casi 6 veces su peso, por lo cual, en este parámetro es mucho más resistente ya que el ladrillo con PET resiste 3,6 veces más que un ladrillo artesanal descrito en la norma chilena NCh 2123.

4.9 Resultados de resistencia a flexo tracción a los 28 días de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET de manera unitaria

Cuando ya han pasado 28 días desde la confección de los ladrillos se puede medir el ensayo de flexo tracción de manera unitaria, y para esto hay que diferenciar cada ladrillo para saber cuál es el que se está midiendo en cada momento, es por esto, como se menciona en puntos anteriores cada ladrillo se identifica de manera única, por 1.22%, 2.22%, 3.22% y así sucesivamente, de esta misma manera se hace con cada porcentaje en los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET.

Cada ladrillo se pone individualmente en el equipo, procurando que cada apoyo este en el punto que corresponde, es decir, dejando 2,5cm del ladrillo en cada esquina, y que la carga puntual este justo en el centro del elemento como se muestra en la figura 4.36, y se procede a realizar el ensayo, la carga se aplica a una velocidad de 0,02 m/s, este termina cuando el ladrillo se rompe tal

como se muestra en la figura 4.37, ahí se puede observar una fisura evidenciando que el ladrillo está roto en una de sus caras debido a que soportó la carga puntual máxima, el equipo entrega un documento impreso que se muestra en la figura 4.38, este indica el momento en que se realizó el ensayo, el resultado en KN y en MPa como se marca en rojo, y además en la parte derecha de la impresión aparece un gráfico que su “eje x” expresa el tiempo en segundos y en el “eje y” la carga en KN, cuando el elemento alcanza su resistencia máxima y se rompe, se observa en el gráfico que ahí finalizó el ensayo ,ya que, los datos dejan de subir y solo aparece una recta en vertical demostrando así, que este elemento ya alcanzó su punto máximo y se rompió, tal como se muestra en rojo en la figura 4.39.



Figura 4.36 – Ensayo de flexo tracción de ladrillo artesanal con plástico reciclado PET
Fuente: Creación propia (2023)



Figura 4.37 – Ladrillo artesanal con plástico reciclado PET luego de la ruptura por la carga aplicada en el ensayo de flexo tracción.

Fuente: Creación propia (2023)

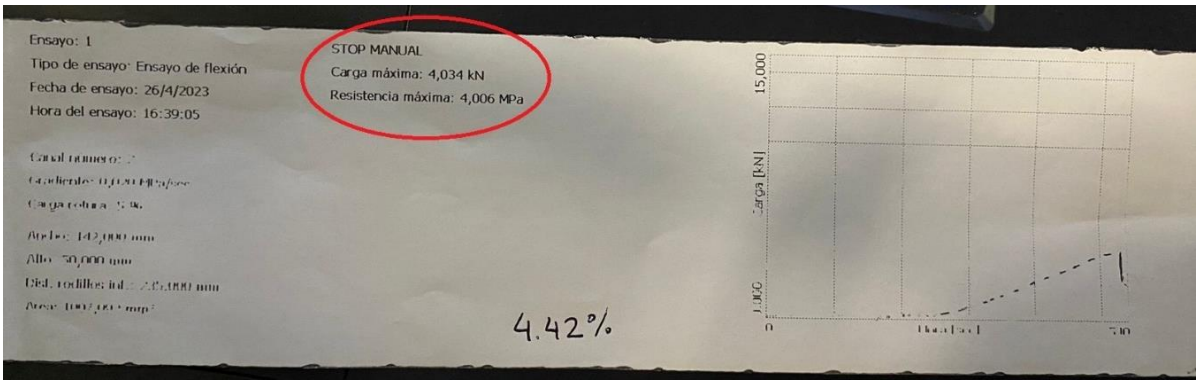


Figura 4.38 – Comprobante de ensayo a flexo tracción de ladrillo unitario con 42% de PET a los 28 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

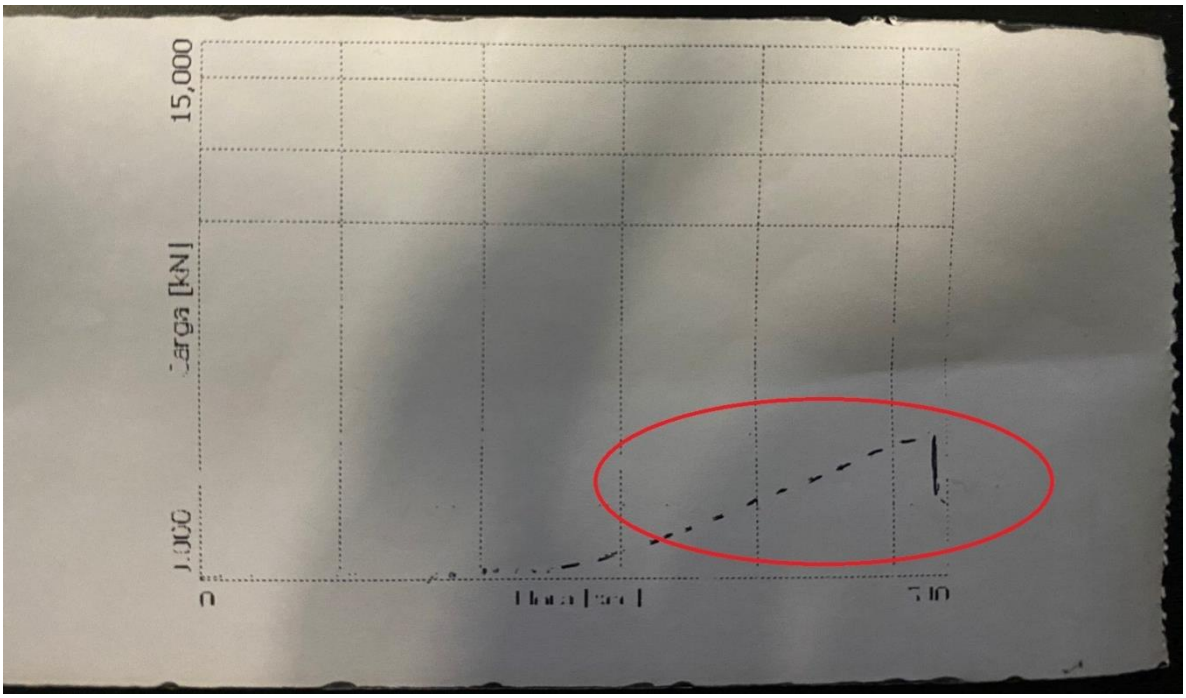


Figura 4.39 – Gráfico de resistencia que entrega el equipo en ensayo de flexo tracción para ladrillo unitario con 42% PET a los 28 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

Este ensayo se repite con cada uno de los ladrillos que se desean medir, en este caso, se ensayaron 3 ladrillos artesanales de cada porcentaje, y en las tablas 4.24, 4.25 y 4.26 se muestran los resultados que la columna izquierda indica la identificación de cada ladrillo, en la segunda columna el peso en Kg de cada ladrillo, luego las dimensiones y la columna de la derecha indica el resultado en MPa que entregó el equipo una vez terminado cada ensayo. Cabe destacar que los resultados son los MPa que alcanza el elemento justo en la ruptura.

