

CREACIÓN DE MATERIAL COMPUESTO EN BASE A RESIDUOS YESO CARTÓN
Y POLIESTIRENO EXPANDIDO EXTRAÍDOS DE LA CONSTRUCCIÓN



BENJAMÍN GIBBS



CREACIÓN DE MATERIAL COMPUESTO EN BASE A
RESIDUOS YESO CARTÓN Y POLIESTIRENO
EXPANDIDO EXTRAÍDOS DE LA CONSTRUCCIÓN

BENJAMÍN GIBBS
profesora guía ANDREA WECHSLER

Santiago de Chile, 2021

Agradecimientos

A Dios por todas las bendiciones y el amor que me ha dado a través de diferentes personas que he conocido a lo largo de la carrera y vida personal.

A mi familia por el inmenso amor y apoyo incondicional que siempre he recibido por parte de ellos.

A mi profesora guía Andrea por su perseverancia, gestión, paciencia y apoyo permanente.

A mis compañeras por la compañía, la ayuda y el ánimo que siempre me han brindado.

Al Biolab, a Viconsal, a la USACH y a Sinestesia por facilitarme sus instalaciones y poder realizar este proyecto.

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	10
	Problema u oportunidad de investigación.....	12
	Resumen métodos.....	14
II.	MARCO TEÓRICO	17
	Identificación del problema.....	19
	Residuos (RCD).....	20
	Residuos en obra.....	23
	Yeso cartón.....	25
	Poliestireno expandido.....	26
	Economía circular.....	27
	Referentes.....	28
III.	MÉTODOS.....	34
	1. Preparación de materias primas.....	35
	1.1 Recopilación de material.....	36
	1.2 Proceso de triturado y tamizado.....	38
	2. Definición de formato y caracterización de mezcla.....	41
	2.1 Experimentación de fórmulas y posibles diluyentes.....	43
	2.2 Caracterización del nuevo material.....	46
	3. Diseño y evaluación de rendimiento.....	52
	3.1 Análisis de trabajabilidad.....	53
	3.2 Formato final.....	56
IV.	RESULTADOS.....	58
	1. Preparación de materias primas.....	59
	1.1 Recopilación de material.....	59
	1.2 Proceso de triturado y tamizado.....	61
	2. Definición de formato y caracterización de mezcla.....	64
	2.1 Experimentación de fórmulas y posibles diluyentes.....	64
	2.2 Caracterización del nuevo material.....	68
	3. Diseño y evaluación de rendimiento.....	73
	3.1 Análisis de trabajabilidad.....	73
	3.2 Formato final.....	77
V.	CONCLUSIONES Y PROYECCIONES.....	80
VI.	LISTA DE REFERENCIA	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Empresas en el rubro por región.....	17
Figura 2: Viviendas por región aprobados e iniciadas.....	18
Figura 3: Diagrama RCD.....	21
Figura 4: Diagrama criterio de sustentabilidad Viconsa para la valoración de residuos en obra.....	22
Figura 5 y 6: Documentación de vertederos en V región.....	23
Figura 7: Fórmula química poliestireno.....	24
Figura 8: Proceso fabricación volcánita.....	25
Figura 9: Tipos de productos ofrecidos por ETSA.....	26
Figura 10: Esquema economía lineal y circular.....	27
Figura 11: Proceso de producción pinturas.....	28
Figura 12: Productos de Idea-Te.....	28
Figura 13: Ruta de reciclaje Recollect.....	29
Figura 14: Poliestireno expandido reciclado.....	29
Figura 15: Material Scalite.....	30
Figura 16: Material Scalite.....	30
Figura 17: Hormigón Terrazzo.....	31
Figura 18: Comparación residuo inicial y producto final.....	31
Figura 19: volcánita recopilado en obra.....	36
Figura 20: EPS recopilado en obra.....	36
Figura 21: Almacenamiento de material.....	37
Figura 22: Yeso cartón en proceso de triturado.....	38
Figura 23: Tamices.....	39
Figura 24: Molino G-tools wf-1500a2.....	40
Figura 25: Malla metálica 2mm.....	40
Figura 26: Molino de cuchillas.....	40
Figura 27: Diagrama proceso de reciclaje.....	42
Figura 28: EPS granulado.....	43
Figura 29: mezcla poliestireno, yeso cartón y agua.....	43
Figura 30: Fórmulas paso a paso.....	45
Figura 31: Probeta norma EN 13279-2.....	46
Figura 32: Probeta en molde intervenido.....	46
Figura 33: Probetas para ensayo Flexión.....	46
Figura 34: Probeta norma EN 13279-2.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 35: Probetas para ensayo Compresión.....	47
Figura 36: Instron modelo 3342.....	47
Figura 37: Lugar prueba exposición a la intemperie.....	49
Figura 38: Probetas sumersión en agua.....	50
Figura 39: Instrumentaría ocupada en los ensayos.....	51
Figura 40: Matriz MDF cuadrada.....	53
Figura 41: Matriz MDF semiesférica.....	53
Figura 42: Probeta en corte láser.....	54
Figura 44: Actividad encuesta.....	55
Figura 45: Posibles propuestas aplicativas.....	56
Figura 46: Diagrama proceso de recolección.....	59
Figura 47: Almacenamiento de yeso cartón.....	60
Figura 48: Almacenamiento de EPS.....	60
Figura 49: Resultados ensayos granulométricos.....	64
Figura 50: Resultados muestras diluyentes.....	65
Figura 51: Fórmula paso a paso seleccionada.....	66
Figura 52: Diagrama Formulación de material.....	67
Figura 53: Ensayo de flexión.....	68
Figura 54: Ensayo de compresión.....	69
Figura 55: Material compuesto molde 1.....	73
Figura 56: Material compuesto molde 2.....	73
Figura 57: Material en molde 1.....	74
Figura 58: Material en molde 2.....	74
Figura 59: Transparencia de material formato semiesférico.....	74
Figura 60: Resultados encuesta perceptual.....	76
Figura 61: Resultados por grupo encuesta perceptual.....	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de método.....	15
Tabla 2: Regiones con mayores sitios de disposición final ilegal.....	19
Tabla 3: Residuos generados en la construcción.....	23
Tabla 4: Composición del yeso cartón.....	24
Tabla 5: Etapa 1 de la investigación.....	35
Tabla 6: Análisis granulométrico.....	39
Tabla 7: Etapa 2 de la investigación.....	41
Tabla 8: Comparación de diluyentes.....	44
Tabla 9: Etapa 3 de la investigación.....	52
Tabla 10: Norma ASTM D1666-17.....	54
Tabla 11: Inventario de material.....	59
Tabla 12: Análisis granulométrico detallado.....	62
Tabla 13: Comparación de conformación final.....	64
Tabla 14: Resultados ensayo de flexión.....	68
Tabla 15: Resultados ensayo de compresión.....	69
Tabla 16: Resultados ensayo de compresión.....	70
Tabla 17: Resultados absorción de agua.....	72
Tabla 18: Resultados de hinchamiento.....	72
Tabla 19: Resultados pruebas mecanizado.....	75

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto de título comenzó gracias a una visita en terreno realizada a fines del año 2020, un proyecto inmobiliario en la V Región llamado "Portal Montemar" liderado por la constructora "Viconsal". En la visita se pudo presenciar y documentar los residuos que esta empresa obrera genera en un solo proyecto. Una diversidad de materiales que siguen siendo útiles, pero para la constructora pasan a ser desechos debido a su desgaste, dimensiones y/o impurezas, efecto de un incumplimiento con las normativas mínimas de calidad.

Cada constructora en Chile tiene su método para la eliminación de sus residuos. La respuesta para muchas son los vertederos, tanto legales como ilegales. Esto se debe a que el país no cuenta con la infraestructura para derivar los residuos a diversos puntos de reciclaje.

Según el CPI (Consejo Políticas de Infraestructura), existen en el país "54 empresas valorizadoras de residuos, la mayoría concentrada en la Región Metropolitana". Esto quiere decir que muchas regiones no cuentan con cobertura de reciclaje de residuos.

El enfoque primordial de este proyecto es concientizar a las empresas constructoras de la magnitud de desechos recuperables que están desperdiciando y contaminando, siendo que al menos el 60-70% de ellos pueden tener una segunda oportunidad de vida útil. Con este efecto, se quiere involucrar al mundo obrero en una economía circular. La investigación busca resolver la problemática de residuos en obra y generar un nuevo material para el mismo y así reciclar estos materiales en la misma obra dentro de lo posible. Se comenzará con dos recursos difíciles de reciclar que se encuentran gran magnitud en las construcciones, estos son el yeso cartón y el poliestireno expandido.

El presente proyecto tiene como misión la conformación de un material compuesto en base a yeso cartón y poliestireno expandido.

Con más de 80.000 empresas constructoras en el campo tanto privado como público, se está comenzando a concientizar el tema de los residuos. El gobierno Chileno implementó el programa Construye 2025 del cual se hablará más adelante. Iniciativas que cambiarán el modo de producción de las empresas combirtiendolo en una respuesta más sustentable a los proyectos a realizar en el país impactando en forma positiva en los ámbitos social, económico y medioambiental.

Problema u Oportunidad de Investigación.

El 35% de los residuos generados mundialmente son del área construcción, en Chile la construcción genera un 56% de los residuos sólidos industriales, convirtiéndola en la industria más contaminante del país (CONAMA, 2018). Las constructoras chilenas actualmente optan por gestionar los residuos de construcción y demolición (RCD) hacia vertederos tanto oficiales como no oficiales, descartando la posibilidad de valorizar sus desechos. Dicho esto, de una manera consciente, limpia y ordenada por parte de las constructoras se podrían reducir sus contaminantes en cerca de 50 – 80% tanto como para reciclaje así también para reutilización (Hidalgo, 2018).

En la construcción hay una alta gama de variedad de materiales. Muchos de ellos ya tienen un método y puntos de reciclaje; sin embargo, hay países como Chile, donde estos puntos son escasos a nivel territorial (Recylink, 2021). En Chile se encuentran 54 empresas valorizadoras de residuos según la página del Consejo de Políticas de Infraestructura (CPI), pero la mayoría concentrada en la Región Metropolitana (País Circular, 2019). Los puntos limpios de las regiones deben ser independientes y no se encuentran cuantificados por ningún organismo gubernamental.

Según la Cámara Chilena de la Construcción, 7 empresas constructoras participan en el “Plan de Gestión de Residuos en Obra, Paso a Paso”. No obstante, en el mercado ya existen al menos 835 empresas constructoras formalmente establecidas según los registros del SII (Villablanca, 2020). Esto quiere decir que ni un 1% de las empresas se está preocupando de sus residuos o no entregan la información correspondientes a las autoridades gubernamentales.

En concreto, hay una gran variedad de materiales con los cuales se pueden trabajar en el área de la construcción, pero esta investigación se enfocará plenamente en los materiales yeso cartón y poliestireno expandido. La selección de los recursos fue debido a su alto desecho pre y pos producción, ambos materiales tienen grandes características y virtudes que puede servir en un nuevo ciclo de vida. El excedente de estos dos recursos se pierden por completo en las obras derivando en los vertederos de las constructoras, esto se debe a que no cuentan con centros de reciclaje en sus regiones.

Tanto el yeso cartón como el poliestireno expandido tienen un método de reciclaje sencillo, con un simple tratamiento pueden volver a su materia prima y ser reutilizados indefinidamente. El problema es que al reciclarlos se utiliza mucha energía para obtener un mínimo de material y además mezclado.

Se identifica la oportunidad de convertir estos dos materiales en partículas para posteriormente mezclarlas y crear un nuevo material, ligero y resistente. Esta es una gran oportunidad de investigación, en donde se puede aportar con un método de reciclaje tanto para distintas zonas de la región, como para las demás constructoras que quieran replicar el proyecto en sus obras alrededor de Chile y el mundo.

Resumen de métodos.

En la siguiente tabla se presenta cuadro resumen que contiene el objetivo general de la investigación en conjunto con los objetivos específicos de los cuales se basó todo el proyecto de la investigación. En cada objetivo específico se encuentran sus etapas que están conformadas por actividades que se cumplirán según la tarea realizada.

Para la realización del proyecto se comenzó con un levantamiento de información, literatura online e información brindada por diversas constructoras, posteriormente los métodos y resultados que se desarrollan a medida que se cumplen los objetivos del proyecto.

Cada etapa se verá en detalle más adelante conforme avanza el proyecto, en ellas se presentan las tareas a realizar cuyos resultados se verán al final de esta memoria de título.

Esta memoria tiene un enfoque exploratorio, con el propósito de concluir la investigación con un material compuesto apto para su uso entregando propuestas aplicativas. Se llevaron a cabo las siguientes etapas en un periodo de 4 meses.

Tabla 1: Resumen de métodos ►

Resumen de Métodos

Objetivo General

Generar un método para la conformación de un material compuesto en base a yeso cartón y poliestireno expandido reciclado mediante la unión de ambos materiales desechados en la construcción para disminuir el residuo en vertederos y aprovecharlo como un nuevo insumo.

Objetivo Específico 1

Identificar el formato de los residuos extraídos de la construcción, recopilar sus posibles procesos de recuperación y métodos de reciclaje. Examinar las variantes en dimensiones y peso para proceso de triturado.

Objetivo Específico 2

Conformar un método en base a la unión de partículas obtenidas por medio de disolución y/o temperatura. Obtener un formato predeterminado y caracterizar el material analizando sus propiedades físicas, mecánicas y de resistencia a agentes externos.

Objetivo Específico 3

Generar propuestas aplicativas de diseño con el material compuesto en base a los resultados de ensayos mecánicos y de trabajabilidad. Comprobar su impacto en la construcción y posibles usuarios.

Etapa 1

Preparación de materias primas

Etapa 2

Definición de formato y caracterización de mezcla

Etapa 3

Diseño y evaluación de rendimiento



LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

II. MARCO TEÓRICO

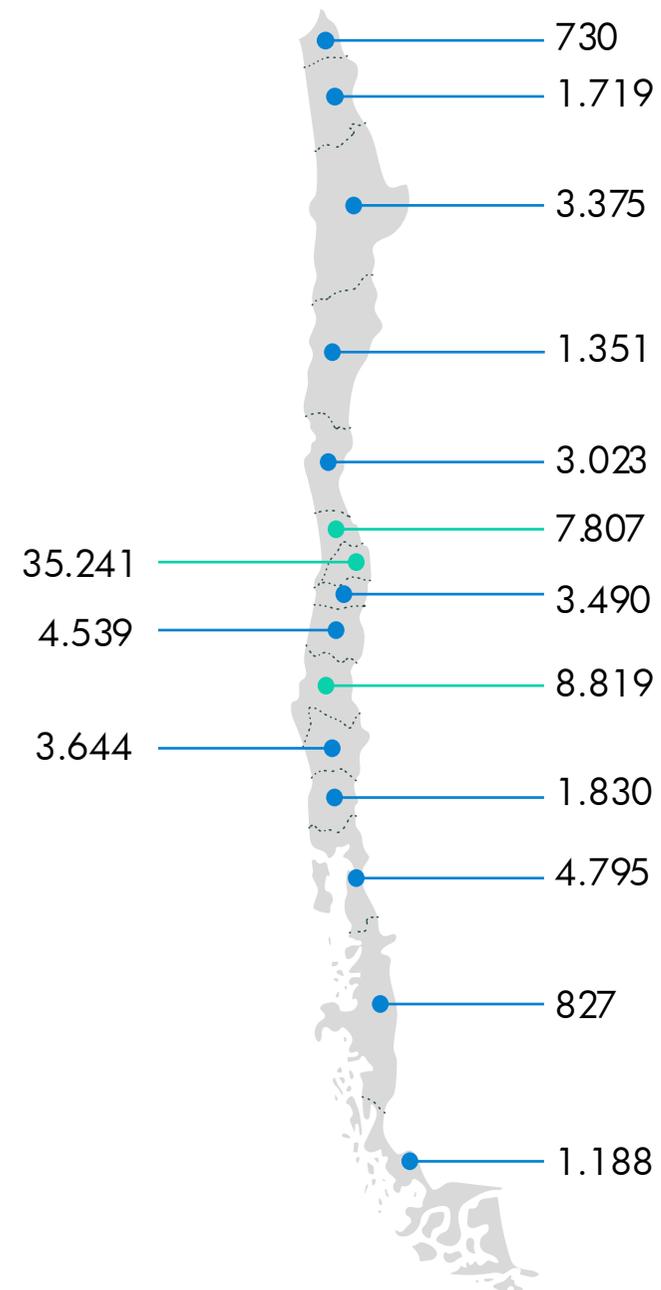
Construcción en Chile.

