



**CONTRASTE DE VARIABLES DE ECONOMÍA CIRCULAR ENTRE MUROS
DE ALBAÑILERÍA ARMADA VERSUS MUROS DE MADERA AISLADOS
TÉRMICAMENTE A PARTIR DE UN CASO DE ESTUDIO.**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil.

Estudiante:
Álvaro Ignacio Arias Rubio.

Profesor guía:
Héctor Hernández López.

Abril, 2021.
Santiago, Chile.

RESUMEN

Este trabajo se centra en la comparación de dos tipologías de muros para la construcción de viviendas en Chile. Se evalúa el comportamiento medioambiental para las variables de Potencial de Calentamiento Global, uso de Energías Primarias Renovables y No Renovables, y, de Potencial de; Reciclaje, Recuperación y Reutilización para cada material utilizado en los muros de albañilería armada y muros de madera aislados térmicamente.

Resulta, con base a la recopilación y entrega de datos realizados en el presente trabajo, la tipología de muros de madera aislados térmicamente como la menos contaminante en la variable de Dióxido de carbono equivalente (kgCO_2eq). También, resulta ser la menos agotadora de recursos energéticos para las variables de usos de Energías Primarias Renovables (EPR) y Energías Primarias No Renovables (EPNR) que están expresadas en Mega Julios (MJ) de energía incorporada al proceso.

Al evaluar el posible potencial de reutilización, recuperación y reciclaje de cada material cuantificado en ambas tipologías de muro, se evidencian varias formas de aprovechar estos recursos evitando su disposición como deshecho en vertederos. Resultan en estas variables, como elementos más sustentables, los contenidos en los muros de madera aislados al presentar un mayor potencial para la circularidad del proceso productivo de acuerdo con las evidencias que se recopilaron en este trabajo.

Al considerar solo los muros en la cuantificación, se deja de lado los potenciales valores obtenibles de las otras partidas de la fase constructiva como lo son las fundaciones y techumbre. Si bien, las solicitudes de las fundaciones para la vivienda de muros de madera son menores a las de muros de albañilería, se ha optado por considerar la misma solución constructiva para ambas con el fin de no entorpecer la comparación para las tipologías de muro estudiadas en el presente trabajo.

Palabras claves: Economía, Circular, Muros, Medioambiente, Variables, Albañilería, Maderas, Construcción, Energías, CO_2 .

ABSTRACT

This work focuses on the comparison of two types of walls for houses construction in Chile. Environmental behavior is evaluated for the variables of Global Warming Potential, use of Renewable and Non-Renewable Primary Energies, and, of Potential of; Recycling, Recovery and Reuse for each material used in the reinforced masonry walls and thermally insulated wooden walls.

Based on the compilation and delivery of data carried out in this work, the typology of thermally insulated wooden walls results as the least polluting in the variable of equivalent carbon dioxide (kgCO_2eq). Also, it turns out to be the least exhausting of energy resources for the variables of uses of Primary Renewable Energies (PER) and Primary Non-Renewable Energies (PENR) that are expressed in Mega Joules (MJ) of energy incorporated into the process.

When evaluating the possible potential for reuse, recovery and recycling of each material quantified in both types of wall, there are several ways to take advantage of these resources avoiding their disposal as waste in landfills. In these variables, the most sustainable elements are those contained in the isolated wooden walls as they present a greater potential for the circularity of the production process, according to the evidence collected in this work.

By considering only the walls in the quantification, the potential values obtainable from the other items of the construction phase such as foundations and roofing are left aside. Although the requirements of the foundations for the housing of wooden walls are lower than those of masonry walls, it has been chosen to consider the same constructive solution for both in order not to hinder the comparison for the wall typologies studied in the present work.

Keywords: Economy, Circular, Walls, Environment, Masonry, Woods, Building, Energies, CO₂.