Ensayo a los 28 días de flexo tracción unitariamente a ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (Kg)	Medidas (cm)	Resistencia a flexo tración (Mpa)
4.22%	4,208	28,1 x 14,2 x 5	3,702
5.22%	4,2642	28,5 x 14,4 x 5	3,318
6.22%	4,3049	28,1 x 14,5 x 5,4	3,686

Tabla 4.24 – Resultados de flexo tracción de ladrillos unitarios con 22% PET a los 28 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

Ensayo a los 28 días de flexo tracción unitariamente a ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (Kg)	Medidas (cm)	Resistencia a flexo tracción (Mpa)
4.32%	4,135	28,4 x 14,2 x 4,4	4,602
5.32%	4,303	28,5 x 14,8 x 5	4,673
6.32%	4,1614	28,6 x 14,4 x 5,1	4,006

Tabla 4.25 – Resultados de flexo tracción de ladrillos unitarios con 32% PET a los 28 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

Ensayo a los 28 días de flexo tracción unitariamente a ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET			
Identificación del ladrillo	Peso (Kg)	Medidas (cm)	Resistencia a flexo tracción (Mpa)
4.42%	4,096	28,6 x 14,5 x 5,1	5,846
5.42%	4,0684	28,5 x 14,5 x 5,3	4,987
6.42%	4,2566	28,6 x 14,4 x 5,2	5,138

Tabla 4.26 – Resultados de flexo tracción de ladrillos unitarios con 42% PET a los 28 días desde su confección.

Fuente: Creación propia (2023)

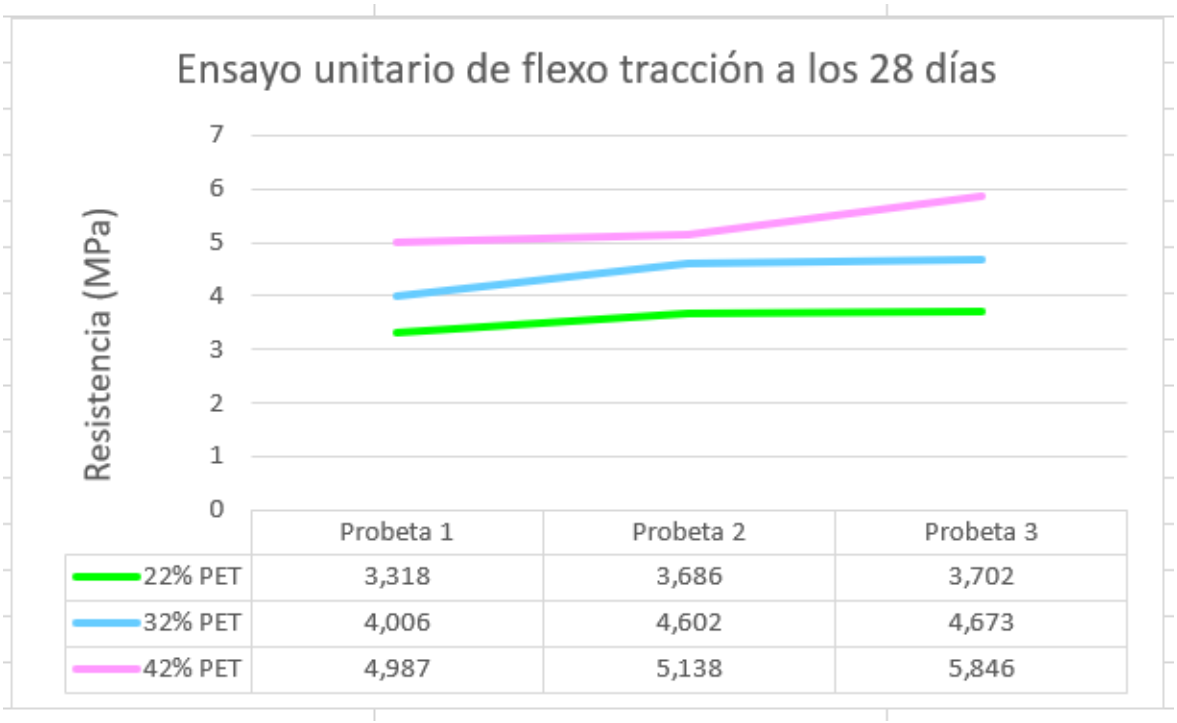
En el caso de los 3 ladrillos que contienen 22% de PET agregado a la mezcla que se ensayaron a flexo tracción los resultados dieron bastante similares, promediando un total en su resistencia 3,569 MPa, lo cual es positivo, ya que, de acuerdo a lo establecido en la norma NCh 2123 un ladrillo artesanal tradicional debe resistir 3 MPa para cumplir con los parámetros, por lo que este ladrillo estaría cumpliendo con esta norma.

La tabla 4.24 demuestra que los ladrillos que contienen 32% PET agregado en la mezcla, cumpliendo sus 28 días desde la confección, tienen un promedio de resistencia de 4,427 MPa. Si esto se compara directamente con la norma chilena NCh 2123, supera los 3 MPa mínimos solicitados por cada ladrillo.

Al igual que los resultados anteriores, estos resultados son muy positivos. Los ladrillos medidos en este caso contienen 42% de PET agregado a la mezcla, y tiene un promedio de resistencia a flexo tracción de 5,323 MPa, esto ensayado pasados los 28 días desde su confección.