Cada año el mundo de la construcción crece en un 4% aproximadamente, no obstante, durante los años 2019-2020 el rubro de la construcción no se ha visto beneficiado con estos números debido a la crisis económica que ha vivido el país (Cámara Chile de la Construcción, 2019). El estallido social y la pandemia azotó al mundo entero paralizando obras y el deseo de los ciudadanos por comprar sus nuevos hogares.

Es de conocimiento público que la industria de la construcción es una de las más importantes para la economía chilena, constituye aproximadamente el 6,4% del Producto Interno Bruto del país (CPI, 2018). A nivel de empleabilidad el 8,5% de los ocupados del país trabaja en el rubro de la construcción (Banco mundial, 2018).

El mapa de Chile presentado en la figura 1 muestra el número de empresas dedicadas al rubro de la construcción establecidas en regiones para el año 2017, destacando las 3 regiones con más empresas en el país, siendo RM, VIII y V respectivamente. En Chile el mismo año hubo 130.083 construcciones nuevas tanto públicas como privadas en un total de 10.407.319 m² (Icex, 2018).

Figura 1: Empresas en el rubro por región
Fuente: Elaboración propia basada en SII ▶



El rubro de la construcción se divide en cuatro grandes sectores: Vivienda pública (7%), Vivienda privada (27%), Infraestructura pública (25%), Infraestructura productiva (41%) (CChC, 2020). La investigación se enfocará en los residuos de la producción de viviendas privadas.

El sector de la vivienda crece cada año más, el mayor aumento se concentra principalmente en la Región Metropolitana, representando un 37,2% del total del país (Icex, 2018). El año 2019 avanzó un 8% frente a un ritmo más lento en el resto de regiones (2%). El porcentaje de cada región se puede ver representado en la figura 2.

Un estudio realizado por Capitalizarme reveló que la edad en que los chilenos compran viviendas para inversión es a los 39 años, en su mayoría solteros (62%). Las nuevas generaciones adquieren segundas viviendas para invertir su capital (Aravena, 2018). Ya no solo se preocupan de sus áreas comunes sino también concientizan con las inmobiliarias que trabajan con sellos verdes y de forma limpia (Viconsa, 2021)

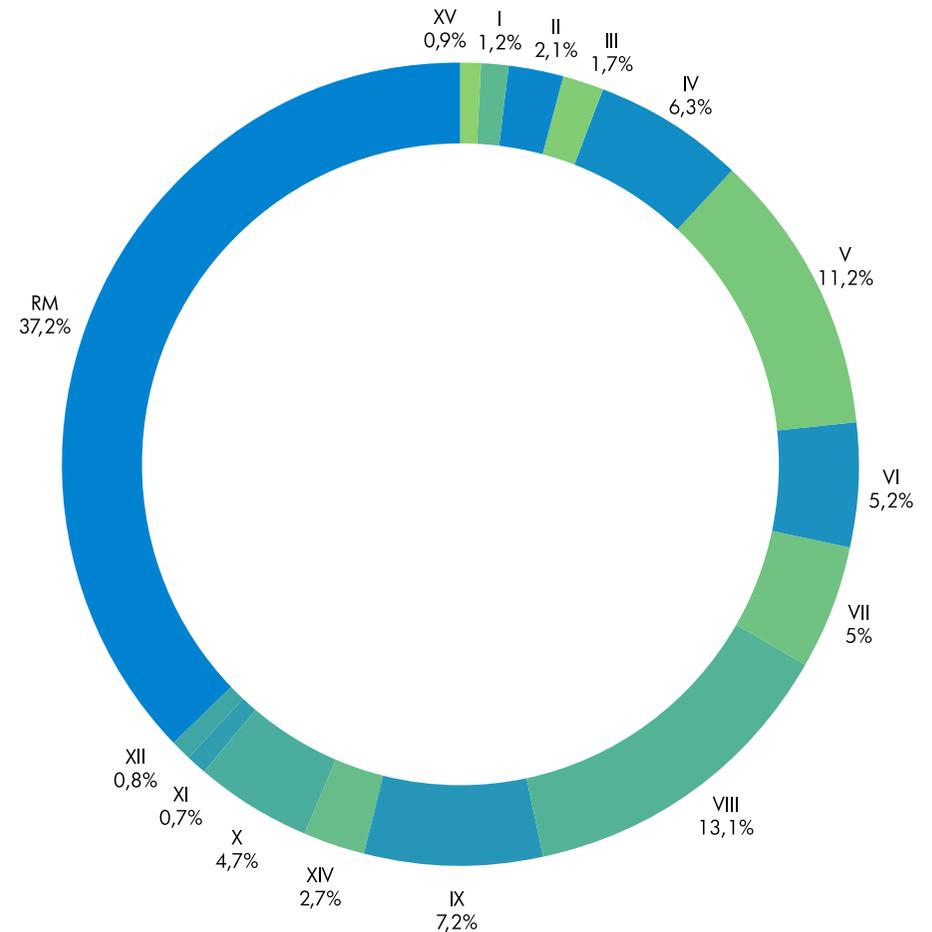


Figura 2: Viviendas por región aprobadas e iniciadas
Fuente: Elaboración propia basada en ICEx

Identificación del Problema.

En el verano del 2020, el investigador realizó su práctica profesional, la cual ejerció en la start-up Pizarra Studio. Durante ese periodo trabajó en un proyecto junto a la constructora de la V región "Viconsá", este proyecto buscaba realizar un mobiliario sustentable con los residuos de la construcción. Se realizaron tres muebles, que hasta el momento no han sido implementados. Gracias a la práctica y a la gran necesidad que se notó en la constructora por valorar sus residuos, el estudiante optó por abrir una investigación con respecto a los desechos de las obras, con la misión de disminuir y contribuir en la limpieza de los residuos.

En un recorrido a los vertederos certificados de Viconsá, se vieron al menos tres vertederos ilegales en la zona. Actualmente existen 3.735 vertederos ilegales y microbasurales, estimándose que ocupan una superficie de 1.444,08 hectáreas en Chile (Instituto de la Construcción, 2021). Para la mayoría de las empresas los escombros son solo pérdidas y estorbos. En términos de regiones, la Región Metropolitana cuenta con 931 sitios de vertederos ilegales, los cuales corresponden a 24,93% del total nacional. Le siguen la Región de Valparaíso y la Región de Coquimbo (Ossio & Faúndez, 2021). Véase el detalle en la tabla 2 de los sitios ilegales de vertederos ocupados por el área de la construcción en las regiones más pobladas del país demostrando una

evasión de centros de reciclaje.

Según los académicos Felipe Ossio y Javier Faúndez, existe una estrecha relación entre los vertederos ilegales con los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), como es el caso de las regiones de Arica y Parinacota, Antofagasta, Coquimbo, Valparaíso, Los Lagos, Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y Magallanes y de la Antártica Chilena. Las cuales no cuentan con centros de acopio para reciclaje.

Tabla 2: Regiones con mayores sitios de disposición final ilegal.

Región	Total sitios de disposición final ilegal	Sitios disposición final ilegal a nivel nacional (%)	Estimación superficie total
Metropolitana	931	24,93%	208,72
Valparaíso	603	16,14%	45,84
Coquimbo	413	11,06%	8,96
Araucanía	396	10,60%	9,75
Biobío	374	10,01%	4,14

Fuente: Felipe Ossio & Javier Faúndez, 2021.

Los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD).

Cada proceso productivo en la construcción o en la índole ingeniería civil genera residuos, aquellos residuos se les denomina RCD (Maciel; Stumpf; Kern, 2016) lo que conlleva a distintas problemáticas, la contaminación de los suelos es una de ellas, esto produce un deterioro en el espacio (Morán del Pozo et al., 2011). Por esta y demás razones la importancia de incorporar el concepto de ciclo de vida en la construcción no solo logrará fomentar la recuperación de materiales, también minimizaría los impactos de contaminación en las diversas zonas donde se construye a nivel nacional (Beltrán, Riaño, 2017). La misión del ciclo de vida es involucrar a las constructoras desde su origen, desde que el producto nace hasta donde se dejará para su reciclaje, produciendo una limpieza tanto de materiales como de espacios conscientes.

Los RCD se clasifican en peligrosos y no peligrosos. Los peligrosos deben ser gestionados según la legislación vigente (Ministerio del Medio Ambiente, Chile, 2020), el mayor volumen reside de los no peligrosos entre un 60-70% del total. Véase el detalle en la figura 3.

En términos mundiales, los países más desarrollados en la gestión de residuos alcanzan un alto porcentaje de tasa de recuperación, tanto en Malta como en Holanda es de un 100%, UK 96%, Alemania 94% y Dinamarca con 90% (Eurostat, 2018). En San Francisco (California, Estados Unidos) el año 2007 impuso a las empresas del sector de la construcción a utilizar en la totalidad de sus materiales al menos 2/3 de materiales reciclados, aplicando sanciones a las empresas no cumplidoras. (Horrach, 2017).

En Europa, la Directiva 2008/98/CE instaura los conceptos y definiciones relacionados con la gestión de residuos. Uno de los objetivos que propone es el 70% de recuperación de los RCD. Cada Estado miembro debe adoptar planes de gestión y programas de prevención con el objetivo de revertir la situación actual y así lograr un sistema sostenible.

En Latinoamérica, nace en Brasil la primera política para establecer el gestionamiento correcto de RCD, obligando a sus constructoras a controlar los residuos generados e incentivar la clasificación de éstos en la misma obra. La cantidad de RCD varía entre 230 y 760 kg/habitante/año dependiendo de la ciudad estudiada (Maciel; Stumpf; Kern, 2016).

Colombia, México y Argentina son otros de los países en Latinoamérica que controlan y ordenan la gestión y el manejo de los residuos. Sin embargo, las normativas no son cumplidas en su 100% por parte de agentes relacionados, provocando una detención y perjudicando el entorno, aumentando el porcentaje de escombros ilegales (Suárez-Silgado et al., 2018).

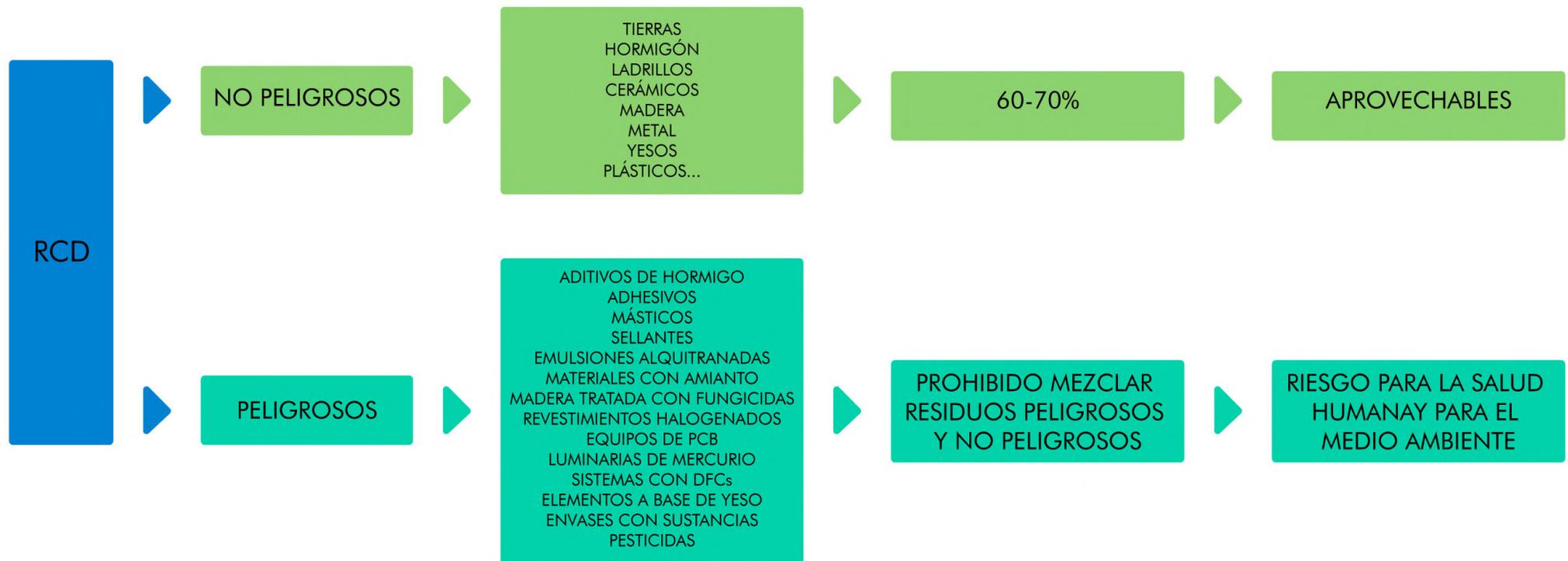


Figura 3: Diagrama RCD

Fuente: Elaboración propia basada en Construye2025, 2021.

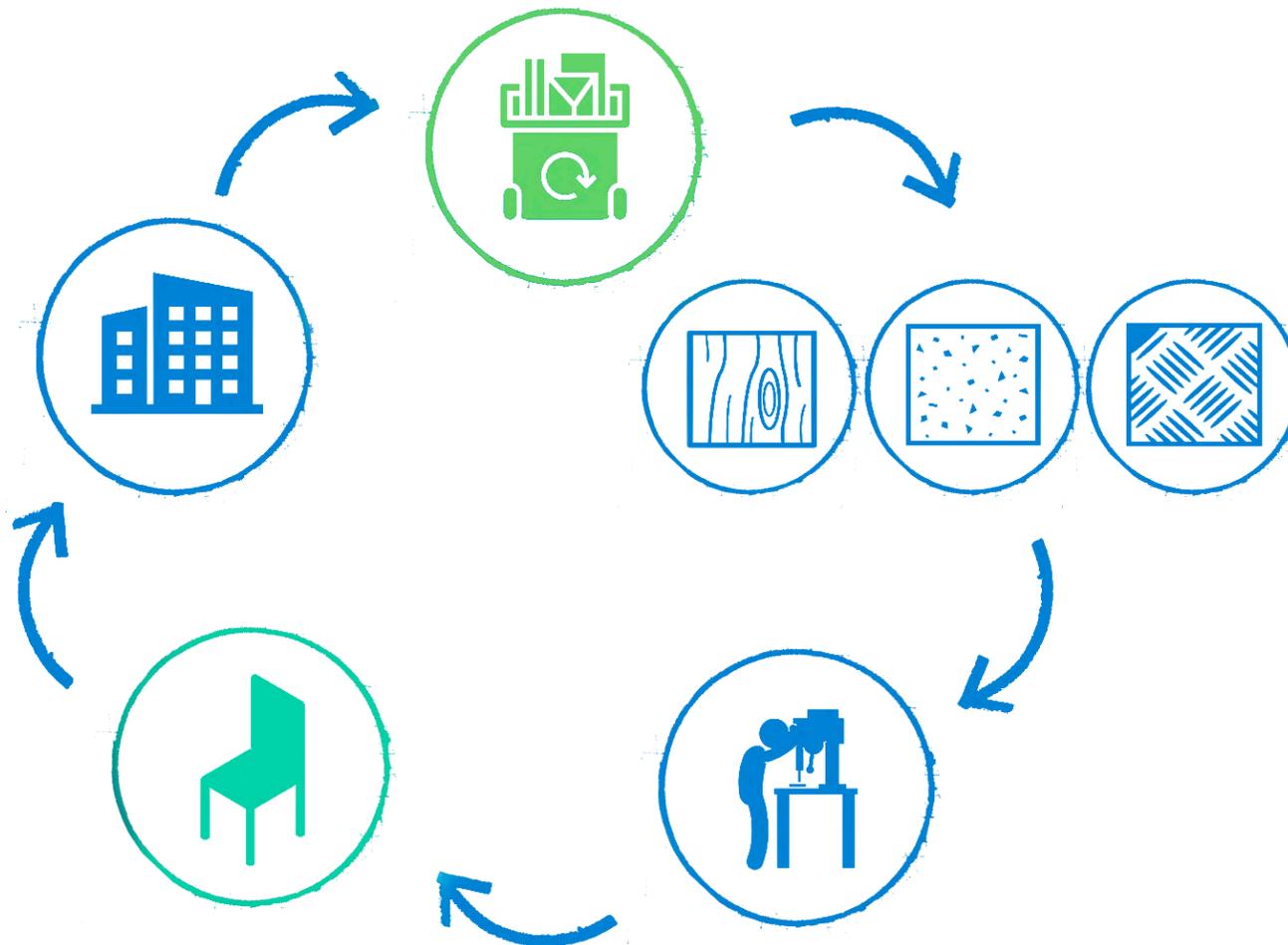


Figura 4: Diagrama criterio de sustentabilidad Viconsa para la valoración de residuos en obra.
Fuente: Elaboración propia basada en Viconsa, 2021.