AGRADECIMIENTOS

Sin duda, realizar este trabajo ha sido una de las cosas más importante en mi vida. Ha sido una experiencia llena de emociones, tanto positivas como negativas, pero totalmente enriquecedora.

Durante este proceso he podido compartir con muchas personas, con las cuales agradezco enormemente el que hayan pasado su tiempo conmigo. Quiero agradecer en primer lugar a mi familia y a mi polola, quiénes han estado presente en todo este proceso como también mis gatitos, algunos ya no están, pero siempre los llevo en mi corazón. También agradecer a mis amistades más cercanas, quienes me han dado contención y mucho cariño durante esta etapa. A mis compañeros y amigos de “*Notorious*” y también de “*PvPobres*”, con quienes he tenido el gusto de disfrutar el que ha sido mi principal pasatiempo durante estos últimos años y que me ha permitido conocer grandes personas. Quiero además agradecer particularmente a Don César Jaque Solar, porque su ayuda en el presente trabajo ha sido muy importante para mí.

No puedo dejar de lado a quienes fueron mis formadores y mis compañeros en mi etapa universitaria. Agradezco a todos los profesores con los que tuve la dicha de coincidir y con los cuales tengo un gran cariño, en especial con los profesores Rodrigo Ternero y Héctor Hernández, que han sido parte de esta última etapa de la carrera que decidí estudiar. A mis compañeros, Rodrigo, Bastián, Natalia, Nicolás, y Felipe, por todas esas horas, todos esos trabajos y todas esas risas que compartimos y que no me cabe duda seguiremos compartiendo.

Finalmente, gracias a todos los que me ayudaron de alguna u otra manera durante estos años y que me han dado la valentía, el coraje, el ánimo y el convencimiento de que podemos lograr las cosas que nos proponemos.

GRACIAS TOTALES.

Tabla de Contenido

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	2
AGRADECIMIENTOS	4
CAPITULO 1. INTRODUCCION	9
1.1. Objetivo General	10
1.2. Objetivos Específicos	10
1.3. Metodología de trabajo.....	11
1.4. Estructuración del trabajo.....	12
CAPITULO 2. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.	13
2.1 Antecedentes en la Construcción de Viviendas en Chile.	13
2.1.1. Viviendas en Chile y su actual contexto	14
2.1.2. Materialidad de las viviendas en Chile	15
2.1.3. Normativa legal vigente aplicada	16
2.2. Economía Circular y conceptos asociados.	17
2.2.1. Cómo se asocia la Economía Circular al área de la construcción en Chile .	19
2.2.2. Ciclo de vida de una construcción.....	20
2.2.3. Declaración Ambiental de Producto (DAP)	24
2.3. Gestión de Residuos de Construcción y Demolición; Reciclaje, reutilización y recuperación de los materiales en construcciones.	26
2.4. Potencial de reutilización, recuperación y reciclaje para cada material de ambas tipologías de muro.....	31
CAPÍTULO 3. RECOPIACIÓN DE DATOS ASOCIADOS AL CASO DE ESTUDIO PROPUESTO	43
3.1. Descripción del caso de estudio	43
3.2. Vivienda caso de estudio; características y materiales para las tipologías de muros en madera y albañilería armada.	44
3.3. Cubicación de materiales y recursos asociados para la construcción de cada tipología de muro.	49
3.3.1. Cubicación Muros de Albañilería Armada	50
3.3.2. Cubicación Muros de Madera Aislados Térmicamente	57

**CAPÍTULO 4. CUANTIFICACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS
OBTENIDOS DE ACUERDO CON LA CUBICACIÓN REALIZADA
PARA CADA TIPOLOGÍA DE MURO..... 63**

4.1. Cuantificación de la huella de carbón y energía incorporada en los materiales de construcción para ambas tipologías en muros.....	63
4.1.1. Cuantificación de los Muros de Albañilería Armada.	65
4.1.2. Cuantificación de los Muros de Madera Aislados Térmicamente	70
4.2. Tablas comparativas para cada variable estudiada.	74
4.3. Tabla resumen y comparativa para cada tipología de muro	84
CONCLUSIONES.	92
BIBLIOGRAFÍA	95