Si hablamos de todos los resultados que se mostraron anteriormente de flexo tracción a ladrillos artesanales con plástico reciclado PET que se ensayaron después de 28 días desde su confección, se puede concluir que a medida que aumenta el porcentaje de PET agregado a la mezcla aumenta la resistencia de flexo tracción, y se demuestra en la figura 4.40, que se observa un gráfico

que indica 3 curvas de distintos colores, en el “eje x” están los ladrillos que se midieron, y el “eje y” expresa la resistencia de flexo tracción en MPa, la curva color verde, representa los 3 resultados que arrojó el equipo para los 3 ensayos de ladrillos con 22% PET, la curva color celeste, indica los 3 resultados para los 3 ensayos de ladrillos con 32% de PET y la curva color rosa muestra los 3 resultados de los 3 ladillos ensayados que contienen 42% PET. Es evidente, que mientras aumenta el PET, aumenta la resistencia a flexo tracción, ya que cada curva está en una posición más arriba en el “eje y” que la anterior.



	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
22% PET	3,318	3,686	3,702
32% PET	4,006	4,602	4,673
42% PET	4,987	5,138	5,846

Figura 4.40 – Comparación de resultados de ensayos de flexo tracción a los 28 días entre los ladrillos con diferentes porcentajes de PET.

Fuente: Creación propia (2023)

Además, se destaca que todos los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET cumplen con la norma chilena NCh 2123, ya que todos los resultados entregados a los 28 días desde la confección son sobre los 3 MPa en los ensayos de flexo tracción.

4.10 Resultados de resistencia térmica a los 28 días de muretes de ensayo confeccionados con ladrillos artesanales con plástico reciclado PET

Una vez que los ladrillos están confeccionados, se espera 28 días y se retiran 72 que se dividen en 3 grupos, 24 de que contienen 22% PET, otros 24 contienen 32% y los otros 24 contienen 42% PET en su mezcla. Estos ladrillos se utilizarán para confeccionar 9 muretes de ensayo de medidas 60x60 cm como se muestra en la figura 4.41, y serán 3 muros de cada porcentaje de PET.



Figura 4.41 – Murete de ensayo confeccionado con ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET.

Fuente: Creación propia (2023)

Los ensayos en que se verán sometidos estos muretes son aislación acústica y resistencia térmica. El presente punto se centrará en este último ensayo.

Los ladrillos se pegarán unos con otros con mortero de pega y se debe esperar 7 días desde la confección del mortero para poder ensayarlos. Una vez hayan pasado estos días, comienza el ensayo.

Para poder completar los datos en fórmula que establece el punto 3.10.1 del marco teórico se requiere de 2 experimentos, el primero es para determinar el calor específico del muro de ensayo y las calorías añadidas a este mismo, donde en un recipiente más grande que las dimensiones del muro de ensayo debe introducirse, además se inserta dentro de este mismo recipiente un instrumento llamado calorímetro luego se aplicará 1,5 litros de agua fría, se tapa este recipiente y se deja un orificio donde caiga un termómetro para medir la temperatura. Luego, se aplicará exactamente la misma cantidad, pero de agua caliente, en este caso a 100°C, es decir, recién hervida, y cuando se aplica se cierra el recipiente y se debe esperar y revolver unos minutos para que exista un equilibrio de temperaturas entre estos 2 líquidos y luego se vuelve a medir la temperatura con un termómetro, así se obtendrá la diferencia de temperaturas, considerando que el muro siempre estuvo dentro. Además, el calorímetro que estuvo dentro, medirá las diferencias de calorías que hubo desde que dentro solo había agua fría hasta que se mezcló con agua caliente, en este caso las calorías se transfirieron, es decir, al añadir agua caliente se añadieron también calorías a los elementos dentro del recipiente.

Con este experimento, se puede determinar las calorías añadidas que están encerradas en rojo en la siguiente la fórmula que permitirá determinar el calor específico del murete de ensayo:

$$C = \frac{m * \Delta T}{Q}$$

Una vez, realizado este experimento, el calorímetro indicó que para el muro que contiene 22% de PET en su mezcla se añadieron 806.744 calorías en un promedio de los 3 ensayos.

Para el caso de los muros que contienen 32% de PET en su mezcla el calorímetro indicó que se añadieron en promedio de los 3 ensayos 856.704 calorías.

Y respecto a los muretes de ensayo que contienen 42% de PET en la mezcla el calorímetro indica que hubo 911.521 calorías añadidas durante los 3 ensayos en promedio.

Teniendo, los datos de las calorías, las temperaturas del líquido en frío y tibio, se determinó el calor específico de cada uno de los muretes. Las tablas 4.27, 4.28 y 4.29 muestran en resumen los resultados obtenidos, haciendo un promedio de valores en los 3 ensayos de cada murete, en la columna izquierda muestra los parámetros que se consideran para llegar a los resultados, en la segunda columna las siglas, luego las unidades, después los valores en cada ensayo.

MURO DE 22%	SIGLA	UNIDAD	DATOS EXP.1	DATOS EXP.2	DATOS EXP.3	
MASA AGUA FRÍA	m1	cc	1500	1500	1500	
MASA DEL MURO	m_{muro}	gr	41200	41200	41200	
MASA AGUA CALIENTE	m2	cc	1500	1500	1500	
TEMPERATURA DEL AGUA FRÍA	T1	C°	14,3	14,3	14,3	
TEMPERATURA DEL AGUA CALIENTE	T2	C°	100	100	100	
TEMPERATURA DE LA MEZCLA	T3	C°	82,5	85,7	83,1	$\bar{X}$
CALOR ESPECÍFICO DEL MURO	C_{muro}	$cal/_{gr\,°C}$	0,237	0,228	0,236	0,234

Tabla 4.27 – Resumen ensayo de calor específico de muretes que contienen 22% PET en la mezcla. Fuente: Creación propia (2023).

MURO DE 32%	SIGLA	UNIDAD	DATOS EXP.1	DATOS EXP.2	DATOS EXP.3	
MASA AGUA FRÍA	m1	cc	1500	1500	1500	
MASA DEL MURO	m_{muro}	gr	41200	41200	41200	
MASA AGUA CALIENTE	m2	cc	1500	1500	1500	
TEMPERATURA DEL AGUA FRÍA	T1	C°	14,3	14,3	14,3	
TEMPERATURA DEL AGUA CALIENTE	T2	C°	100	100	100	
TEMPERATURA DE LA MEZCLA	T3	C°	86,2	85	84,2	
CALOR ESPECÍFICO DEL MURO	C_{muro}	$cal/_{gr\,°C}$	0,241	0,245	0,241	0,242

Tabla 4.28 – Resumen ensayo de calor específico de muretes que contienen 32% PET en la mezcla. Fuente: Creación propia (2023).