Residuos en obra.

Con datos entregados por la empresa constructora Viconsa se pudieron sacar datos cuantitativos sobre la construcción y los residuos de esta. El 35% de los desechos de la construcción pueden ser aprovechados, reciclados y/o reutilizados. Tablas y fierros en buenas condiciones, residuos como plásticos, tarros, cuerdas que podrían tener una nueva función ya que se encuentran sucios pero en un estado completo (no rotos o dañados).

Como se mencionó anteriormente, para este proyecto se trabajará con dos residuos de la construcción que están constantemente presentes en las obras. La pérdida de yeso cartón es alta y el residuo en solo en obra llega a acumularse hasta hacer montañas de desecho. Por otra parte el poliestireno expandido llega a las 300 toneladas al año, es un material que no es biodegradable y su tiempo de degradación es indeterminado. Luego de la entrega del edificio sigue apareciendo plumavit debido a los electrodomésticos que se encuentran cubiertos de modo de protección para el producto.

A continuación se presenta la tabla 3 con la totalidad de residuos cuantificables emitidos por el proyecto Portal Montemar de Viconsa.

MATERIAL	CANTIDAD	PORCENTAJE
Madera	1.175.832 KG	75%
Fierro	267.882 KG	17%
Pallets	56.525 KG	4%
Cartón	33.471 KG	2%
Cerámica	24.320 KG	1%
Plástico	10.657 KG	1%



▲ Figura 5 y 6: Documentación de vertederos en V región
Fuente: FElaboración propia, 2021

◀ Tabla 3: Residuos generados en la construcción
Fuente: Elaboración propia basada en Viconsa, 2021.

El yeso está compuesto por sulfato de calcio semihidratado ($\text{CaSO}_4 \times 1/2 \text{H}_2\text{O}$) insípido, el cual fragua y endurece al mezclarlo con agua (Subsecretaría de Minería, 2017) es sulfato de calcio hidratado, la composición del yeso se puede observar en la tabla 4. El yeso cartón es una placa que contiene una lámina con un núcleo incombustible de yeso y cubierta por ambas caras con capas de celulosa de alta resistencia ofreciendo terminaciones inmediatas. Dependiendo del papel de terminación su resistencia frente a ciertas demandas ambientales (fuego, humedad) puede variar. Representa aproximadamente el 6% del peso total (Zicla, 2021).

Tabla 4: Composición del yeso cartón

Óxido de calcio (CaO)	30,6%
Óxido de azufre (SO ₃)	44,5%
Agua (H ₂ O)	18,9%
Celulosa	6%

Fuente: Zicla, 2021

A diferencia del yeso cartón el material plástico espumado está compuesto por 2% de poliestireno y 98% de aire, es muy ligero y a la vez resistente, además ofrece excelentes propiedades como aislante térmico y aislante acústico (Knauf Industries, 2017). La fórmula química del poliestireno se puede observar en la figura 7.

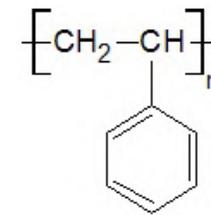


Figura 7: Fórmula química poliestireno
Fuente: TextosCientificos, 2010

Yeso Cartón.

El yeso cartón o también conocido por “volcanita”, es un una placa conformada por yeso y recubierta en cartón. Su utilización en las constructoras es para la conformación de tabiques divisorios, cielos, revestimientos de muros, etc. Es un material versátil ya que se puede dimensionar sin perder su estabilidad y es de fácil trabajabilidad para los obreros (cortar, perforar, fijar) (Volcan, 2016).

Volcán S.A es una empresa Chilena fundada en 1916. La compañía está orientada a la producción y comercialización de materiales para la construcción (yesos, aislantes y fibrocementos). Tiene cuatro plantas en Chile, una de ellas ubicada en la comuna de Puente Alto donde se fabrican planchas de yeso cartón. Otra planta en Perú y exportación internacional a mercados como Brasil y Colombia (Rojas, 2020).

Su formato varía en espesor y resistencia. La marca chilena “Volcán” abarca una variedad de cinco tipos de planchas que se encuentran en diversos espesores nominales, el ST: Estándar / RH: Resistencia a la Humedad / RF: Resistencia al Fuego / XR: Extra Resistente / XR RH: Extra Resistente - Resistente a la Humedad (Volcan, 2016). El tipo de volcanita va variando según la necesidad, en el caso de las RH se utilizan en la construcción

para base de revestimientos cerámicos, vinílicos o para cualquier otro tipo de material utilizado en zonas húmedas; por otro lado el XR es especial para proyectos que soliciten materiales de alta resistencia a impactos, además de resistencia al fuego, aislamiento acústico y además resistencia a la humedad (Volcán, 2016).



Figura 8: Proceso fabricación volcanita
Fuente: Volcán, 2016

Poliestireno Expandido (EPS).

El poliestireno expandido se puede encontrar en diferentes formatos y densidades. En la construcción el material cumple la función de aislamiento para las viviendas y rige bajo el Reglamento Térmico Vigente en Chile para techos, muros y pisos ventilados.

Envases Termoaislantes S.A o “ETSA” es una empresa nacional fundada en 1987, cuenta con una fábrica en la comuna de La Reina y es el mayor exportador de EPS en el país. ETSA fabrica y provee productos de Poliestireno Expandido en todas sus formas para los mercados de la Construcción, embalajes y envases (ETSA, 2021).

La empresa cuenta con un catálogo de 5 diversos productos: ETSADDECOR, ETSAPACK, ETSAPANEL, ETSAPOL y ETSAESPECIAL (véase en la figura 8) cubriendo todas las necesidades de sus clientes, desde planchas dimensionadas hasta diseños a requerimiento (ETSA, 2021).

Formatos de 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 mm. También se provee en densidades superiores de 15, 20, 25 y 30 kg/m³.



Figura 9: Tipos de productos ofrecidos por ETSA
Fuente: ETSA, 2021

Economía Circular.

La economía circular en pleno es una estrategia que tiene como objetivo la producción de nuevos bienes y servicios mientras se reduce el consumo y el desperdicio de materias primas, agua y fuentes de energía (Ecoembes, 2018). Este sistema no sólo disminuye recursos sino también abre puerta a nuevos paradigmas como nuevos modelos de negocio (Tapia, 2018). La economía circular aboga por la optimización de los materiales y la extensión de su vida útil. Huyendo así del actual sistema lineal que las constructoras aún mantienen en Chile. A lo largo de este proyecto se adoptará el sistema de economía circular, llegando a un nuevo material capaz de ser re-moldeado alargando su vida útil. A continuación se presenta la figura 10, una comparación entre la economía lineal y la economía circular.

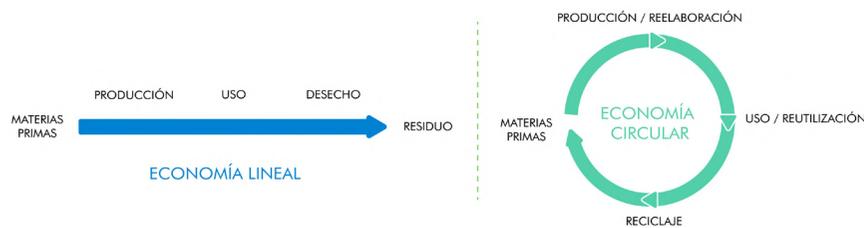


Figura 10: Esquema economía lineal y circular
Fuente: Frosch, 1992.

Programa Construye 2025.

Chile busca avanzar hacia una economía circular. El año 2016 el Gobierno Chileno lanzó el programa “Construye 2025”, impulsado por la Corfo (BRITO, 2018), es un programa de acción público-privado que insta activar la sustentabilidad en el sector de construcción, tomando en consideración todas las etapas del ciclo de vida de cada proyecto a realizar por las empresas, desde el suministro de materiales hasta el final de la vida útil de la edificación. El programa promueve una mayor eficiencia en los procesos, desarrollo tecnológico, mejor estandarización y gestión residual, fortalecimiento del capital humano y educación para los clientes, para lograr un desarrollo nacional impactando en forma positiva en los ámbitos social, económico y medioambiental. Sus metas son aumentar en un 20% las edificaciones sustentables, disminuir en un 20% los costos de producción y disminuir en un 30% las emisiones de CO2 al 2030 (onstruye 2025, 2021), crecer al ritmo de los últimos 30 años (4,1% per cápita) con el objetivo de alcanzar a España en 2025 y a EE. UU. en 2035 y así reducir las enormes desigualdades actuales. A modo de ejemplo de todo el trabajo que queda por hacer en Chile, se debe señalar que hoy en día solo hay siete sitios para disposición final de residuos de construcción en toda la Región Metropolitana y aproximadamente cinco más en todo Chile (BRITO, 2018).

Referentes.

Idea-Tec.

Con respecto al reciclaje del poliestireno expandido, en Chile existen identidades que reciclan este material, el más reconocido es "Idea-Tec", una empresa que nació por la misma inquietud del investigador, resolver la incógnita de qué hacer con el poliestireno expandido. Constanza Cifuentes y Cristina Acuña respondieron la duda de qué hacer con el residuo el 2014, creando una marca de pintura en base al poliestireno expandido que es recolectado por distintas empresas y por personas que quieren hacerse cargo de su residuo (Idea-Tec, 2014); sin embargo, la empresa cuenta con solo un centro de acopio en la Región Metropolitana, dejando a las otras regiones sin una posibilidad de recaudar y reciclar este residuo para la marca.

Para reciclar el EPS, Idea-Tec transforma el poliestireno en resina con el objetivo de obtener una sustancia líquida y viscosa, puede verse el proceso completo en la figura 11.

La empresa cuenta con 5 productos a la venta: Esmalte al agua EVOL, Pintura de piso GROEN, KANTER y BERDEA/BERDEA-SEL. El reciclaje de EPS varía entre los 15-30% dependiendo del producto, envasado en tineta metálica para facilitar su reutilización y reciclaje (Idea-Tec, 2021).



Figura 11: Proceso de producción pinturas
Fuente: Idea-Tec, 2021



Figura 12: Productos de Idea-Tec
Fuente: Idea-Tec, 2021

Recollect.

En Puerto Montt (X Región) se encuentra “Recollect”. Una empresa que nació el año 2015, se especializan en el reciclaje de plásticos residuales, transforman más de 2500 tons de plásticos al año en materias primas con las cuales se fabrican distintos productos de consumo masivo (Recollect, 2020). Trabajan en conjunto con industrias pesqueras y de retail reciclando EPS, polipropileno, polietileno y nylon. En la figura 13 se presenta la ruta de reciclaje con la que la empresa trabaja.

La empresa trabaja con las regiones X, XI y XII del país recolectando, transportando y almacenando los diversos plásticos de origen terrestre y marino.

El resultado son bandejas de plástico reciclado, bloques de EPS reciclado (figura 14) y pellet de PS cristal de origen reciclado.



Figura 13: Ruta de reciclaje Recollect.

Fuente: Recollect, 2021



Figura 14: Poliestireno expandido reciclado.

Fuente: Recollect, 2021

Bibliotecas de materiales.

En la actualidad existen diversas bibliotecas digitales de materiales a disposición de los estudiantes en donde se pueden encontrar biomateriales, formulaciones, materiales sustentables y/o alternativos a los corrientes contaminadores, entre otros. Una de las bibliotecas de materiales a destacar en el presente proyecto fue Material District, la plataforma de match-making líder en el mundo en el campo de materiales innovadores establecida en Holanda. Se pueden encontrar tanto noticias actuales con temas de ecología y reciclaje, como materiales sustituyentes a los convencionales. Uno de los materiales destacados para el investigador es el "Scalite" generado por la marca "Scale", este nuevo material es capaz de sustituir al concreto y al MDF. Un material 100% natural en base a escamas de pescado producido por la industria pesquera (Material District, 2020). Se puede observar el material en la figura 15 y 16.

También se encuentra disponible en línea el catálogo español CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). En este portal se pueden conocer qué aplicaciones tiene los residuos de la construcción para posibles proyectos, destacando sus propiedades y características. La biblioteca solo cuenta con algunos residuos.

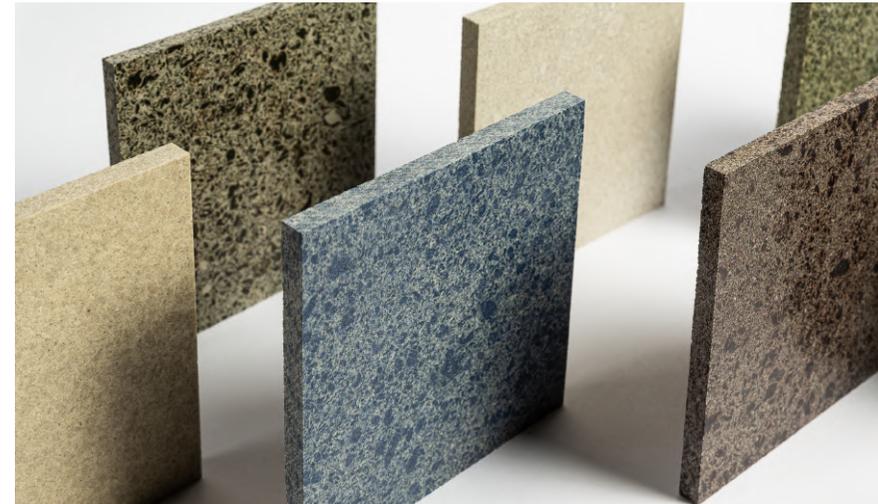


Figura 15: Material Scalite
Fuente: SCALE, 2020

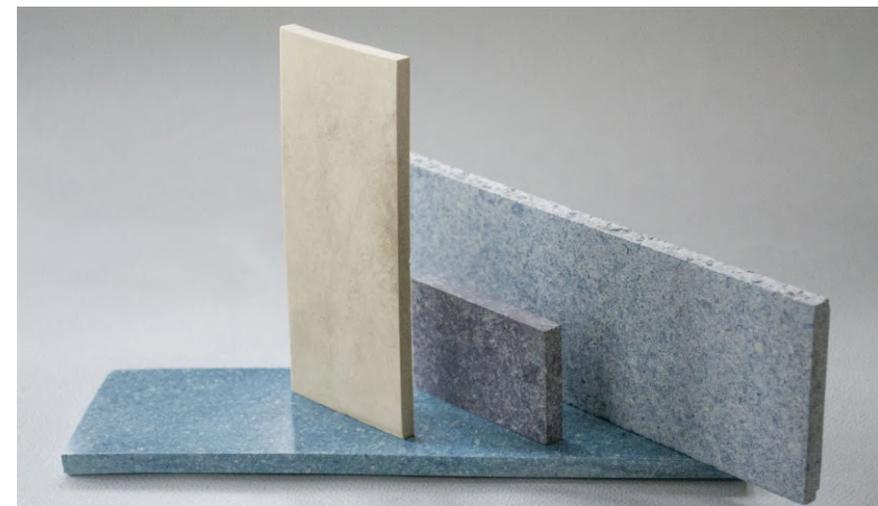


Figura 16: Material Scalite
Fuente: SCALE, 2020

Bentu Design.

En Guangzhou (China) se encuentra el estudio BENTU design, una marca especializado en iluminación y muebles fabricados con hormigón terrazzo (figura 17). Se destaca por la simpleza de forma y materialidad.