SOLO USO ACADÉMICO

Índice de Tablas

Tabla 1: Cubicación Ladrillo Titán Estructural.....	50
Tabla 2: Cubicación Estuco Exterior.....	51
Tabla 3: Cubicación Mortero para Ladrillos.....	52
Tabla 4: Cubicación Enfierraduras de Cadena Electrosoldada ACMA CA1520.....	53
Tabla 5: Cubicación Cadena y Pilares de Hormigón G020 Ready-Mix Concrete.	54
Tabla 6: Cubicación Escalerilla ACMA	55
Tabla 7: Cubicación Tensor Vertical.....	56
Tabla 8: Cubicación Pino Cepillado.....	57
Tabla 9: Cubicación Tablero OSB	58
Tabla 10: Cubicación Terciado Ranurado.....	59
Tabla 11: Cubicación Lana de Vidrio Aislanglass	60
Tabla 12: Cubicación Yeso Cartón	61
Tabla 13: Cuantificación de Ladrillos.	65
Tabla 14: Cuantificación de Estucos.	66
Tabla 15: Cuantificación Mortero para Ladrillos	67
Tabla 16: Cuantificación de Aceros.	68
Tabla 17: Cuantificación Hormigón de Cadena.	69
Tabla 18: Cuantificación de Pino Aserrado y Terciado.....	70
Tabla 19: Cuantificación de Tableros OSB.....	71
Tabla 20: Cuantificación de Lana de Vidrio.....	72
Tabla 21: Cuantificación de Yeso Cartón.	73
Tabla 22: Tabla comparativa del Potencial de Calentamiento Global para cada tipología de muro.	75
Tabla 23: Tabla comparativa del uso total de la Energía Primaria Renovable para cada tipología de muro.....	76
Tabla 24: Tabla comparativa del uso total de la energía primaria no renovable para cada tipología de muro.	77
Tabla 25: Resumen de potencial de Reutilización, Recuperación y Reciclaje para cada material.	78
Tabla 26: Tabla de Valorización para evaluar el potencial de Reutilización, Recuperación y Reciclaje.	80
Tabla 27: Valorización para cada material para ser potencialmente reciclado.....	81
Tabla 28: Valorización para el potencial de cada material para ser recuperado	82
Tabla 29: Valorización para el potencial de cada material para ser reutilizado.....	83
Tabla 30: Resumen de valores asociados a la Economía Circular para cada material cuantificado en los muros de albañilería armada.	84
Tabla 31: Resumen de valores asociados a la Economía Circular para cada material cuantificado en los muros de madera aislados térmicamente.	85

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Esquema de ACV (Zero Consulting, 2018).	20
Ilustración 2: Alcances de un ACV (Zero Consulting, 2018).	21
Ilustración 3: Límites del sistema para el ACV en viviendas. (Abd Rashid & Yussof, 2015).	22
Ilustración 4: Marco de Referencia de un ACV según Norma ISO 14040 y aplicaciones directas. (MINVU, 2018)	23
Ilustración 5: Alcance de una EPD, obtenido en el Manual para la implementación de Declaraciones Ambientales de Producto. (MINVU, 2018).	25
Ilustración 6: Planta y Elevación para muros de Albañilería Armada	45
Ilustración 7: Planta y Elevación para muros de Madera Aislados Térmicamente	46
Ilustración 8: Escantillón muro de Albañilería Armada.	47
Ilustración 9: Escantillón muro de Madera aislado térmicamente.	48
Ilustración 10: Contraste de Valores Totales de las variables asociadas a la Economía Circular para cada tipología de muro.	87
Ilustración 11: Gráfico comparativo para la variante de Potencial de Calentamiento Global para 1 kg de material (kgCO ₂ eq).	89
Ilustración 12: Gráfico comparativo para la variante de uso de Energía Primaria Renovable (PER) para 1 kg de material (MJ/kg)	90
Ilustración 13: Cantidad de MJ de Energía Primaria No Renovable total usado por cada material cuantificado	91