MURO DE 42%	SIGLA	UNIDAD	DATOS EXP.1	DATOS EXP.2	DATOS EXP.3	
MASA AGUA FRÍA	m1	cc	1500	1500	1500	
MASA DEL MURO	m_{muro}	gr	41200	41200	41200	
MASA AGUA CALIENTE	m2	cc	1500	1500	1500	
TEMPERATURA DEL AGUA FRÍA	T1	C°	14,3	14,3	14,3	
TEMPERATURA DEL AGUA CALIENTE	T2	C°	100	100	100	
TEMPERATURA DE LA MEZCLA	T3	C°	83,7	86	80,2	$\bar{X}$
CALOR ESPECÍFICO DEL MURO	C_{muro}	$cal/_{gr\,°C}$	0,264	0,257	0,276	0,266

Tabla 4.29 – Resumen ensayo de calor específico de muretes que contienen 42% PET en la mezcla. Fuente: Creación propia (2023).

En los resultados se puede observar que el calor específico aumenta a medida que aumenta el porcentaje de PET que existe en su mezcla, si bien los datos no son muy diferentes, existe un pequeño aumento en estos valores.

En segundo lugar, se procede a realizar el segundo paso del ensayo que es introducir el murete a una cámara térmica para conocer el calor que se transmite. Hay que ver que todas las caras del muro estén lisas, ya que se introducirá a una cámara térmica y debe caber justo, es decir, no debe haber espacios entre las paredes de la cámara y el murete, así no permitirá que pasen las temperaturas por estos vacíos. Después, hay que pesar y medir las dimensiones de cada murete de ensayo, para poder identificar cada uno y darle un nombre al igual que los ladrillos unitarios. Cabe destacar, que hay que someter el muro al ensayo térmico estando seco, para que no haya una alteración en los resultados.

Luego, se abre la cámara térmica que se muestra en las figuras 4.42 y 4.43 que se ve el equipo con la tapa abierta y luego cerrada. El muro de ensayo se pone justo en el marco interior de esta cámara y se aplica calor desde un lado donde, la máxima de capacidad de calor es de 50°C. Al otro lado del muro se introduce un instrumento que permite medir la temperatura del aire llamado “Exterch Mini Thermo-Anemometer” que se muestra en la figura 4.44. Entonces, se mide la temperatura al otro lado del muro cuando las ampolletas de la cámara térmica están apagadas y sin funcionamiento y luego se deja actuar por 7,5 horas para balancear las temperaturas trasmitidas, es decir, el equipo ira mostrando que los grados suben a medida que se aplica calor desde un lado, cuando este deje de subir por 1 hora, en otras palabras que se mantenga la misma temperatura todo este tiempo se detiene el ensayo, para posteriormente observar la temperatura con las ampolletas encendidas. De este modo se obtendrán las temperaturas iniciales y finales de este ensayo.



Figura 4.42 – Cámara térmica abierta.

Fuente: Creación propia (2023)



Figura 4.43 – Cámara térmica cerrada.

Fuente: Creación propia (2023)



Figura 4.44 - Exterch Mini Thermo-Anemometer, instrumento que permite medir la temperatura del ambiente.

Fuente: Creación propia (2023)

Estas temperaturas encerradas en rojo servirán para aplicarlas a la siguiente fórmula que determinará la conductividad térmica (K o λ), conociendo también el dato de las calorías añadidas, el área del muro, espesor y tiempo que estuvo dentro de la cámara, se logra obtener K o λ.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA\frac{T_c - T_f}{\varepsilon}$$

A continuación, se muestran las temperaturas obtenidas cuando el murete de ensayo fue introducido a la cámara térmica, éstas se ven las tablas 4.30, 4.31 y 4.32, donde la primera columna muestra la identificación del murete, la segunda columna el peso de este murete, luego las dimensiones y finalmente la temperatura inicial y final de este ensayo.

Temperaturas en ensayo térmico en muretes que contienen 22% de PET en su mezcla			
Identificación del murete	Peso (Kg)	Dimensiones (cm)	Diferencia de temperaturas
1.22%	42,012	59,7 x 60,1 x 5,7	39,6°C
2.22%	44,161	59,9 x 60,6 x 5,5	40,9°C
3.22%	42,97	60 x 60,3 x 5,4	40,2°C

Tabla 4.30 – Resultados de temperaturas de murete de ensayo con 22% PET en cámara térmica. Fuente: Creación propia (2023)

Temperaturas en ensayo térmico en muretes que contienen 32% de PET en su mezcla			
Identificación del murete	Peso (Kg)	Dimensiones (cm)	Diferencia de temperaturas
1.32%	41,21	59,5 x 60 x 5,6	34°C
2.32%	41,638	59,7 x 60,3 x 5,1	35,2°C
3.32%	42,04	59,3 x 60,2 x 5,2	33,8°C

Tabla 4.31 – Resultados de temperaturas de murete de ensayo con 32% PET en cámara térmica. Fuente: Creación propia (2023)

Temperaturas en ensayo térmico en muretes que contienen 42% de PET en su mezcla			
Identificación del murete	Peso (Kg)	Dimensiones (cm)	Diferencia de temperaturas
1.42%	41,036	60,1 x 60,1 x 5,5	31,3°C
2.42%	40,827	59,8 x 60,2 x 5,3	29,8°C
3.42%	40,405	60,4 x 60 x 5,4	30,6°C

Tabla 4.32 – Resultados de temperaturas de murete de ensayo con 42% PET en cámara térmica. Fuente: Creación propia (2023)

Se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de PET en los muretes de ensayo la temperatura que se transmite es menor en la cámara, por lo cual se puede deducir que a medida que aumenta el tereftalato de polietileno debe existir una mayor resistencia térmica en el elemento.