El diseñador encontró una respuesta de diseño en los restos de la construcción. Los patrones que son creados por los granos de este materia le dan un característica singular y notoria de reciclaje, visualmente parecido al mármol, el material pasa a ser un producto elegante y sofisticado (Dezeen, 2018). Se puede conocer su trabajo en la figura 18.

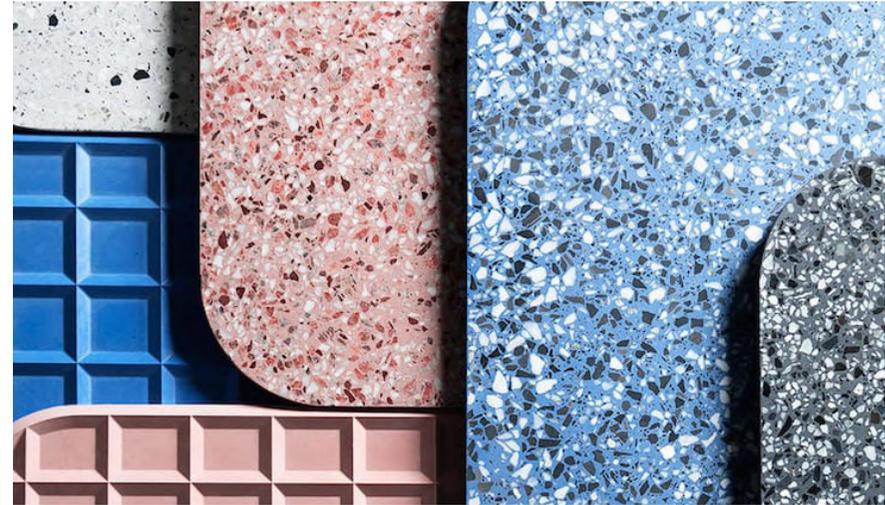


Figura 17: Hormigón Terrazzo
Fuente: Dezeen, 2018



Figura 18: Comparación residuo inicial y producto final
Fuente: Dezeen, 2018

Conclusión Marco Teórico.

A modo de conclusión, se puede discernir que un material compuesto a base de yeso cartón y poliestireno expandido sí es factible de formular, dado que los referentes reflejan un alcance parcial a lo que se estima realizar.

Por los resultados vistos anteriormente, se demuestra que la mezcla de ambas materias primas pueden unirse y lograr un material rígido y versátil, ya que sería capaz de moldearse y curar de forma uniforme. En resumen, la obtención de una mezcla en base a un aglomerante viscoso como se logra hacer con el EPS más la suma de una carga rígida solvente como las partículas de volcanita es una opción viable y óptima.

Cabe mencionar que las propiedades que ambos materiales entregan son provechosas. Por una parte el poliestireno al ser un termoplástico puede lograr elasticidad y moldeabilidad, es capaz de copiar texturas y formas, aportando también brillo y en estética. Por otro lado el yeso aporta con resistencia y tonalidad.

El proyecto de reemplazar los materiales actuales de la construcción a nuevas alternativas sustentables de productos recuperados, es una iniciativa urgente que las empresas deben contemplar. Actualmente por normativas Chilenas en la construcción no se pueden utilizar áridos artificiales ni reciclados; sin embargo, hay un proyecto que se encuentra abierto para la modificación de esta norma (Maldonado & Molina, 2021). Esto se encuentra liderado por los ministerios de Vivienda, Medio Ambiente y Obras Públicas, más Corfo y su programa Construye 2025.



MÉTODOS

Etapa 1: Preparación de materias primas

La tabla 5 sintetiza los métodos respectivos a la etapa 1. En esta etapa posterior a la elección de materiales, se prepara la materia prima, se definen proporciones y dimensiones a trabajar con la noción que de esperar una mezcla uniforme y moldeable. La primera actividad parte por la recolección del residuo obtenida de la misma construcción. Posteriormente se continúa con el proceso de triturado para la separación de partículas,

por consiguiente su granulometría y selección final.

La obtención de la materia prima como se dijo anteriormente será obtenida de la construcción no gastando en este punto para cumplir con el propósito de la investigación. La empresa donadora del materia fue una constructora que está edificando cerca de la vivienda del investigador.

Tabla 5: Etapa 1 de la investigación

Etapa	Actividad	Tareas
1. Preparación de materias primas	1.1 Recopilación de material	1.1.1 Selección de residuo apto para manipulación 1.1.2 Almacenamiento
	1.2 Proceso de triturado y tamizado	1.2.1 Separación de material 1.2.2 División de componentes

1.1.1 Selección de residuo apto para manipulación

Como se ha mencionado anteriormente, cada constructora tiene su mecanismo de reciclaje, ya sea llevándolos a vertederos autorizados, no autorizados o centros de reciclaje. La empresa estudiada (Viconsá) en concreto entrega inducciones y capacitaciones a sus obreros, enseñándoles desde el día uno a separar los residuos según su composición; sin embargo, no hay separación por contaminación superficial (pintura, químicos, entre otros). Debido a esto, las entidades que quieran reciclar/reutilizar los desechos deben seleccionar los materiales de manera independiente. Es importante este punto ya que no se puede reciclar o trabajar con materiales contaminados con otras materias.

Para comenzar la investigación se recupera el material necesario para trabajar a nivel domiciliario. El yeso catón se puede encontrar en diferentes medidas ya que son restos de planchas cortadas que no se utilizaron en la obra (figura 19), en su mayoría el material no se encuentra alterado o gastado, a veces algunas están manchadas por pintura. El defecto del material es el polvo constante que emite el yeso.

Con respecto al poliestireno expandido (EPS). El material se encuentra en diversas medidas y formas, se pueden recopilar los restos y partir sin problemas. Se encuentran trozos tanto de 5cm como planchas dimensionadas en variedad de medidas (véase en la figura 20), algunas por el contacto al suelo se manchan con químicos o espumas tóxicas. Para el proyecto se estima utilizar abundante EPS ya que este al derretirlo se consume casi en un 80% quedando muy poco material.



Figura 19: volcanita recopilado en obra
Fuente: Elaboración propia, 2021



Figura 20: EPS recopilado en obra
Fuente: Elaboración propia, 2021

1.1.2 Almacenamiento

Debido a que la constructora Viconsa se encuentra en la V región el investigador optó por utilizar residuos de construcción en una obra más cercana, donde pudiera acudir sin necesidad de largos viajes ni gastos adicionales. La inmobiliaria "Life" ubicada en Avenida Manquehue Norte 245 donó los residuos solicitados por el investigador.

Los trozos de materiales fueron almacenados en el domicilio del estudiante, posteriormente se transportaron al BioLab de la Universidad para ser triturados y posteriormente guardados en bolsas ziploc grandes separadas por la granulometría obtenida. La misma acción para el poliestireno expandido.

El estudiante tiene un espacio de trabajo en su domicilio donde recaudó las bolsas de material e instrumentaría a utilizar en el proyecto.



Figura 21: Almacenamiento de material
Fuente: Elaboración propia, 2021

1.2.1 Optimización de material

El formato del material yeso cartón es una plancha que al necesitar trozos en la construcción se va dimensionando a la medida necesitada terminando la plancha en pedazos inservibles para los trabajadores. Los trozos a reciclar antes de ser triturados se quebraron con un martillo carpintero, esto para obtener piedras menores a $\leq 2\text{cm}$. El propósito de este ejercicio es para que el material pueda ingresar al compartimiento del molino a utilizar de forma correcta y eficiente. Luego de ser quebrado de forma manual, se cortan los trozos de cartón restantes y se introduce al molino.

Se prepara el molino de martillos marca G-tools modelo wf-1500a2 con capacidad 300 kg/h (figura 24). Se le instala la malla de medida 2mm (figura 25) a utilizar. En el tubo de escape una bolsa para depositar el material. Los pedazos de yeso y cartón se introducen al molino en pequeñas porciones para que la maquina funcione de manera correcta. En la figura 22 se puede apreciar el proceso de triturado.

En el caso del EPS solo se pasa por un molino de cuchillas que se puede apreciar en la figura 27, se debe introducir igualmente de pocas porciones ya que el material comienza a derretirse debido a las hélices en velocidad.



Figura 22: Yeso cartón en proceso de triturado ►
Fuente: Elaboración propia, 2021

1.2.2. Separación de componentes

Posterior al triturado de las materias primas, se tamizó el yeso cartón. En esta tarea se filtra lo que es celulosa con el yeso en sí. Debido a la diferencia de partículas se pueden trabajar tanto por separado como en conjunto. El cartón triturado obtenido podría ser usado para otro proyecto o incluso ser reciclado. La granulometría utilizada en el proyecto se seleccionará posterior a las pruebas realizadas en la tarea 2.1.1.

A continuación se presenta la tabla 6 comparativa a modo de análisis preliminar, el detalle en específico del análisis y la observación visual del tamizado se encuentra en la sección de "Resultados".

Tabla 6: Análisis granulométrico

Tamiz (mesh)	Porcentaje (%)
10	5,9
18	8,7
35	32,5
50	41,4
325	11,5

Los tamices utilizados para la tarea son de marca CISA y de medidas 10 mesh - 18 mesh - 35 mesh - 50 mesh y 325 mesh. Se pueden ver en la figura 23



Figura 23: Tamices
Fuente: Elaboración propia, 2021



Figura 24: Molino G-tools wf-1500a2



Figura 25: Malla metálica 2mm



Figura 26: Molino de cuchillas

Etapa 2: Definición y caracterización de mezcla

Prosiguiendo con el proyecto, se comienza la segunda etapa resumida en la tabla 7, donde se divide en dos grandes actividades. La primera actividad consta de la definición de diluyente y formulación, el objetivo es reconocer el material a trabajar y su reacción ante diversos componentes. Las tareas desarrolladas son parte de la experiencia de manipulación, comprobando eficiencia y duración. Posteriormente se comienza a caracterizar el material compuesto resultante, en esta tarea se evalúa su tracción y flexión a través de pruebas mecánicas.

Con respecto a los diluyentes, se seleccionaron a partir de un previo levantamiento de información literario, donde se generó una tabla comparativa de los diluyentes tanto tóxicos como biodegradables.

Se elaboraron probetas para los ensayos de flexión y compresión realizadas en la Universidad de Santiago de Chile.

Tabla 7: Etapa 2 de la investigación

Etapa	Actividad	Tareas
2. Definición y caracterización de mezcla	2.1 Experimentación de fórmulas y posibles diluyentes	2.1.1 Conformación según granulometría 2.1.2 Prueba diluyentes 2.1.3 Formulación
	2.2 Caracterización del nuevo material	2.2.1 Ensayos mecánicos 2.2.2 Exposición a la interperie 2.2.3 Hinchamiento y absorción de agua

En el siguiente diagrama se puede observar los caminos a seguir para el reciclaje de los desechos con el fin de llegar al material compuesto esperado. El material yeso cartón se encontraría preparado de la primera etapa para su uso en la fórmula, sin embargo el EPS requiere de una nueva intervención para su posterior uso.

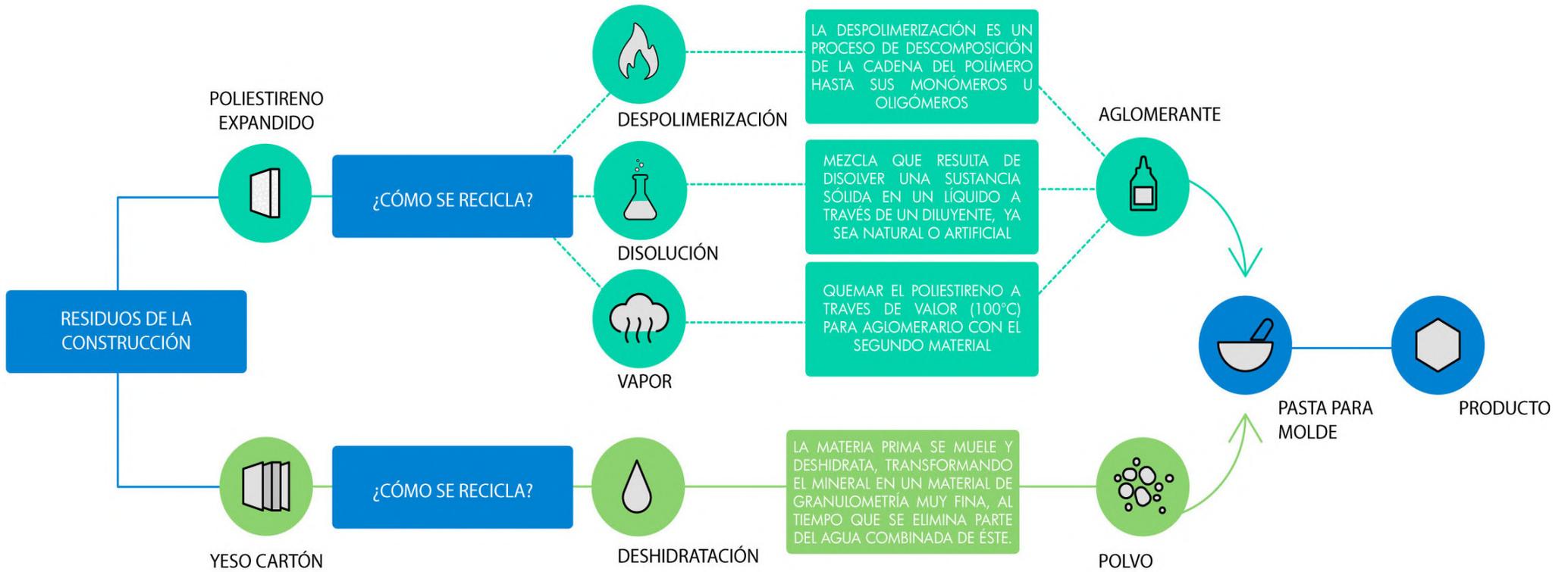


Figura 27: Diagrama proceso de reciclaje
Fuente: Elaboración propia, 2021

2.1.1 Conformación según granulometría

Toda la experimentación de material fue a nivel domiciliario, esto quiere decir que se ocuparon materiales, herramientas y utensilios al alcance del investigador (figura 39). Las primeras pruebas fueron al EPS con el objetivo de tener un primer alcance a la reacción del material en términos de temperatura. Para comenzar se probó intervenir el poliestireno expandido envuelto en papel mantequilla en una plancha de ropa, la temperatura seleccionada fue 100°C. Logrando una reducción en tamaño de hasta 70-80%.

Para la segunda prueba se rellenó un molde metálico con 3,5 gr de EPS ya triturado (figura 28) en 5 de los compartimientos del molde, se introdujo en un horno pre-calentado a 100°C. Luego de 3 minutos en el horno el material no presentó alteraciones visuales por lo que se subió la temperatura a 200°C. Posterior a 3 minutos el material aún no demostraba el cambio esperado por lo que se subió a la temperatura final logrando derretirse produciendo un pequeño porcentaje de poliestireno puro viscoso.

Con respecto al yeso cartón, se comenzaron las pruebas con las 5 diferentes granulometrías obtenidas con el objetivo de observar sus variantes según grano. Con el EPS ya derretido del ensayo anterior, se le agregó 15 gr de cada de volcanita a los compartimientos (figura 29), al mezclar no se unieron las partes por lo que una sustancia líquida debía sumarse para la disolución de ambos materiales. De esta experimentación se obtuvieron las primeras muestras diferenciales.



Figura 28: EPS granulado
Fuente: Elaboración propia, 2021



Figura 29: mezcla poliestireno, yeso cartón y agua
Fuente: Elaboración propia, 2021

2.1.2 Prueba diluyentes

Para continuar con la investigación y comprobar otros medios de reciclaje para el EPS, se prosiguió con los diluyentes.

Para esta tarea se realizó una tabla comparativa de 5 diluyentes existentes en el mercado chileno. Se seleccionaron tres diluyentes para comprobar la tabla, la acetona por tener bajos niveles de toxicidad, limonene por ser biodegradable y el aguarrás para contrastar el efecto. En la tabla 8 se puede ver el detalle de cada diluyente.

En los ensayos caseros se notó el alto impacto de toxicidad que los diluyentes emiten en el aire, es de suma importancia guantes y mascarilla.

Ya que en la tarea anterior no se lograron unir los dos materiales, la incorporación de un diluyente a la fórmula es necesaria para la unión total de la mezcla.