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el 55% de los habitantes del planeta viven en ciudades y se prevé que el 68% de la población vivirá en zonas urbanas de cara a 2050 (ONU, 2018). Esta población demanda vivienda y urbanización, la que además aumenta en el tiempo. Esta demanda ha sido satisfecha durante el último siglo bajo un enfoque económico lineal de extracción (producción, consumo y desperdicio). Sin embargo, hoy es necesario pasar a un enfoque de economía circular, es decir, una en la que se cierran los ciclos de producción y en la que se espera se mantenga un flujo constante de recursos naturales (Suazo Páez, 2018).

Bajo este concepto, surgen varias ideas sobre cómo actuar con las viviendas que se construyen actualmente y aquellas que están en desuso, o en su defecto, inutilizables para ser habitadas. Se buscan aprovechar todos los posibles desechos y evitar que terminen en rellenos sanitarios o vertederos, lo que genera un desaprovechamiento de su potencial como recurso constructivo y, además, costos medioambientales y energéticos asociados.

Cuantificar estas variables y generar conciencia sobre el aprovechamiento de los recursos que son limitados es, sin duda, una de las principales misiones que enmarca la Economía Circular.

1.1. Objetivo General

La presente investigación tiene por objetivo general contrastar variables de economía circular entre soluciones de muros de albañilería armada versus muros de madera aislados térmicamente a partir de un caso de estudio.

1.2. Objetivos Específicos

- Entregar información del contexto actual de las viviendas en Chile y enlazarlas con el concepto de Economía Circular.
- Dar a conocer la experiencia nacional e internacional en cuanto a la gestión de los residuos de construcción y demolición.
- Establecer las características del caso de estudio utilizado para el presente trabajo.
- Cuantificar la energía incorporada, el carbón incorporado y; el potencial de reciclaje, recuperación y reutilización de los materiales presentes en cada tipología de muro.
- Generar tablas comparativas con los datos obtenidos referidos a la Economía Circular para cada tipología de muro.

1.3. Metodología de trabajo

Para llevar a cabo los objetivos propuestos se trabajará de acuerdo con la siguiente tabla

Objetivo	Metodología para su logro
Entregar información del contexto actual de las viviendas en Chile y enlazarlas con el concepto de Economía Circular.	Se realizará una revisión bibliográfica a través de los recursos disponibles en Google Scholar, como también las tesis, informes, revistas y seminarios
Dar a conocer la experiencia nacional e internacional en cuanto a la gestión de los residuos de construcción y demolición.	Se realizará una revisión bibliográfica a través de los recursos disponibles en Google Scholar, como también las tesis, informes, revistas y seminarios
Establecer las características del caso de estudio utilizado para el presente trabajo.	Se realizará un plano de los muros de la vivienda caso de estudio utilizada para cada tipología, mostrando plano de planta, de elevación y de corte, para posteriormente cuantificar y cubicar la cantidad de materiales utilizados en cada uno de ellos.
Cuantificar la energía incorporada, el carbón incorporado y; el potencial de reciclaje, recuperación y reutilización de los materiales presentes en cada tipología de muro.	Se realizará la búsqueda de los datos para cada material de construcción contenidos en distintas EPD atinentes a cada tipología, como también los datos contenidos en inventarios de materiales de construcción obtenibles en la Web.
Generar tablas comparativas con los datos obtenidos referidos a la Economía Circular para cada tipología de muro.	Se realizarán las tablas de acuerdo con los datos obtenidos de la cuantificación de las variables asociadas a las Economía Circular

1.4. Estructuración del trabajo

Este trabajo de titulación se desglosa en capítulos organizados de la siguiente manera:

El primer capítulo, corresponde a la introducción, en donde se presentan antecedentes breves, en donde se da a conocer el lugar y hacia qué segmento de la construcción está enfocado el estudio.