A su vez, con estos valores se pudo obtener K o λ, que vendría siendo la conductividad térmica de los muretes, que en este caso la tabla 4.33 muestra en resumen el valor promedio de cada murete, la columna izquierda muestra el porcentaje de PET en cada murete, la segunda columna el valor del calor específico del murete y la última columna la unidad.

CONDUCTIVIDAD TERMICA (λ)		
LADRILLO	(λ)	
22%	0,22	W/MK
32%	0,19	W/MK
42%	0,15	W/MK

Tabla 4.33 – Conductividad térmica de los muretes de ensayo.
Fuente: Creación propia (2023).

Una vez que se obtenga la conductividad térmica, ya se podrá calcular la resistencia térmica con la fórmula que indica el presente informe en el punto 3.10.1 del marco teórico.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

La tabla 4.34 muestra los resultados de resistencia térmica de los muretes de ensayo, donde la columna izquierda indica el porcentaje de PET que tiene cada uno de los muretes, la segunda columna el valor de la resistencia térmica de estos muretes y la columna derecha las unidades.

RESISTENCIA TERMICA (RT)		
MURO	(RT)	
22%	0,25	W/M2K
32%	0,29	W/M2K
42%	0,35	W/M2K

Tabla 4.34 – Resistencia térmica de muretes de ensayos.
Fuente: Creación propia (2023).

Los resultados indican que a medida que aumenta el porcentaje de PET, aumenta la resistencia térmica y es debido a las propiedades térmicas que posee el PET, eso quiere decir, que le transmitió esta propiedad al elemento de construcción. Al mismo tiempo se puede concluir que estos ladrillos artesanales con plástico reciclado PET estarían cumpliendo con la norma chilena NCh 853 of 2007, ya que, esta establece que debe resistir a lo mínimo 0,17 W/M2K, y los resultados indican que son superiores, por lo que es un elemento con muchos atributos por entregar al área de la construcción.

4.11 Resultados de aislación acústica a los 28 días de muretes de ensayo confeccionados con ladrillos artesanales con plástico reciclado PET

Cuando los ladrillos hayan cumplido 28 días desde su confección, se deben retirar 108 ladrillos, que se dividirán en 3 grupos en diferentes porcentajes de PET cada uno. Esto se hace para confeccionar muretes de ensayo de 60x60 cm con mortero de pega tal como el de la figura 4.45, se deja secar por 7 días más y ya se pueden ensayar.



Figura 4.45 – Murete de ensayo confeccionado con ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET

Fuente: Creación propia (2023)

En este ensayo se utilizará la misma cámara que para el ensayo de resistencia térmica, ya que por el mismo lado que se aplicaba calor ahora se aplicarán ondas de sonidos que emiten diferentes decibeles que este murete debe resistir.

Para poder medir esto, se utilizó una aplicación para teléfono móvil, llamada “Decibel Meter”, que se muestra en la figura 4.46, ésta permite medir los decibeles que se están transmitiendo en el ambiente.



Figura 4.46 – Aplicación móvil “Decibel Meter”, permite medir los decibeles que se están transmitiendo en el ambiente.

Fuente: Creación propia (2023)

Entonces, los primeros tres muros sometidos a este ensayo fueron los que poseen 22% de PET agregado a la mezcla. Donde se ingresó de uno a la cámara, hay que procurar que no queden vacíos en el perímetro del muro, entonces se ingresa un parlante conectado a bluetooth de un teléfono móvil, de modo que se pueda ir subiendo los decibeles desde afuera de la cámara a medida que resista y que no se transmitan más decibeles de los que establece la norma chilena NCh 352 desde el otro lado, en cada decibel que se va subiendo se espera 1 minuto para observar cómo va el otro lado y cuantos son los decibeles transmitidos.

Los sonidos que se emitieron fueron hasta los 80 dB, donde primero, no se generó ruido, es decir solo se vio cuanto ruido se transmitía en el ambiente el cual estaba emitiendo 30 dB y arrojó un dato de transmitancia de 19 dB, y luego se comenzó a agregar sonidos en rangos de un minuto cada decibel, alcanzando los 80 dB emitidos, donde en el otro lado los sonidos transmitidos fueron de 51 dB como se muestra en la figura 4.47.

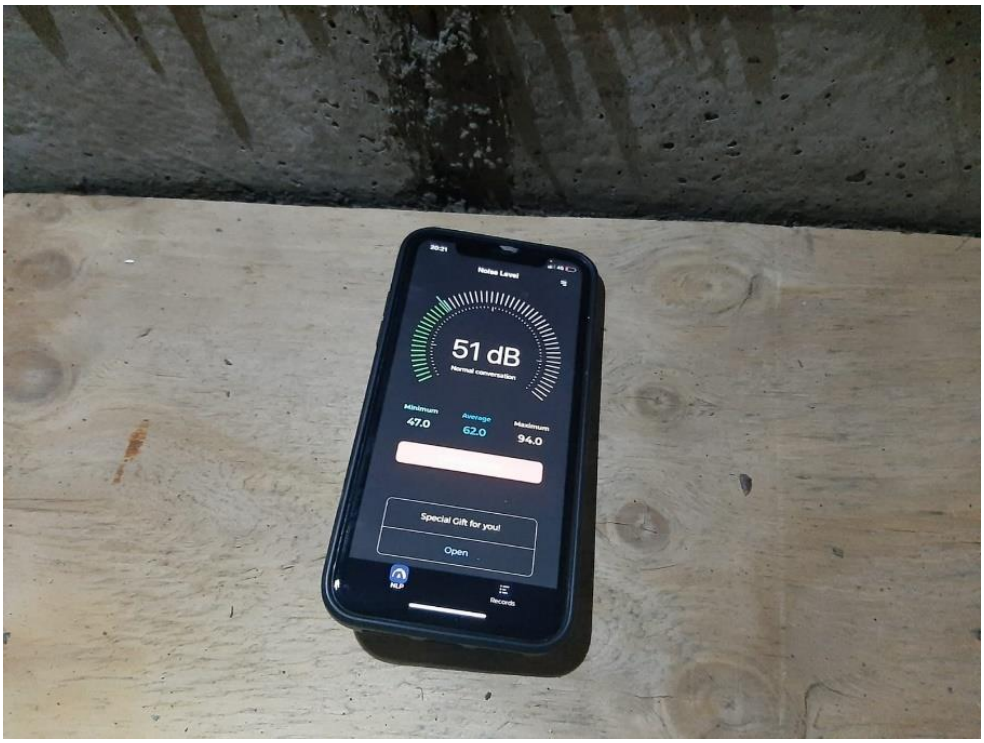


Figura 4.47 – Resultado de decibeles transmitidos por un lado de un murete de ensayo de ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET cuando se emiten 80 decibles por el otro lado.