Tabla 8: Comparación de diluyentes

Nombre	Punto de Ebullición	Solubilidad	Densidad	Viscosidad	Toxicidad	Seguridad	Degradabilidad	Precio 1L
Acetona	56,2 °C	a 20°C completamente miscible en agua. Muy soluble en Alcohol Etilico, Dietil Eter, Cloroformo y Benceno	0,791 gr/ml	0,32 cP a 20 °C (293 K)	Líquidos inflamables - Categ 2. Lesiones/irritación ocular - Categ 2A Toxicidad en órganos dianas - Categ 3 Peligro por aspiración - Categoría 2.		Fácilmente biodegradable. Supone un riesgo significativo por la disminución de oxígeno en sistemas acuáticos	\$4.100
Aguarras	150°C – 154°C (inicial), 185°C – 188°C (final)	Insignificante	0,785 gr/ml	No relevante	Líquidos inflamables - Categ 1. Toxicidad en órganos dianas - Categ 1 Peligro por aspiración - Categoría 1.		Degradable en el mediano plazo	\$1.080
Poliuretano	146 °C	Insoluble	0,045 gr/ml	10-12 segundos copa Ford N°4 a 25 °C	Peligro por aspiración, inflamable, toxicidad aguda, irritación cutánea y ocular		No hay información disponible	No disponible
Piroxilina (Duco)	64 - 168 °C	Insoluble en agua. Solubre en solventes orgánicos	0,830 gr/ml	No hay información disponible	Inflamable, peligro para el medio ambiente, toxicidad aguda		No hay información disponible	\$3.390
Limonene	99 °C	Miscible en agua	0,954 gr/ml	No hay información disponible	Líquidos inflamables - Categ 3. Lesiones/irritación ocular - Categ 1 Toxicidad en órganos dianas - Categ 2 Peligro por aspiración - Categoría 1.		Este producto es fácilmente biodegradable	\$17.200

Fuente: Elaboración propia basada en Química Universal, 2019

2.1.3 Formulación

La formula comenzó a surgir a partir de la actividad 2.1.1, en donde se inició la experimentación de los materiales. En el transcurso de las pruebas de diluyente y granulometría se fueron probando diversas vías de procesos simplificados en 3 posibles formulaciones representadas gráficamente en la figura 30.

Formula A: 1. Ablandar EPS en un horno a 270°C
2. Agregar el yeso cartón (YC) al EPS derretido
3. Obtención de mezcla

Formula B: 1. Disolver YC con diluyente
2. Agregar el YC disuelto al EPS derretido
3. Obtención de mezcla

Formula C: 1. Disolver EPS con diluyente
2. Agregar YC al EPS disuelto
3. Calentar maza para moldeabilidad
4. Obtención de mezcla

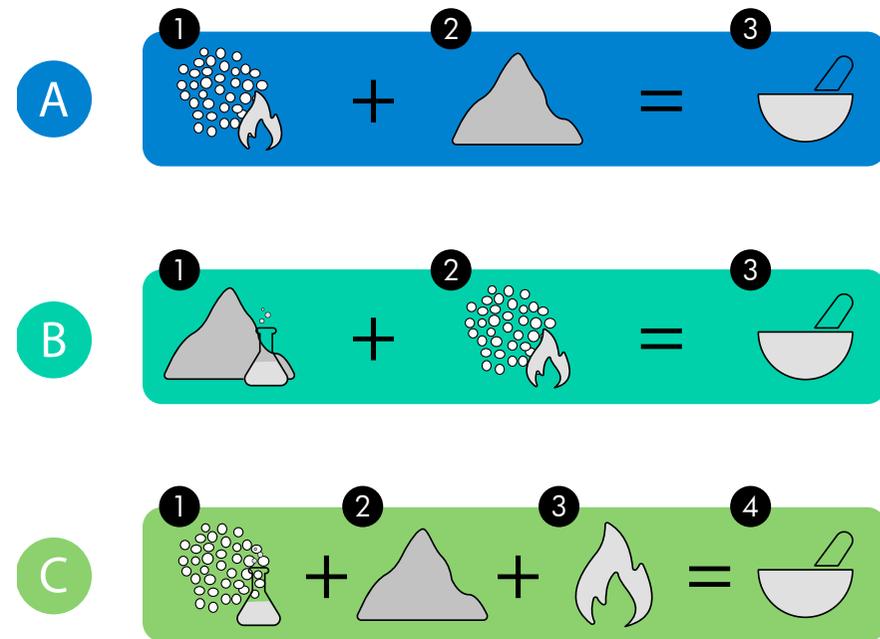


Figura 30: Fórmulas paso a paso
Fuente: Elaboración propia, 2021

2.2.1 Ensayos mecánicos

Las probetas para los ensayos se rigieron por los tamaños especificados en la norma EN 13279-2. El ensayo se realizó en una máquina de ensayo universal Instron modelo 3342 (ver Figura 36). Para las pruebas de flexión se realizaron probetas con medidas 15mm de ancho, 15mm de alto y 160mm de largo (Figura 31), los puntos de apoyo se ubicaron a una distancia de 200 mm, la velocidad del ensayo fue de 1,5 mm/seg. Se realizaron 10 probetas pero se ocuparon 3 para los ensayos.

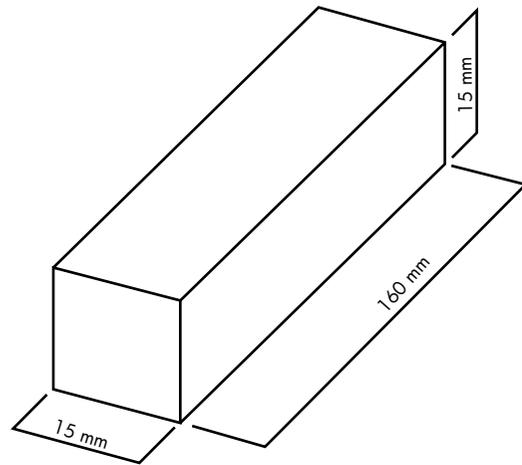


Figura 31: Probeta norma EN 13279-2.
Fuente: ASTM, 2017.

La fabricación de las probetas fueron realizadas en una matriz obtenida en el BioLab de la Universidad de Chile, las medidas del molde de terciado son 30mm de ancho, 15mm de alto y 250mm de largo (Figura 32). Al molde se le agrego un tope en el encaje para que midiera 160mm, luego de tener la probeta se partió por la mitad para obtener las medidas solicitadas por norma.

Se pueden observar las probetas para los ensayos de flexión en la figura 33



Figura 32: Probeta en molde intervenido
Fuente: Elaboración propia, 2021.



Figura 33: Probetas para ensayo Flexión
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para probetas de compresión siguiendo con las normas de flexión, se realizó un cubo de medidas 30mm de ancho, 30mm de largo y 30 mm de alto (Figura 34). Se utilizó una cubeta de hielo para generar las muestras, obteniendo 6 probetas con las medidas requeridas de las cuales se ensayaron 4. Se presentan las probetas en la figura 35.

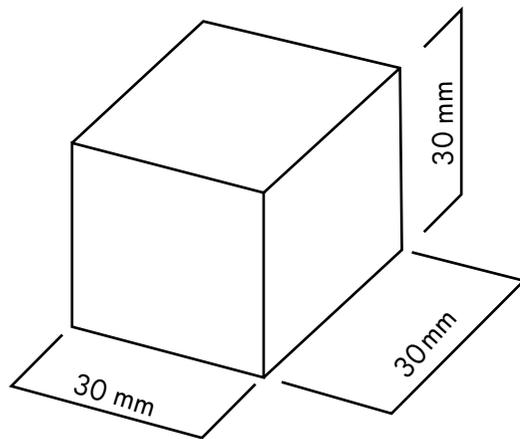


Figura 34: Probeta norma EN 13279-2.
Fuente: ASTM, 2017.



Figura 35: Probetas para ensayo Compresión
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Estas probetas fueron transportadas al laboratorio de la Universidad de Santiago de Chile (USACH) para efectuar los ensayos mecánicos pertinentes. Profesor encargado Claudio García (Director del Departamento de Ingeniería Mecánica de la USACH)

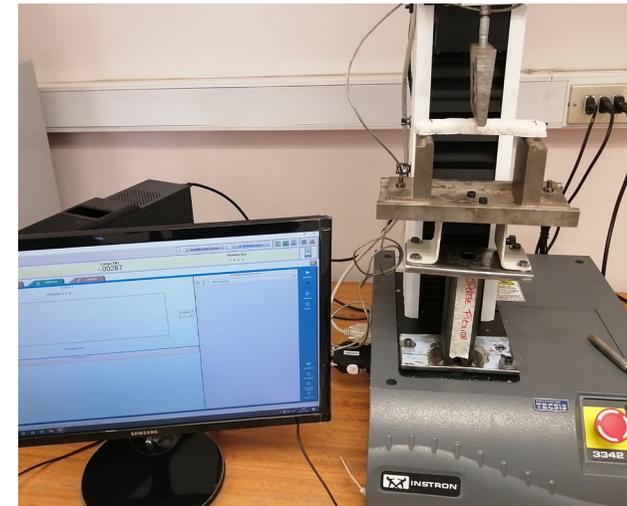


Figura 36: Instron modelo 3342
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Densidad.

La densidad del material compuesto se calculó con la norma UNE-EN 323 Determinación de la densidad (AENOR, 1994d). Para esta tarea se utilizaron 4 probetas de dimensiones 50mm x 50mm. La fórmula para obtener densidad se presenta a continuación representando la relación entre la masa y el volumen del material:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dónde:

ρ = Densidad en gramos (gr) dividido en centímetros (cm) cúbicos.

m = Masa en gramos (gr).

V = Volumen en milímetros (mm)

2.2.2 Exposición a la intemperie

Con el propósito de observar la reacción de el material en la intemperie, se realizó el ensayo a la exposición en el jardín del investigador. Esta actividad tuvo un periodo de 2 meses, fotografiando el material 1 vez a la semana. La superficie se puede encontrar seca o húmeda visitada por insectos y plantas. La cámara utilizada fue un iPhone 8.

El objetivo de la tarea es para visibilizar los cambios que sufre el material en el exterior. Esto es relevante para el investigador ya que el producto podría ser utilizado para las áreas comunes de los inmuebles.

La zona en donde se ubicó la probeta fue en el jardín del domicilio donde se encuentran plantas, flores e insectos. En la mañana cubre el sol de manera completa la zona y en las tardes algunas brisas frescas, para la noche distintas zonas son regadas por lo que habrá contacto con agua y tierra húmeda. El experimento se realizó en verano por lo que las temperaturas variaban entre los 20-33°C

La prueba consistió en colocar una muestra de 50mm de radio en la zona de intemperie como se ve en la figura 37.



Figura 37: Lugar prueba exposición a la intemperie
Fuente: Elaboración propia, 2021

2.2.3 Hinchamiento y absorción de agua

El ensayo de hinchamiento y absorción de agua fue realizado bajo la norma UNE-EN 317 (AENOR, 1994b) en un recipiente plástico transparente relleno en agua. Las probetas utilizadas fueron denominadas con las letras A, B, C y D con medidas 50mm x 50mm, tal como se observa en la figura 38. Se pesó y midió el espesor de cada probeta antes de sumergirla al agua, a las 2 horas de haberla sumergido y a las 24 horas.



Figura 38: Probetas sumersión en agua
Fuente: Elaboración propia, 2021



Figura 39: Instrumentaría ocupada en los ensayos. De izquierda a derecha: guantes, mascarilla, gramera, tenedor plástico, espátula metálica, vasos plásticos, timbal de acero, molde 6 muffin, molde rojo silicona

Etapa 3: Diseño y evaluación de rendimiento

En la última etapa se abordan los temas de diseño y formato. En la tabla 9 se pueden apreciar las actividades y tareas a realizar. Primero, al comprender el material en la etapa anterior, ahora se dispondrá de un molde para tomar la forma morfológica requerida del proyecto, en esta actividad se realizarán dos tareas para el desarrollo de moldeado. Posteriormente se realiza pruebas de trabajabilidad del material final, corte, perforado y lijado. Para concluir se presentan propuestas aplicativas en base a la investigación realizada y a los resultados obtenidos del nuevo material compuesto.

Tabla 9: Etapa 3 de la investigación

Etapa	Actividad	Tareas
3. Diseño y evaluación de rendimiento	3.1 Análisis de trabajabilidad	3.1.1 Moldeado 3.1.2 Pruebas de mecanizado
	3.2 Formato final	3.2.1 Encuesta Diferencial Semántico 3.2.2 Propuestas aplicativas

3.1.1 Moldeado

Para la actividad de moldeado se realizaron las primeras pruebas con matrices de madera terciada facilitadas por el Biolab de la Universidad de Chile. La elección de los moldes fue en base a análisis de flexibilidad y maleabilidad, para estudiar su comportamiento en el transcurso de curado y reactivación ante calor. Se optó por una matriz con margen de 80 mm x 80 mm y espesor 10 mm y una matriz semiesférica cortada en CNC router con el fin de contemplar la versatilidad, elasticidad y resistencia del material. Ambos moldes se presentan en las figuras 40 y 41 respectivamente.

Durante el tramo de realización de mezcla y traslado a matriz, se comprobó el proceso de aplicación del material al molde, analizando su rendimiento y tiempo de manipulación. Para mantener el calor se iba utilizando un secador de pelo. En el desmoldeado se examinaron y compararon las figuras, tanto resistencia, transparencia, espesor, filtraciones, entre otros.



Figura 40: Matriz MDF cuadrada
Fuente: Elaboración propia, 2021



Figura 41: Matriz MDF semiesférica
Fuente: Elaboración propia, 2021

3.1.2 Pruebas de mecanizado

Las pruebas de trabajabilidad del material compuesto fueron realizadas en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad de Chile. En esta tarea se perforo, corto y lijo el material con diversas herramientas como parte de la caracterización. Con el objetivo de comprender su resistencia ante el manejo de maquinarias.

Para llevar a cabo esta tarea se utilizó la norma ASTM D1666-17 (ASTM, 2017). Para las pruebas de perforado y corte se utilizó la cortadora láser de la Fau y la herramienta multipropósito eléctrica marca Bauker modelo MP170-190 que se pueden observar en la figura 42 y 43 respectivamente. Para el lijado se utilizó una lija n° 180

Se analizaron los resultados del material de manera visual, se compararon las superficies obtenidas y el desempeño del material compuesto.

Tabla 10: Norma ASTM D1666-17

Grado	Descripción
Grado 1: Sin defectos	Sin defectos
Grado 2: Defecto leve	Desprendimiento leve (menos del 30%) de partículas, sin marcas de herramienta.
Grado 3: Defecto medio	Desprendimiento leve (menos del 30%) de partícula, con marcas leves de herramienta.
Grado 4: Defecto medio alto	Defecto medio alto, desprendimiento de partículas entre 30% y 50%.
Grado 5: Defecto grave	Defecto grave, desprendimiento grave (más del 50%) de las partículas.

Fuente: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, 2017.

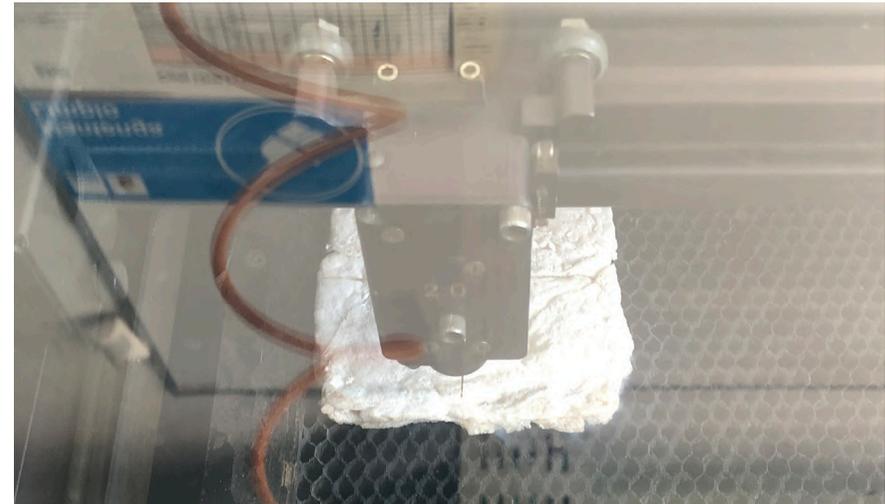


Figura 42: Probeta en corte láser
Fuente: Elaboración propia, 2021



Figura 43: Kit BauKer 190 accesorios
Fuente: Elaboración propia, 2021

3.2.1 Encuesta Diferencial Semántico

Para realizar la evaluación perceptual del material compuesto se utilizó el método basado en Diferencial Semántico es un instrumento diseñado por Charles Osgood y un grupo de investigadores sociales. El instrumento cuantitativo se utiliza como medida de valor perceptible de un objeto o imagen (Aros et al., 2009).