Segundo capítulo, se realiza el estudio bibliográfico el cual aporta datos y antecedentes necesarios para el desarrollo del tema, dando a conocer los términos empleados durante este trabajo como también el contexto en el cual se presenta.

Tercer capítulo, describe las partes necesarias para llevar a cabo el caso de estudio para ambas tipologías de muro. Se realiza la cubicación para cada materialidad indicada para luego establecer los datos de las variables mencionadas asociadas a la Economía Circular.

Cuarto capítulo, muestra la recopilación de datos obtenidos en el tercer capítulo para luego cuantificar las variables asociadas a la Economía Circular y, posteriormente, mostrar en tablas comparativas estos datos obtenidos e interpretar estos con el objetivo principal buscado en esta investigación.

Con esto se espera evidenciar cuánto mejor es un muro por sobre el otro de acuerdo con las variables estudiadas y aplicadas a la vivienda caso de estudio.

CAPÍTULO 2. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1 Antecedentes en la Construcción de Viviendas en Chile.

La información que se recopila en este documento se puede obtener de entidades gubernamentales, Universidades, Empresas, sitios Web y personas dedicadas, no solo al área de la ingeniería y construcción, también en aquellos que están constantemente buscando formas de dar a conocer las nuevas tendencias que involucran el concepto de construcción en Chile.

A continuación, se presentará una serie información que permitirá dar un conocimiento con base para poder establecer los conceptos, antecedentes, materiales y contextualización del trabajo de investigación desarrollado y poder asociarlo de manera más clara a la Economía Circular.

2.1.1. Viviendas en Chile y su actual contexto

De acuerdo con la definición en la Ley General de Urbanismo y Construcciones, se define vivienda de la siguiente forma:

Vivienda: Todo local ubicado en un terreno o sitio, que haya sido construido o dispuesto para el alojamiento de una o varias personas, que constituyan uno o más hogares particulares. Se caracteriza por tener un acceso independiente y separado, lo que significa que sus habitantes no necesitan pasar por recintos de otra vivienda (cuarto de estar, comedor, cocina, etc.); se puede acceder directamente a ella por un pasaje, pasillo, corredor, patio, escalera u otro, sin alterar la privacidad de los habitantes de otra vivienda. Además, la vivienda está cerrada por paredes o muros que la separan de otras viviendas. (MINVU, 2018)

Sin duda, la construcción de viviendas ha ido en aumento y se ve un panorama de mucha demanda por el déficit que existe en el país. Actualmente ese déficit asciende a un total de 739.603 viviendas, de las cuales 425.660 son necesarias para eliminar el allegamiento en otras viviendas y 313.943 corresponden para reemplazar a unidades ya deterioradas. (Ministerio de Desarrollo Social, 2017).

Existen programas sociales, como la entrega de Subsidios habitacionales, que permiten a las personas con menores ingresos postular a la vivienda definitiva, y cuya finalidad también, es bajar las cifras de déficit asociadas a las viviendas. Durante el año 2019 se entregaron 200.700 subsidios relacionados a los diferentes programas del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (MINVU, 2020)

2.1.2. Materialidad de las viviendas en Chile

Chile se caracteriza por tener una diversa geografía y zonas climáticas, por lo que no existe una construcción tipo que satisfaga la demanda completa del país. No obstante, se puede apreciar una tendencia para construir con ciertos materiales en las zonas urbanas.

El Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica de la Universidad Católica (UC) dio a conocer los principales resultados de un estudio sobre vulnerabilidad sísmica de las edificaciones residenciales, en las cuales estimó el número, la tipología y distribución de las estructuras en el país.