Fuente: Creación propia (2023)

Entonces, con estos datos se puede determinar la resistencia de este murete de ensayo de la siguiente manera:

Resistencia acústica = dB emitidos – dB transmitidos

Este procedimiento se hace 2 veces, cuando se emiten los menores decibeles y los máximos decibeles para obtener un promedio.

Resistencia acústica 1 = 30 dB – 11 dB

Resistencia acústica 1 = 19 dB

Resistencia acústica 2 = 80 dB – 51 dB

Resistencia acústica 2 = 29 dB

Resistencia acústica promedio = $\frac{(19+29)}{2}$

Resistencia acústica promedio = 24 dB

A continuación, se muestra la tabla 4.35 que expresa los resultados de aislación acústica en muretes de ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET. En la primera columna se observa la identificación del muro, en la segunda columna se muestra el peso de los muros en Kg, la siguiente columna muestra las dimensiones y finalmente la aislación acústica que obtuvo cada muro.

Resultados de aislación acústica en muretes de ensayos que contienen 22% de PET en su mezcla			
Identificación del murete	Peso (Kg)	Dimensiones (cm)	Resistencia acústica (dB)
1.22%	42,012	59,7 x 60,1 x 5,7	21
2.22%	44,161	59,9 x 60,6 x 5,5	22
3.22%	42,97	60 x 60,3 x 5,4	21

Tabla 4.35 – Resultados de los ensayos acústicos en muretes de ensayos confeccionados con ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET.
Fuente: Creación propia (2023)

El promedio de resultados que se da en los ensayos de aislación acústica para muretes de ensayo confeccionados con ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET es de una resistencia acústica de 21 dB, por lo que no está cumpliendo con la norma chilena NCh 352, ya que establece que un muro de albañilería debe resistir como mínimo 55 dB, es decir que si afuera de una vivienda hay sonido, dentro de la vivienda se transmitirá el sonido a partir de los 55 dB emitidos

desde el exterior, lo cual en este caso no está sucediendo, ya que, como indican los resultados, los sonidos traspasarán el muro a partir de los 21 dB emitidos desde el exterior.

Luego, se muestran los resultados de los ensayos acústicos para los muros confeccionados con ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET en la tabla 4.36, donde la primera columna muestra la identificación de cada muro, la segunda columna muestra los pesos de los muros en Kg, luego las dimensiones de estos mismos en centímetros y finalmente la aislación acústica en dB.

Resultados de aislación acústica en muretes de ensayos que contienen 32% de PET en su mezcla			
Identificación del murete	Peso (Kg)	Dimensiones (cm)	Resistencia acústica (dB)
1.32%	41,21	59,5 x 60 x 5,6	24
2.32%	41,638	59,7 x 60,3 x 5,1	24
3.32%	42,04	59,3 x 60,2 x 5,2	25

Tabla 4.36 - Resultados de los ensayos acústicos en muretes de ensayos confeccionados con ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET.

Fuente: Creación propia (2023)

El promedio de resultados que se da en los ensayos de aislación acústica para muretes de ensayo confeccionados con ladrillos artesanales con 32% de plástico reciclado PET es de una resistencia acústica de 24 dB, entonces este ladrillo tampoco estaría cumpliendo con la norma chilena NCh 352, ya que establece que un muro de albañilería debe resistir como mínimo 55 dB, es decir que si afuera de una vivienda hay sonido, dentro de la vivienda se transmitirá el sonido a partir de los 55 dB emitidos desde el exterior, lo cual acá no está pasando, ya que, en uno de los ensayos, cuando se emitieron 30 dB, si bien fue poco lo que se transmitió a través del muro, no dejan de ser 11 dB, por lo cual no está resistiendo ni si quiera estos 30 dB, cuando por normativa establece que debe a lo mínimo resistir 55 dB.

Finalmente, se muestra la tabla 4.37 que muestra el resumen de los ensayos acústicos de los muretes de ensayos confeccionados con ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET, donde la primera columna están las identificaciones de cada murete, luego los pesos de estos en Kg, en la tercera columna las dimensiones en centímetros y la última columna muestra los resultados de la aislación acústica expresadas en dB.

Resultados de aislación acústica en muretes de ensayos que contienen 42% de PET en su mezcla			
Identificación del murete	Peso (Kg)	Dimensiones (cm)	Resistencia acústica (dB)
1.42%	41,036	60,1 x 60,1 x 5,5	27
2.42%	40,827	59,8 x 60,2 x 5,3	26
3.42%	40,405	60,4 x 60 x 5,4	25

Tabla 4.37 - Resultados de los ensayos acústicos en muretes de ensayos confeccionados con ladrillos artesanales con 22% de plástico reciclado PET.

Fuente: Creación propia (2023)

Hay que tener en consideración, que la norma chilena NCh 352 que habla sobre la aislación acústica de los materiales, establece que un muro de albañilería debe resistir como mínimo 55 dB. Los ensayos mostrados en la tabla anterior expresan como un resultado promedio de resistencia acústica 26 dB para muros de ladrillo artesanales con 42% de plástico reciclado PET, por lo cual no está cumpliendo con lo mínimo establecido en la norma.

Se puede concluir además, teniendo todos los resultados de los ensayos, que a medida que aumenta el porcentaje de PET en cada uno de los ladrillos aumenta la resistencia acústica en los muretes, esto es debido a las propiedades que tiene el tereftalato de polietileno, la figura 4.48 muestra un gráfico de este suceso, en el “eje x” están los muretes ensayados con sus porcentajes de PET incluidos en la mezcla y el “eje y” muestra la resistencia acústica en dB, donde la curva verde representa los muretes de ensayos que contienen 22% de PET, la curva azul, representa los muretes que contienen 32% de PET y la curva rosa representa los muretes que contienen 42% PET en su mezcla de los ladrillos, el gráfico muestra explícitamente que los muretes de ensayos confeccionados con ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET resisten más dB y los que contienen 22% son los menores. Sin embargo, no estarían cumpliendo con la norma chilena NCh 352, por ende, si se quisiera construir con este nuevo elemento se va a requerir de un material aislante para confeccionar muros, ya que, los muros de ladrillos artesanales con plástico reciclado PET por sí solos, no aislarán de manera acústica una vivienda, los sonidos que se emitan desde 21 dB entrarán y saldrán de esta vivienda.