La tarea consta en generar una encuesta evaluando una muestra de 4cm x 4cm del material compuesto, donde puede ver y sentir el material y su textura. La encuesta cuenta con una lista con adjetivos opuestos, así la persona encuestada podrá seleccionar su percepción mediante una escala del 0 al 3, siendo 0 lo menos representativo y 3 lo más representativo. Con esta información se tendrá una noción más clara de la propuesta final.

Población de estudio.

La población de estudio se constituyó de 30 personas, de las cuales se conformaron 3 grupos equitativos; Clientes (Grupo 1), Construcción (Grupo 2) y Diseñadores (Grupo 3):

Grupo 1: 10 posibles prospectos compradores de un nuevo inmueble, personas entre los 30-50 años.

Grupo 2: 10 Arquitectos y constructores civiles trabajando en obras inmobiliarias

Grupo 3: 10 Diseñadores industriales titulados y egresados



Figura 44: Actividad encuesta ►
Fuente: Elaboración propia, 2021

3.2.2 Propuestas aplicativas

Las propuestas que se verán a continuación en la figura 45 fueron seleccionadas bajo las características que el material compuesto otorga aparte de criterios de diseño.

Con el objetivo de crear una economía circular dentro de la construcción, se presentan las propuestas aplicativas donde podría ser utilizado el material compuesto obtenido.

Dentro de los análisis del material y la encuesta efectuada a usuarios dan luces del camino óptimo para el material compuesto. Los referentes fueron extraídos de un brainstorming realizado por el investigador en la búsqueda de posibles aplicaciones.

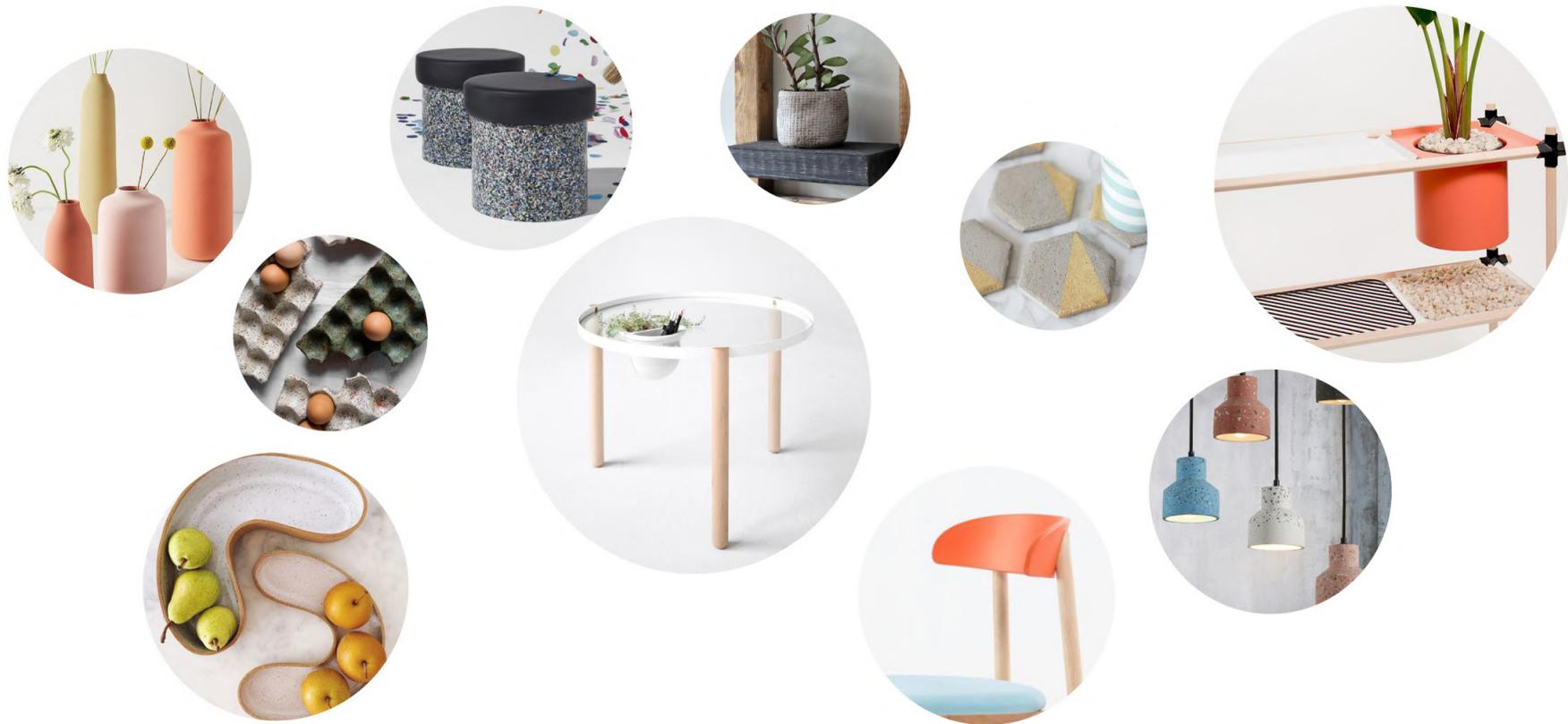
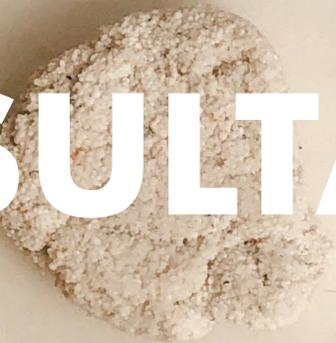


Figura 45: Posibles propuestas aplicativas
Fuente: Elaboración propia con fotografías Pinterest, 2021

RESULTADOS



1.1.1 Selección de residuo apto para manipulación

El investigador seleccionó y recolectó yeso cartón de la inmobiliaria Life ubicada en la comuna de Las Condes, se acudió a este proyecto inmobiliario dado que el estudiante vive cerca de la obra. Se obtuvieron dos trozos de plancha volcanita, dimensiones 700 mm x 300 mm aproximadamente.

El poliestireno expandido fue obtenido ya triturado y almacenado por el BioLab de la Universidad de Chile, fue entregado 1,2 kilos del material al investigador y fue almacenado por él.

En la figura 46 se presenta un diagrama con el proceso de recopilado. El material llega a la construcción, se utiliza y el residuo se lleva a los distintos container que se encuentran en obra, algunos de estos RCD se llevan para reciclaje y el resto a vertederos.

En la tabla 11 se presenta el total de material utilizado en la el proyecto.

Tabla 11: Inventario de material

Material	Cantidad (gr)	Estado
Yeso Cartón	2,030	bueno: Material intacto, con escrituras de grafito en su cara frontal
Poliestireno Expandido	1,200	Muy bueno: limpio, sin alteración de otros materiales

Fuente: Elaboración propia, 2021

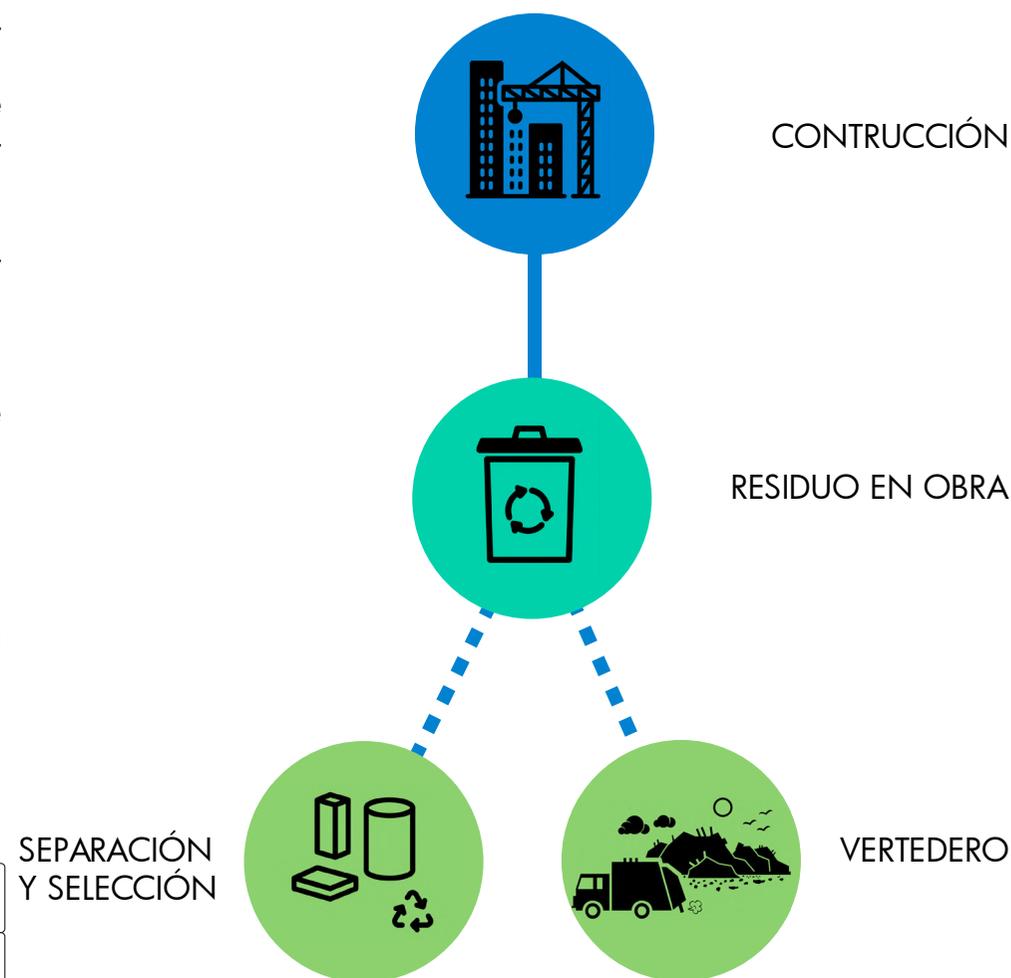


Figura 46: Diagrama proceso de recolección
Fuente: Elaboración propia, 2021

1.1.2 Almacenamiento

Ambos materiales pre y pos triturado fueron almacenados en el domicilio del investigador. Luego de ser triturado el yeso cartón se guardó en 5 bolsas ziploc denominadas por su grano desde los >2 mm a hasta los ≥ 0.045 mm como se puede observar en la figura 5. El detalle granulometría obtenido se encuentra en la tabla 12.

En el caso del EPS el material por su gran cantidad y poco peso se guardó en una bolsa doble de basura 110x120 cm como se puede observar en la figura 48.



Figura 47: Almacenamiento de yeso cartón
Fuente: Elaboración propia, 2021



Figura 48: Almacenamiento de EPS
Fuente: Elaboración propia, 2021

1.2.1 Optimización de material

A continuación se puede apreciar los procesos por los que el material yeso cartón pasó, desde su trozo obtenido de la construcción hasta su molienda luego de ser triturado. Esta tarea se realizó dos veces para el proyecto



Trozo de yeso cartón



Yeso cartón quebrado



Yeso cartón molido

1.2.2. Separación de componentes

Al tamizar el material las partículas de yeso y cartón triturados se separaron, esto agiliza el proceso uso para las siguientes tareas.

Se resume en la tabla 12 los porcentajes y pesos de cada grupo de tamaño obtenidos de la molienda. Los grupos de partículas >35 mesh no presentaban celulosa en su contenido. Cabe destacar que el cartón solo es el 10% del total del material, por lo que el resto se encuentra contenido mayoritariamente en los >35 mesh siendo una alternativa de utilización beneficiosa por su cantidad y calidad.

Tabla 12: Análisis granulométrico detallado

Tamiz (mesh)	Tamiz (mm)	Masa (gr)	Porcentaje (%)
10	2	60	5,9
18	1	88	8,7
35	0,5	330	32,5
50	0,3	420	41,4
325	0,04	117	11,5





2.1.1 Conformación según granulometría

Los resultados granulométricos reflejaron la resistencia del material a base de yeso cartón y agua. Como se puede observar en la figura 49, se realizaron las 5 pruebas de granulometría obtenida de la molienda de la actividad 1.2.2

Como consecuencia las dos primera partículas de 10 - 18 mesh presentan un mayor porcentaje de celulosa, obteniendo una mezcla pastosa, no resistente, frágil y de color tierra. 35 mesh presenta un mayor porcentaje de yeso, no obstante, se quebró rápidamente demostrando una consistencia débil. Para finalizar las mezclas de 50 - 325 mesh obtuvieron resultados positivos con partículas solo de yeso, logrando una pieza uniforme, resistente y de un color neutro.

Tamiz (mesh)	Probeta	Peso (gr)	Observaciones
10		8,4	frágil, rugoso, quebradizo, muy liviano
18		12,3	frágil, grumoso, quebradizo, liviano
35		12,7	frágil, grumoso, quebradizo, liviano
50		19	resistente, uniforme, liso, liviano
325		15,5	resistente, liso, uniforme, liviano

Tabla 13: Comparación de conformación final ▲
 Figura 49: Resultados ensayos granulométricos ►
 Fuente: Elaboración propia, 2021



2.1.2 Prueba diluyentes

El poliestireno expandido reacciona de distintas maneras dependiendo de el método a utilizar para reciclar, ya sea calor, diluyentes o vapor. Para los ensayos se ejecutaron 3 tipos de diluyentes diferentes: aguarrás, limonene y acetona.

En la figura 50, se refleja el resultado de cada uno de los diluyentes. Su curado fue a temperatura ambiente y su tiempo varió entre los 2 y 3 días para que se evaporara por completo el diluyentes y quedaran las muestras secas.

- Aguarrás: Con el aguarrás la reacción resultó porosa y polvorienta, la unión de partes no fue completamente efectiva, su resistencia es débil.
- Limonene: El diluyente de limonene es biodegradable pero el resultado no fue el esperado debido a su color, olor y su percepción, la muestra se ablanda con relación directa al sol, mantiene su viscosidad sin lograr un endurecimiento uniforme.
- Acetona: Por último la acetona fue el químico que resultó ser apropiado para la fórmula debido a su comportamiento con el EPS, logrando una masa moldeable y de curado prudente. La masa resultante se puede apreciar en la figura 50, esta se fue perfeccionando para la actividad 2.1.2 "Formulación".



Figura 50: Resultados muestras diluyentes ►
Fuente: Elaboración propia, 2021

2.1.3 Formulación

A continuación se presentan los resultados de las fórmulas realizadas por opción:

- Fórmula A: Al derretir el poliestireno expandido se logra una sustancia viscosa y no líquida por lo tanto no logra disolver el yeso para lograr una mezcla. Para lograr terminar con una masa se le agregó 10 ml de agua para que se uniera la mezcla consiguiendo una muestra quebradiza y con burbujas de aire.
- Fórmula B: Debido a que se necesitó un líquido en el fórmula anterior, se disolvió el yeso con la acetona, posteriormente se derritió el poliestireno expandido en el horno. Al momento de mezclar el líquido frío con el EPS caliente, se generó un ebullición inmediata endureciendo el poliestireno sin lograr mezclarse con el yeso, quedando como una rosa porosa.
- Fórmula C: En la tercera fórmula dado que el EPS caliente no se diluyó en la mezcla de acetona y yeso, se invirtió el paso. Primero se disolvió la acetona en el EPS a temperatura ambiente disolviendo gran parte del material, con el poliestireno humedecido se le agregó el yeso, se mezclan las partes y se introduce al horno. Al tenerlo en el horno el poliestireno se ablanda por completo y aumenta la temperatura de la masa obtenida para que cuando se manipule aun tenga su flexibilidad.