“Entre los principales resultados, se señaló que el 99.5% de las estructuras residenciales del país son casas y el 0.5% edificios. De las 4 millones 260 mil casas estimadas, un 53% son de albañilería, un 34% de madera, un 8% de hormigón armado, y el resto se distribuye en construcciones de adobe y otros materiales” (Hube, Santa María, Álvarez, & Rivera, 2016).

Se puede apreciar que las viviendas o edificaciones residenciales, están hechas principalmente entre albañilería y madera, siendo la primera la predominante superando más de la mitad del total, razón, además, del por qué este trabajo está enfocado en esas dos tipologías de muros.

2.1.3. Normativa legal vigente aplicada

Las construcciones en Chile están sujetas a una serie de normativas con base y fundamento en la Ley General de Urbanizaciones y Construcciones (LGUC) la cual se complementa con la Ordenanza General de Urbanizaciones y Construcciones (OGUC) que contienen las normas y parámetros aplicables dentro del territorio nacional. Se suman también Decretos Supremos y los respectivos planos reguladores correspondientes para cada comuna del país. (MINVU, 2020)

Existe actualmente un documento llamado “Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas” (ECSV), editado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, y que es una nueva versión del “Código de Construcción Sustentable para Viviendas” (CCSV) publicado en 2014. Su objetivo es establecer estándares y buenas prácticas de diseño, construcción y operación de las viviendas, nuevas o usadas, con el fin de mejorar su desempeño ambiental, económico y social, mediante la definición e incorporación de criterios de sustentabilidad, basándose en parámetros objetivos y verificables (MINVU, 2018).

Las Normas Técnicas pueden jugar un rol fundamental ya que son un apoyo eficaz para reglamentos e incluso para impulsar políticas públicas. En este sentido, en el año 2019 se publicó la Norma Chilena NCh3562:2019 Gestión de residuos - Residuos de construcción y demolición (RCD) - Clasificación y directrices para el plan de gestión, la cual es la primera Norma Chilena con enfoque de economía circular cuyo objetivo es establecer una clasificación los RCD, así como los contenidos de un plan de gestión de RCD para obras de construcción y de demolición (INN, 2019).

2.2. Economía Circular y conceptos asociados.

La economía circular es una ideología que ha ido creciendo y haciéndose cada vez más conocida a partir del concepto de sustentabilidad. Nace como una alternativa al sistema lineal de producción. Se plantea como la clave para dilucidar formas de atacar los problemas de una manera económicamente viable y, además, establecer nuevas dinámicas sociales y técnicas que conducirán a una producción y consumo responsables. Principalmente se trata de un sistema que conserva y optimiza el uso de los recursos utilizados en cada proceso y cada etapa de vida del material. (Suazo Páez, 2018)

Se sostiene que aumentar la “circularidad” de una economía puede resultar clave para la mantención y disposición de materiales en el futuro. Los productos no biodegradables deben ser diseñados bajo una lógica de “retorno y renovación” (Ellen MacArthur Foundation , 2016)

La lógica detrás de la economía circular se basa en la predominancia de fuentes de energías renovables, y minimizar el uso de materiales finitos (Suazo Páez, 2018).

Economía Circular

El presente modelo económico de "extraer, producir, desperdiciar" está llegando ya al límite de su capacidad física. La economía circular es una alternativa atractiva que busca redefinir qué es el crecimiento, con énfasis en los beneficios para toda la sociedad. Esto implica disociar la actividad económica del consumo de recursos finitos y eliminar los residuos del sistema desde el diseño. Respaldada por una transición a fuentes renovables de energía, el modelo circular crea capital económico, natural y social y se basa en tres principios:

- Eliminar residuos y contaminación desde el diseño
- Mantener productos y materiales en uso
- Regenerar sistemas naturales

El concepto de una economía circular

La actividad económica de una economía circular contribuye para la salud general del sistema. El concepto reconoce lo importante que es el funcionamiento de la economía en cualquier nivel - grandes y pequeños negocios, organizaciones e individuos, global y localmente.