Figura 4.48 – Comparación de resultados de ensayos acústicos entre los muretes confeccionados con ladrillos con diferentes porcentajes de PET.

Fuente: Creación propia (2023)

5. CONCLUSIONES

Primero que todo, si hablamos de la dosificación de cada uno de los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET, se puede observar que hay que tener cuidado con la cantidad de agua, ya que a la hora de mezclar y confeccionar cada uno de los ladrillos, la mezcla que al inicio tenía una buena compactación, como se va retirando parte de ésta misma para insertarlas en el molde, la que queda restante en el recipiente de mezcla comienza a secarse, por ende hay que ir aplicando más agua cada vez que la mezcla lo necesite, por este motivo, la cantidad de agua será superior en comparación a la dosificación previamente hecha.

Además, hay que ser muy minucioso a la hora de revolver estos materiales de construcción, debido a que cada ladrillo debe tener la misma cantidad de cada material y que no influya a la hora de obtener los resultados de cada ensayo. Asimismo, al introducir la mezcla al molde debe apisonarse por toda la superficie de cada ladrillo artesanal con plástico reciclado PET, ya que no se debe permitir que se produzcan burbujas de aire en el interior del ladrillo, porque esto afectará considerablemente los resultados de los ensayos. Un detalle no menos importante, es que mientras más plástico tipo PET exista en la mezcla de cada ladrillo, **más** complicado sen hace apisonar la mezcla sobre la superficie del molde, ya que el plástico no absorbe agua como la arena, por ende, tiende a separar las partículas.

En segundo lugar, si hablamos de los ensayos mecánicos, se puede concluir que mientras más plástico tipo PET se agregue a la mezcla de los ladrillos artesanales, por una parte, resisten más a los ensayos de flexo tracción, pero al mismo tiempo resisten menos a los ensayos de compresión. Esto es debido a que el tereftalato de polietileno tiene propiedades elásticas considerables, este polímero por sí solo resiste 58,84 MPa a flexo tracción, por lo cual aporta con esta característica al ladrillo artesanal. Pero en resistencia a compresión pasa todo lo contrario, mientras más tereftalato de polietileno exista en la mezcla la resistencia será menor, y es debido a que el PET es un material que no se comporta muy bien a este tipo de fuerza, necesitando así, la resistencia que tiene el cemento.

Los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET cumplen con la norma chilena NCh 2123, ya que, al pasar los 28 días desde su confección, los resultados a compresión superan los 4 MPa y los de flexo tracción superan los 3 MPa, demostrando que así, que estos ladrillos artesanales con plástico reciclado PET si son útiles para la confección de muros estructurales de viviendas.

En tercer lugar, los ladrillos artesanales con plástico reciclado PET se sometieron a ensayos de resistencia térmica y aislación acústica, los cuales dieron resultados muy positivos, cumpliendo con las normas chilenas NCh 352 y NCh 853, ya que, en el caso de la resistencia térmica supera los 0,17 m2k/w y para la aislación acústica los resultados fueron inferiores a 55 dB. Cabe destacar que el ensayo se hizo a un murete de 60x60 cm, simulando así, lo que sería un muro estructural.

También se puede observar que a medida que exista más tereftalato de polietileno triturado en las mezclas de los ladrillos artesanales, más resisten a estos ensayos físicos, y esto es debido a las propiedades de este polímero, que tienen la característica de ser resistentes al calor.

Si se quisiera construir con estos nuevos elementos, se puede indicar que lo más apropiado es utilizar los ladrillos que contienen 42% de PET, porque si bien no tienen el resultado más alto a los ensayos de compresión sigue cumpliendo con la norma, y a flexo tracción es el que resiste más. También, como se mencionó anteriormente, estos ladrillos artesanales con plástico reciclado PET son útiles para hacer muros estructurales

Otro punto no menos importante, el utilizar estos ladrillos, es reciclar más botellas plásticas que contienen tereftalato de polietileno, teniendo en consideración que en este estudio son los que contienen más porcentaje de PET, por lo cual, ocupan más unidades. Como se mencionó anteriormente las botellas plásticas son consideradas residuos sólidos y pueden producir peligros en la salubridad humana o del ecosistema mientras las veamos como residuos, es por esto que se propone un sistema de reciclaje que su principal función es recuperar estos residuos sólidos y reutilizarlos para aprovecharlos como materia prima para hacer nuevos productos.

Un ladrillo artesanal con 42% de plástico reciclado PET, contiene en su interior 7 botellas plásticas de 1 litro. Si solo hablamos de este estudio, se confeccionaron 36 ladrillos de este tipo, reciclado así 246 botellas.

Si este elemento se utilizara en viviendas sociales en Chile, considerando que estas miden 48 m2 aproximadamente, se utilizarían en total 1.526 ladrillos artesanales con 42% de plástico reciclado PET para una sola vivienda. Actualmente, en Chile se construyen 55.000 viviendas sociales al año, si todas estas viviendas fueran construidas con este elemento se utilizarían 83.930.000 ladrillos de este tipo, y lo más importante es que se estarían reciclando 587.510.000 botellas de PET de 1 litro, disminuyendo un volumen total de 857.510 m3 de botellas que actualmente están como residuo, pero que, si se ocuparan para este elemento, se le podrían dar una vida útil nuevamente y transformarlas en materia prima.

Como indica el planteamiento del problema, en el año 2020 en Chile, se cuantificaron que existen 97.635 t de botellas plásticas para ser recicladas, estas equivalen a 97.635.000 Kg. Por lo tanto, si los ladrillos artesanales con 42% de PET se utilizaran para la confección de las 55.000 viviendas que se mencionan, se ocuparían 24.087.910 Kg. Reciclando así, el 24,67% de los residuos que existen al año 2020 en Chile.

6. INVESTIGACIONES FUTURAS

Una de las principales características positivas que tiene un ladrillo artesanal descrito en la norma chilena NCh 2123 of 1997 es su resistencia al fuego, el ladrillo tiene mucha resistencia a las altas temperaturas, por este motivo sería bastante interesante estudiar si el ladrillo artesanal con plástico reciclado PET resiste bien al fuego, o bien que pasaría si este elemento se somete a este tipo de temperaturas, por el plástico incorporado en su mezcla.