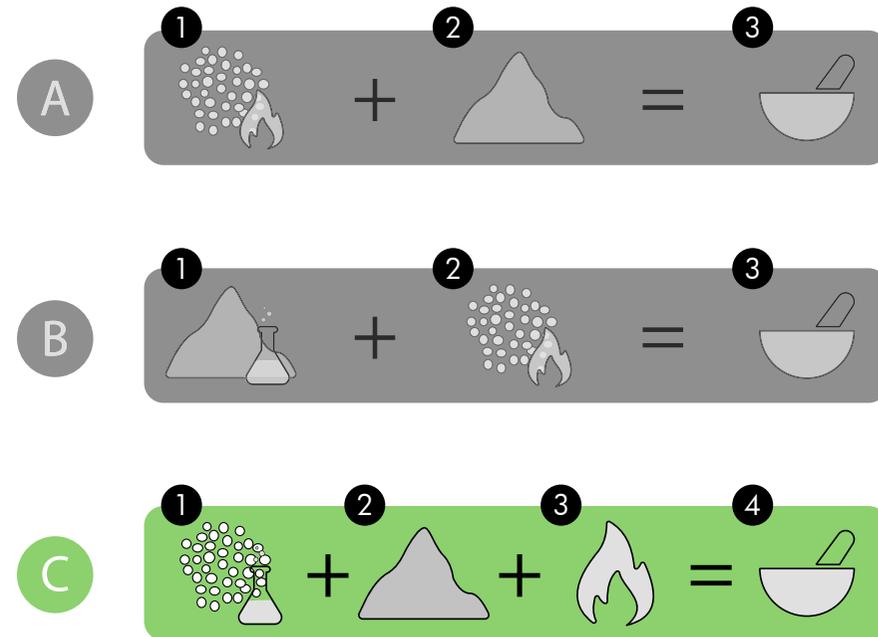


Figura 51: Fórmula paso a paso seleccionada
Fuente: Elaboración propia, 2021

Fórmula paso a paso para realizar el material compuesto:

1. Agregar en un bowl de silicona 30 gr de poliestireno expandido triturado
2. Verter 40 ml de acetona al bowl con el poliestireno y unir
3. Al tener obtener una masa húmeda en el bowl de silicona, agregar 30 gr de yeso granulado ≤ 50 mesh
4. Introducir por 3 minutos el bowl a un horno precalentado a 270°C
5. Mezcla lista para ser moldeada.

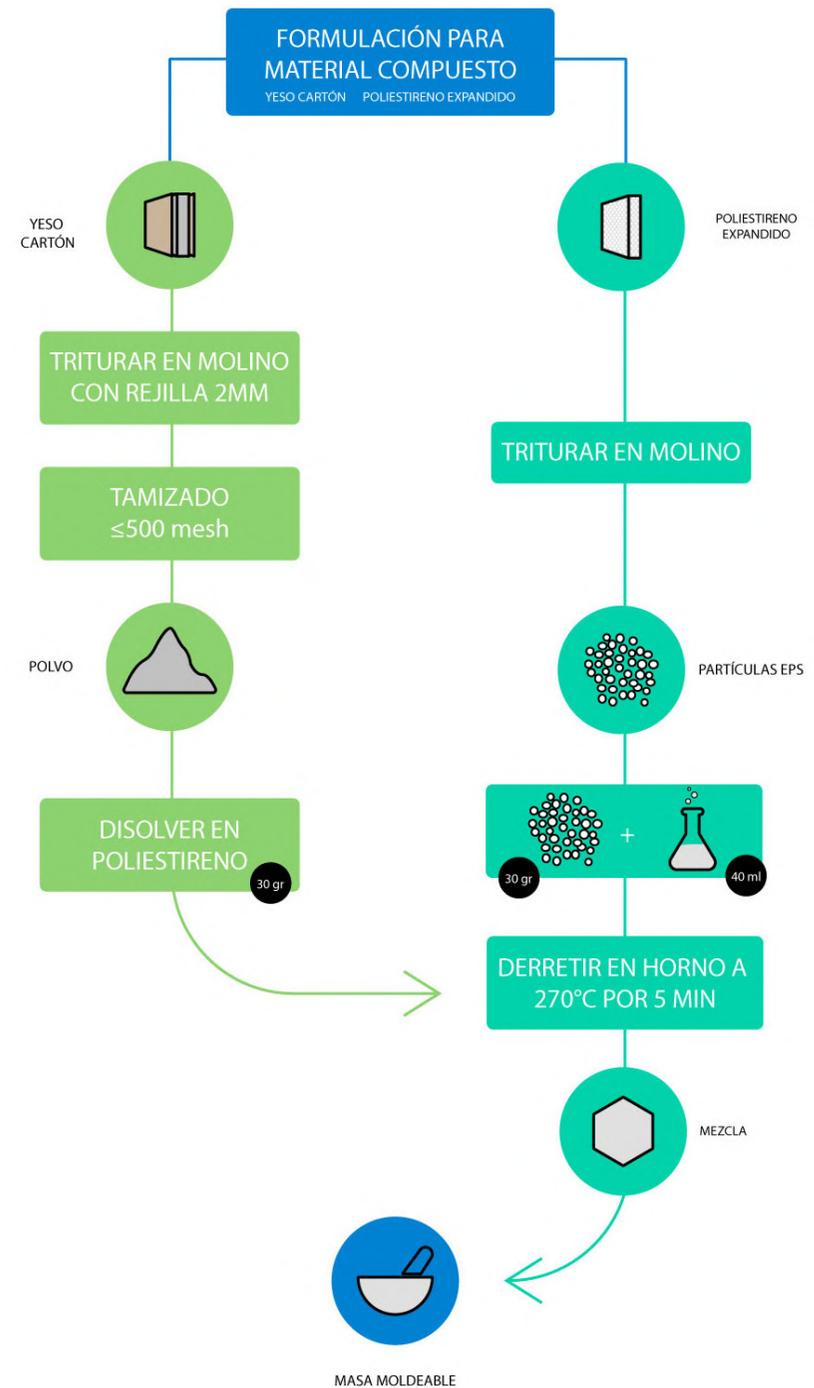


Figura 52: Diagrama Formulación de material ►
Fuente: Elaboración propia 2021

2.2.1 Ensayos mecánicos

Ensayo de resistencia a la flexión.

Los resultados obtenidos de los ensayos de flexión hechos en la Universidad de Santiago de Chile se presentan en la tabla 14. El material hecho en moldes con calor tendrían una producción más prolija, debido a que se hicieron manualmente el material contaba con fisuras y burbujas de aire, lo que complico los ensayos resumiendo las pruebas por probetas al mínimo. Los valores de módulo de elasticidad varían por la misma razón, se calculó también promedio y desviación estándar (DE).

Tabla 14: Resultados ensayo de flexión.

Flexión	
Probeta	E [Mpa]
VF01	4,525
VF02	8,508
VF03	4,586
Promedio	5,873
DE	+/-1,863

Fuente: Elaboración propia, 2021

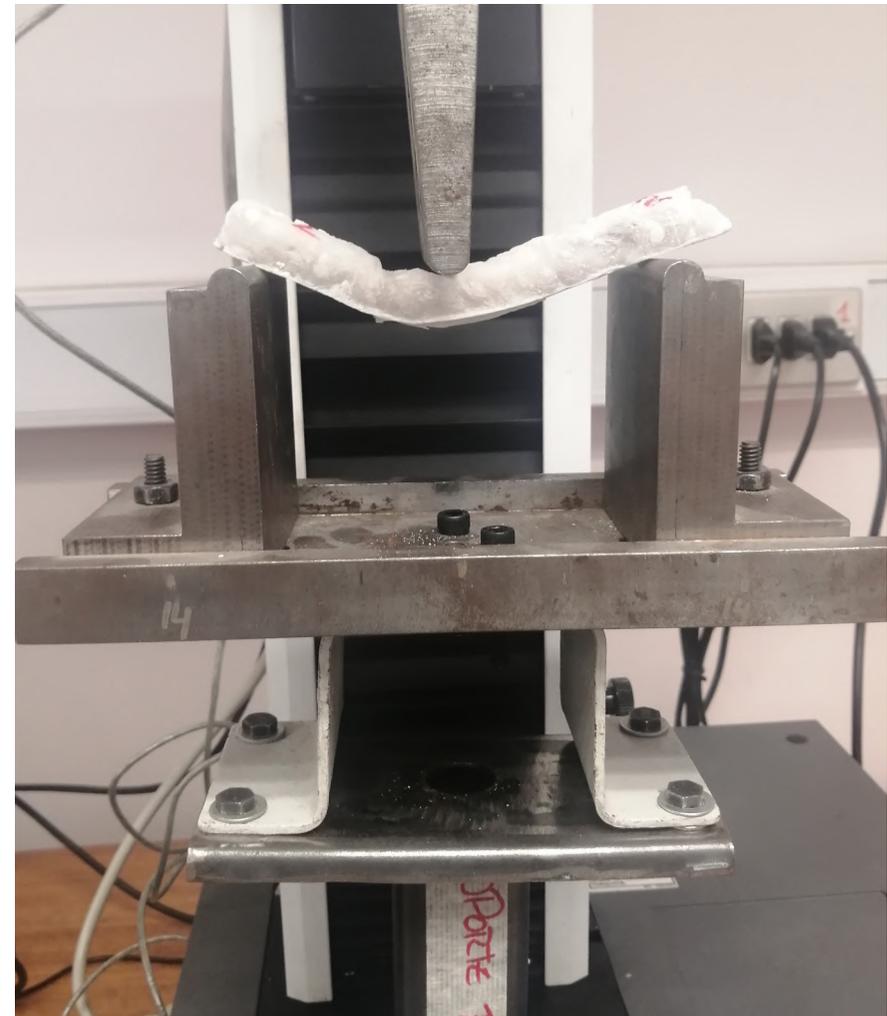


Figura 53: Ensayo de flexión
Fuente: Elaboración propia, 2021

Compresión.

Los resultados que se muestran en la tabla 15 detallan los ensayos de compresión al material compuesto. Al igual que en los ensayos de flexión, las probetas se efectuaron de manera manual en el domicilio del investigador. El material por los estudios realizados se moldea de manera eficiente con planchas de calor. Se presentan los resultados de módulo de elasticidad con su promedio y desviación estandar (DE).

Tabla 15: Resultados ensayo de compresión.

Compresión	
Probeta	E [Mpa]
VC01	0,594
VC02	4,545
VC03	0,514
VC04	0,774
Promedio	1,607
DE	+/-1,699

Fuente: Elaboración propia, 2021



Figura 54: Ensayo de compresión
Fuente: Elaboración propia, 2021

Densidad.

Para la primera prueba de material bajo la fórmula seleccionada, se estimó su densidad que fue 0,438. Para la tarea se realizaron 4 nuevas probetas de medidas 50mmx50x10mm. En la table 16 se presentan los resultados obtenidos con su promedio, corroborando la densidad del material en 0,45 g/cm³

Tabla 16: Resultados ensayo de compresión.

Densidad	
Probeta	g/cm ³
V01	0,36
V02	0,59
V03	0,47
V04	0,37
Promedio	0,45

Fuente: Elaboración propia, 2021

2.2.2 Exposición a la intemperie

La probeta luego de 8 semanas expuesta a la intemperie, no muestra alteraciones visuales. Los rayos UV no quemó o ablandó la probeta, tampoco perdió su brillo, se produjo solo suciedad producto de la tierra. Debajo de la probeta se encontraron chanchitos de tierra.

Se concluye que el material resistente a la intemperie, absorbe un mínimo de agua si esta constantemente recibiendo y por temas de temperaturas menores a los 50°C no presenta alteraciones. El material no se descompone.

A continuación se presenta la documentación obtenida del proceso, las fotografías fueron tomadas en el mismo lugar durante 8 semanas con un iPhone 8.



2.2.3 Hinchamiento y absorción de agua

En la tabla 17 se pueden observar los resultados obtenidos por el ensayo de absorción de agua, dentro de las 2 primeras horas es cuando el material absorbe la mayor cantidad de agua, aumentando su peso en un promedio de 16,70%. Posterior a las 24 horas, las probetas A y D mantuvieron su masa, no obstante, en promedio aumentó en un 17,68% con respecto a la masa inicial, por lo que se observa un crecimiento progresivo en la absorción de agua.

Si se comparan los resultados en conjunto con el hinchamiento se puede notar que la probeta solo se agranda aproximadamente 1mm, esto quiere decir que el agua absorbida por el material queda en los espacios vacíos de este.

Tabla 17: Resultados absorción de agua

Probeta	Masa 2hrs (%)	Masa 24hrs (%)
A	10	10
B	16,88	19,48
C	13,15	14,47
D	26,78	26,78
Promedio / DE	16,70 +/- 7,28	17,68 +/- 7,19

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Dados los resultados de hinchamiento en la tabla 18, se puede discernir que el material absorbe el líquido y se hincha en las primeras 2 horas, luego de este periodo su absorción no se ve reflejada en el espesor del material manteniendo sus dimensiones.

Los resultados fueron los esperados. Al ser el material en base a un termoplástico se podría deducir que no habrían grandes cambios en el, por efectos de las mezclas quedan espacios vacíos dentro del material y por ende reside el agua.

Tabla 18: Resultados de hinchamiento

Probeta	Masa 2hrs (%)	Masa 24hrs (%)
A	16,66	16,66
B	12,5	12,5
C	0	0
D	11,11	11,11
Promedio / DE	10,06 +/- 7,11	10,06 +/- 7,11

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.1.1 Moldeado

Gracias a la versatilidad del material este se puede adaptar a cualquier forma tomando el espesor determinado. El material compuesto no se pega a la superficie de madera logrando un desmolde efectivo.

Con respecto al molde cuadrado (molde 1) y semiesférico (molde 2), se obtuvo una experiencia similar con ambas matrices. Antes de poner el material compuesto en los moldes se expandió la masa con un uslero, al tener la mezcla lo mas expandida posible se aplicó en los moldes respectivos. Para el molde 1 no hubo problema de aplicación. Para el molde 2 se utilizó un secador de pelo como recurso para ir expandiendo el material al rededor de la semiesfera, luego el secador se utilizó también en el molde 1 para uniformar un poco más el material. La temperatura alcanzada con el secador no es lo suficientemente calurosa para que el material se vuelva a ablandar, pero sí disminuye su tiempo de curado.

A modo de conclusión, se puede decir que el material sí funcionó en la matriz de madera, sin embargo en una matriz metálica que contenga calor y presión automática, el resultado serían más eficiente, industrial y uniforme. El material muestra ser resistente y duradero, su espesor puede variar dependiendo de la matriz, pero a más fino se puede notar una translucidez como se puede apreciar en la figura 59, manteniendo una buena resistencia y con un efecto más atractivo.



Figura 55: Material compuesto molde 1
Fuente: Elaboración propia, 2021



Figura 56: Material compuesto molde 2
Fuente: Elaboración propia, 2021



Figura 57: Material en molde 1



Figura 58: Material en molde 2



Figura 59: Transparencia de material formato semiesférico

3.1.2 Pruebas de mecanizado

Corte

La probeta fue cortada por una cortadora láser y por sierra de 5", el corte es preciso, no deja marcas y desprende poco material al cortarlo de manera manual. Su grado según la norma se encuentra en la categoría 2 ya que es un corte limpio. En lo largo del proyecto también se cortó el material con una herramienta multipropósito, por la velocidad que corta el material se calentaba y el cabezal de la herramienta se detenía perdiendo velocidad, solo desprende mayor material con respecto a las otras herramientas.

Perforación

Para la prueba de perforación sólo se ocupó la cortadora láser, en este ensayo el material se quemó levemente dado que el láser hizo dos pasadas por las circunferencias. No hubo desprendimiento de material, sin embargo por las marcas generadas queda en grado 3.

Lijado

Para la prueba de lijado se realizó manualmente y con herramienta. Los resultados son positivos, logrando una buena terminación superficial (lisa y uniforme)

El detalle las pruebas se puede ver en la tabla 19.

Tabla 19: Resultados pruebas mecanizado

Corte	Grado
	2
Perforación	Grado
	3
Lijado	Grado
	1

3.2.1 Encuesta Diferencial Semántico

Los resultados de la encuesta Diferencial Semántico se muestran en la figura 60 y 61.

Las mayores tendencias se pueden observar en las definiciones Suave, Liviano y Rígido, siguiéndolo los términos como Duro, Innovador e Interesante, entre los más cuestionados se encuentran Barato, Alta calidad y Limpio.

Los resultados del Grupo 1 (Clientes) se puede observar una tendencia más marcada, se puede observar en los atributos Suave, Duro, Liviano, Rígido, Agradable, Innovador, Raro, Sustentable. Esto se debe a que lo clientes no son expertos en materiales, apreciando solo lo visual. Como se puede ver en la figura X, la tendencia del Grupo 1 se separa a la de Grupo 2 y 3 que conocen sobre la materia.

Los resultados del Grupo 2 (Construcción) reflejan una similitud con los resultados del Grupo 3 (Diseñadores) ya que ambos grupos tiene una expertis en el tema. Para el Grupo 2 se encuesta a ingenieros, arquitectos, prevencionistas, obreros, entre otros. Los atributos destacados son Duro, Liviano, Moderno, Rígido, Innovador y Raro, siguiendo mayoritariamente la tendencia de los demás grupos.

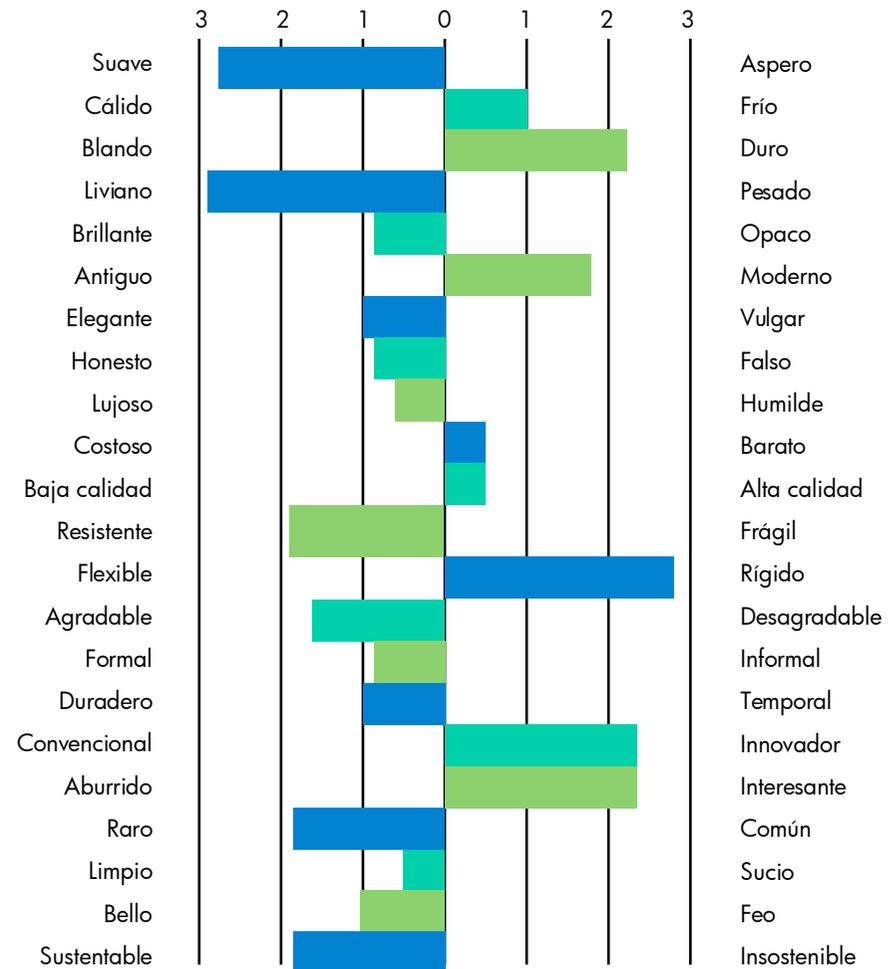


Figura 60: Resultados encuesta perceptual
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Por último el Grupo 3 (Diseñadores) en donde se puede observar una media entre el Grupo 1 y Grupo 3. Una gran diferencia que se puede apreciar entre los demás grupos es en los atributos Falso, Costoso, Duradero, Sucio. Esto es porque conocen los métodos de reciclaje del EPS.

A modo de conclusión se puede decir que la evaluación fue certera y muestra una tendencia general. El material compuesto presentó dudas e intriga a los encuestados, encontrándolo raro e innovador, generando reflexión y activando los sentidos de las personas mirándolo, tocándolo y olfativamente. Con los resultados se pueden aproximar propuestas aplicativas ya que los entrevistados van diciendo sus ideas. El material fue comparado con el mármol en varias ocasiones, viéndolo en aplicaciones de detalle o revestimientos.

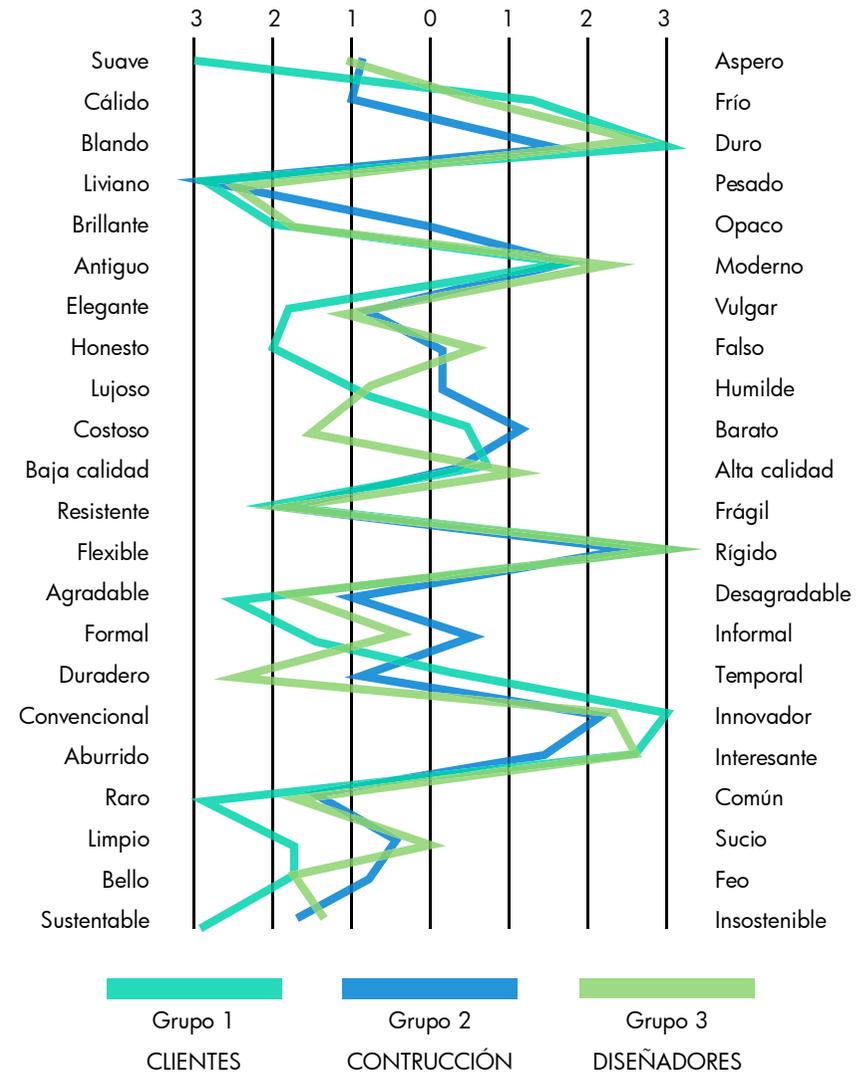


Figura 61: Resultados por grupo encuesta perceptual
Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.2.2 Propuestas aplicativas

Dado los análisis realizados en el proyecto, el material se activa con altas temperaturas de calor, por lo que propuestas que tengan relación con calor fueron descartadas como sector de la cocina, portavelas, utensilios, entre otros. Los usuarios no definieron el material como limpio, por lo que la opción de loza igualmente fue descartada.

El material compuesto muestra una tendencia innovadora ante los usuarios, pequeñas aplicaciones en detalles aportan al diseño del material. El respaldo de la silla o recubierta en los brazos es una opción provechosa por su maleabilidad y resistencia. Aplicaciones en mesa como recubrimiento, pantalla para las ampollas y florero también son opciones viables.



Ficha material compuesto diseñado

VOLCANERO

Material compuesto en base a Yeso Cartón y Poliestireno Expandido

Propiedades Físicas	Norma	Valor
Densidad	UNE-EN 323	0,45 g/cm ³
Absorción de agua (24 hrs)	UNE-EN 317	17,68%
Hinchamiento (24)	UNE-EN 317	10,06%

Propiedades Mecánicas	Norma	Valor
Esfuerzo de fluencia (Flexión)	EN 13279-2	5,873 MPa
Esfuerzo de fluencia (Compresión)	EN 13279-2	1,607 MPa

Exposición a la Interperie	Método	Resultado
Rayos UV	Ensayo Visual	Sin efecto
Humedad	Ensayo Visual	Sin efecto
Tierra	Ensayo Visual	Limpieza leve

Moldeabilidad		Resultado
Plancha	Compresión	Moldeable
Semiesférico	Compresión	Moldeable

Mecanizado	Norma	Valor
Corte	ASTM D1666	Grado 2
Perforado	ASTM D1666	Grado 3
Lijado	ASTM D1666	Grado 1

Propiedades Perceptuales	
Suave ●●●●●	Duro ●●●●●
Rígido ●●●●●	Innovador ●●●●○
Liviano ●●●●●	Interesante ●●●●○
Limpio ●●●○○	Alta calidad ●●●○○

Otros	
Transparencia	Dependiendo del espesor
Color	Neutro
Contacto con alimentos	No recomendable
Biodegradable	No
Recursos locales	Sí
Inflamable	Sí
Permeabilidad	Impermeable

Componentes	
Poliestireno Expandido	62,7%
Yeso Cartón	27,5%
Acetona	9,8%

V. Conclusiones y proyecciones

El proyecto logró la conformación de un material compuesto valorizando dos residuos de la construcción, el yeso cartón y el poliestireno expandido. El objetivo general fue logrado concluyendo con un formato y propuestas aplicativas, cumpliendo también los objetivos específicos esperados. El propósito de otorgarle a los residuos una segunda vida es viable y factible.

La reacción de las personas ante el material compuesto fue sumamente positivo, el personal de la construcción en específico se mostró intrigado e interesado por el material logrado. Así como estos dos residuos valorizados en la construcción se encuentran más por descubrir y otorgarles una segunda vida útil.

En el punto de vista de diseño industrial, todos los procesos son de retroalimentación, no importa el producto en sí, sino la historia que cuenta. El costo del proyecto fue mínimo porque la materia prima fue entregada de manera gratuita. La valorización tanto de materiales como residuos es fundamental para el desarrollo de una vida sustentable y amigable con el medio ambiente. Este pequeño aporte sirvió para reflexionar al personal de la construcción, creyendo que algo era obsoleto, se convirtió en una solución.

Como proyección se espera realizar un análisis de transmitancia térmica y acústica, también ensayos de resistencia al fuego para determinar su punto de inflamación ya que el material es en base al EPS. Probar pinturas intumescente para evaluar su resistencia al fuego, también probar colorantes en la fórmula para observar su comportamiento y obtener variedades de colores. Experimentar más con la translucidez que el material otorga al ser moldeado en espesores delgados.

El material compuesto se presentará en la constructora Viconsa a modo de reflexión para las inmobiliarias, demostrar que se logró efectuar un material con dos de los residuos más complejos en obra. Las maderas, metales, cerámicas y más plásticos puede ser reciclados o reutilizados extendiendo su periodo de vida útil.



VI. Lista de referencias

- Tapia, A. (2018). Gestión Sustentable de los Residuos de la Construcción y Demolición en el marco de una Economía Circular. CORFO.
- HUAIQUILAF. (2018). Catastro Nacional de Instalaciones de Recepción y Almacenamiento, e Instalaciones de Valorización de Residuos en Chile. Subsecretaría del Medio Ambiente.
- Pezoa, B. (2019). La iniciativa que recicla los desechos de la construcción. <https://laboratorio.latercera.com/laboratorio/noticia/la-iniciativa-recicla-los-desechos-la-construccion/831941/>
- Serrano, P. (2018). Residuos de construcción y demolición reciclados para su reutilización. <https://www.certificadosenergeticos.com/residuos-de-construccion-y-demolicion-recicladados-reutilizacion>
- Ecoembes. (2019) Las Cifras del Reciclaje. Soy Empresa Circular.
- Ossio, F. & Faúndez, J. (2021). Diagnóstico Nacional de Sitios de Disposición Ilegal de Residuos.
- Fernández, S. (2013). Reciclaje y cierre del ciclo de vida de las placas de yeso laminado. Knauf GmbH Sucursal en España.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2020). Plan de Gestión de Residuos en Obra, Paso a Paso. Cámara Chilena de la Construcción.
- ICEX España Exportación e Inversiones. (2018). El sector de la construcción en Chile.
- Secretaría Ejecutiva de Construcción Sustentable, Ditec, Minvu. (2018). Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas en Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Gobierno de Chile.
- González, C. (2020). Hoja de ruta de economía circular en la construcción proyecta valorizar el 70% de sus residuos al 2035. <https://www.paiscircular.cl/sin-categoria/hoja-de-ruta-de-economia-circular-en-la-construccion-proyecta-valorizar-el-70-de-sus-residuos-al-2035/>
- Recollect. (2020) Ruta del Reciclaje. from <https://www.recollect.cl/como-lo-hacemos/>
- Material District. (2020). SCALITE. from <https://materialdistrict.com/material/scalite/>
- De Klee, K. (2018). Bentu Design Creates Wreck Furniture From Ceramic Waste. from <https://www.dezeen.com/2018/11/05/bentu-design-wreck-furniture-ceramics-china/>
- The Edge. (2009). EnGro is first specialty cement manufacturer to get green label for products. <https://www.theedgemarkets.com/article/engro-first-specialty-cement-manufacturer-get-green-label-products>
- González, C. (2020). Idea-Tec: la empresa de pinturas sostenibles a partir de plumavit reciclado. <https://www.paiscircular.cl/consumo-y-produccion/idea-tec-la-empresa-de-pinturas-sustentables-a-partir-de-plumavit-reciclado/>

- Molina, J. & Maldonado, C. (2021). Incorporación de áridos artificiales y reciclados al hormigón: el cambio clave que abre la puerta a la economía circular en la construcción. <https://www.paiscircular.cl/industria/incorporacion-de-aridos-artificiales-y-reciclados-al-hormigon-el-cambio-clave-que-abre-la-puerta-a-la-economia-circular-en-la-construccion/>
- Material District. (2020). SCALITE. from <https://materialdistrict.com>
- World Economic Forum. (2016). Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology.
- Muñoz, L. (2019). Valorización del carozo de durazno para el desarrollo de un material compuesto sostenible y su potencial aplicación
- Godoy, J. (2020). Reutilización de la concha de mar: desde un mar de residuos, a la valorización de un objeto cotidiano
- Volcán, (2016). Declaración ambiental de productos: yeso cartón Volcanita
- Petrella A, Di Mundo R, Notarnicola M. Recycled Expanded Polystyrene as Lightweight Aggregate for Environmentally Sustainable Cement Conglomerates. *Materials* (Basel). 2020 Feb 22;13(4):988. doi: 10.3390/ma13040988. PMID: 32098376; PMCID: PMC7078601.
- Lomas Franco, M., Terreros de Varela, C., & Torres Espinoza, J. (2018). Propuesta metodológica para paneles prefabricados de bajo costo con desechos y escombros de construcción con polietileno expandido. *Opuntia Brava*, 10(4), 279-290. Recuperado a partir de <http://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/637>
- Arthuz-López, Lizette; Pérez-Mora, Walter (2019). Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial. *Informador Técnico*, 83(2), 209-219. <https://doi.org/10.23850/22565035.1638>
- Plettner, A. & Ramírez, G. (2011). EL POLIESTIRENO EXPANDIBLE (EPS) Y EL MEDIO AMBIENTE. <https://www.plastico.com/temas/El-poliestireno-expandible-EPS-y-el-medio-ambiente+3084142>
- Química Universal. (2019). Hoja de datos de seguridad de productos químicos (HDS)
- Muñoz, A. (2019). Caracterización termo-mecánica de placas de yeso modificadas con material de cambio de fase.