En el presente estudio se demostró que el ladrillo artesanal con plástico reciclado PET es bastante eficiente en cuanto a su comportamiento físico-mecánico, pero podría hacerse una evaluación económica de este elemento, ya que, es atractivo en cuanto a sus resistencias, pero habría que conocer también que tan atractivo es en precio.

Finalmente, al ver que el tereftalato de polietileno ayuda al ladrillo a tener más propiedades plásticas, como su resistencia a flexo tracción, podría realizarse un estudio similar al actual, pero mezclando PET y HDPE, ya que este último plástico es más resistente a compresión que el PET y las tapas de botellas están compuestas de HDPE, entonces sería mucho más aprovechable reciclar toda la botella, sin dejar las tapas fuera y además estos dos plásticos juntos podrían brindar una propiedad interesante de evaluar en el ladrillo artesanal.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alvarez Raymundo, J. Y., & Bartolo Guerra, J. N. (2020). Propiedades físico-mecánicas de los ladrillos de tereftalato de polietileno para el diseño de viviendas unifamiliares en Ate-Huaycán 2020.

ANIR (2020). Estudio del material disponible País – Plásticos PET

Asipla (2022). PET, el plástico que abunda en Chile pero que hoy se debe importar para sostener una industria de reciclaje clave para la Ley REP

Asociación Nacional del Envase de PET ANEP. (2010). Desarrollo de aplicaciones comerciales. Recuperado de https://www.quiminet.com/articulos/historia-del-pet-2561181.htm

Bolaños Zea, J. J. G. (2019). Reciclado de plástico PET.

Boschi, C., Acosta, S., & González, A. (2005). Determinación del coeficiente de aislación acústica de un muro construido con ladrillones. *Memorias EnIDI 2005*, *1*, 1-7.

CÁRDENAS, M. I. S. (2013). Vulnerabilidad sísmica de construcciones patrimoniales históricas de mampostería en Chile: Aplicación a los torreones españoles de Valdivia. *Universidad Austral de Chile*.

Carvalho, M., Ramos, F., Zegarra, J., & Pereira, C. (2016). Evaluación a lo largo del tiempo de las propiedades mecánicas de los bloques de suelo-cemento utilizados en pavimentos semipermeables. *Revista ingeniería de construcción*, *31*(1), 61-70.

Cruz Sánchez, J. D., & Díaz Roa, I. D. (2015). Utilización de caucho pulverizado proveniente de llantas en bases estabilizadas con suelo–cemento sustituyendo la franja granulométrica entre el tamiz N° 30 y N° 80.

DE ALBANILERIA, R. E. F. O. R. Z. A. D. A. (2012). *RECOMENDACIONES DE DETALLAMIENTO PARA MUROS* (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD DE CHILE).

De Melo, A. B., & Silva, E. P. (2013). Bloques de hormigón ligero con áridos reciclados de EVA: una contribución a la eficiencia térmica de paredes exteriores de edificios. *Materiales de Construcción*, (312), 479-495.

Echeverría Garro, E. R. (2017). Ladrillos de Concreto con Plástico PET reciclado.

Flores Florez, J. P., & Ochoa Terán, R. J. (2019). Evaluación comparativa de un prototipo de ladrillo macizo de cemento sustituyendo el agregado fino por PET respecto a un ladrillo artesanal, Cusco-2018.

Instituto Nacional de Normalización. 2001. Norma NCh 169, Of. 2001: Construcción. Ladrillos Cerámicos. Clasificación y Requisitos, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (2007). NCh 853 Of.2007. Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (2010). NCh 1325 Of.2010. Áridos – Determinación del equivalente de arena en suelos y áridos finos.

Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (1997). NCh 2123 Of.1997. Albañilería confinada – Requisitos de diseño y cálculo.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NCh 148. Of. 1968. Cemento — Terminología, Clasificación y Especificaciones Generales.

Juárez, M., Santiago, M. E., & Vera, J. (2011). Estudio de factibilidad para la manufactura de empuñaduras de PET reciclado. *e-Gnosis*, *9*, 1-12.

Molina Restrepo, S. A., Vizcaino Cagüeño, A. M., & Ramírez Santamaría, F. D. (2007). Estudio de las características físico mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacías Meta.

Mott, R. L., Salas, R. N., & Cárdenas, J. L. (1996). *Resistencia de materiales aplicada*. Prentice Hall Hispanoamericana.

NORMA CHILENA (NCH) 409. 2005. Agua Potable Decreto Exento N°446. Diario Oficial N°38.498.

OCDE (2022). La contaminación por plástico crece sin cesar, en tanto que la gestión de residuos y el reciclaje se quedan cortos, dice la OCDE.

Orrego Souper, J. C. (2008). *Aislación termo-acústica para tabiques en edificios de habitación* (Doctoral dissertation, Universidad Andrés Bello).

QuimiNet (2005). *Historia del PET.* Recuperado el 24 de setiembre del 2017 de https://www.quiminet.com/articulos/historia-del-pet-2561181.htm

Ramirez Luna, DS. 2011. Propuesta de un Material Compuesto con Base al PET Reciclado con Aplicaciones en Construcción. Tesis de grado. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 109p

Romero Quintero, A. F., & Hernández Rico, J. C. (2014). Diseño de mezclas de hormigón por el método ACI y efectos de la adición de cenizas volantes de Termotasajero en la resistencia a la compresión

Solís, M., Torrealva, D., Santillán, P., & Montoya, G. (2015). Análisis del comportamiento a flexión de muros de adobe reforzados con geomallas. *Informes de la Construcción*, *67*(539), e092-e092.

Souza, J., & Schaeffer, L. (2013). Sistema de compresión de biogás y biometano. *Información tecnológica*, *24*(6), 03-08.

Suazo, Toledo (2015). Confección y análisis de ladrillos ecológicos a base de desechos plásticos PET reciclado

Virginie, M. (2011). Los Caminos del Reciclaje. Barcelona: Nuevos Emprendimientos Editoriales.

Zavala Arteaga, G. J. (2015). Diseño y desarrollo experimental de materiales de construcción utilizando plástico reciclado.