La transición hacia una economía circular no se limita a ajustes que reducen los impactos negativos de la economía circular, sino que representa un cambio sistémico. Ella construye resiliencia a largo plazo, genera oportunidades económicas y de negocios, proporciona beneficios ambientales y sociales.

Ciclos técnicos y biológicos

El modelo hace una distinción entre ciclos técnicos y biológicos. El consumo ocurre solamente en los ciclos biológicos, donde alimentos y otros materiales de base biológica (por ejemplo, algodón y madera) son diseñados para regresar al sistema mediante procesos de compostaje y digestión anaerobia. Los ciclos regeneran sistemas vivos, como el suelo, que ofrecen recursos renovables para la economía.

Ciclos técnicos recuperan y restauran productos componentes y materiales mediante estrategias de reutilización, reparación, remanufactura o (en última instancia) reciclaje (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

2.2.1. Cómo se asocia la Economía Circular al área de la construcción en Chile

La construcción es un importante actor en las diferentes economías del mundo, esto debido a la gran masa laboral que maneja como también las grandes sumas de dinero que se invierten en el rubro para que sea posible realizarlo. En Chile, se dice que la construcción es el termómetro de la economía, esto se debe a su incidencia y a las predicciones que se le atribuyen al interpretar sus números en el corto plazo.

Durante el año 2018, la construcción alcanzó un aproximado de 6,4 % de incidencia en el Producto Interno Bruto (PIB) de la economía chilena según datos recopilados por el Banco Mundial (Banco Mundial, 2018). Esta cifra aumentó a casi un 7 % de acuerdo con el balance del sector construcción en el año 2019 realizado por la Cámara Chilena de la Construcción (CChC, 2019).

Se entiende entonces la influencia que genera el área de la construcción en la economía local, pero también hay que considerar que es una de las industrias más contaminantes a largo plazo. La Agencia Internacional de Energía (IEA) estima que los edificios comerciales, residenciales, y públicos consumen entre el 30 y el 40% de la energía utilizada a nivel mundial. Y que entre un 25 y un 35% de las emisiones contaminantes de CO₂ son emitidas por ellos. (Revista Emb Construcción, 2012)

En Chile, la construcción genera un 56% de los residuos sólidos industriales y generando una cantidad de RSI DE 5,82 millones de toneladas (CONAMA, 2010) convirtiéndola en la industria más contaminante del país. Por lo anterior, es que existe actualmente una preocupación por disminuir los altos índices contaminantes y a la vez seguir rentabilizando el negocio de la construcción, cosas que la Economía Circular incorpora y busca establecer en el modelo productivo contemporáneo de circularidad de los productos y servicios (Suazo Páez, 2018).

2.2.2. Ciclo de vida de una construcción

Para determinar los valores de impacto generado por un producto o material de una construcción se realiza una Análisis de Ciclo de Vida (ACV) donde generalmente se utilizan las metodologías de la serie de normas ISO 14040 (Abd Rashid & Yussof, 2015). Existen variaciones a la realización de un ACV de acuerdo con las características inherentes a los edificios (materiales, ubicación geográfica, diseño, etc.) como también considerar la medición de las emisiones de los gases de efecto invernadero (Greenhouse Gas o GHG), que definen el potencial de calentamiento global (Global Warming Potential o GWP), y la energía demanda acumulada (Cumulative Energy Demand o CED). No existe una forma única de realizar un ACV. Se debe definir la estructura del análisis respectivo para cada caso, en el cual se deben determinar los límites del sistema, la unidad funcional y la vida útil del edificio (Abd Rashid & Yussof, 2015). En la **Ilustración 1** se puede observar qué es lo que incluye un ACV.



Ilustración 1: Esquema de ACV (Zero Consulting, 2018).

El límite de un ACV más utilizado va desde la cuna a la tumba. Por otra parte, el que busca implementar la Economía Circular es el que va desde la cuna a la cuna como se presenta en la **Ilustración 2**.

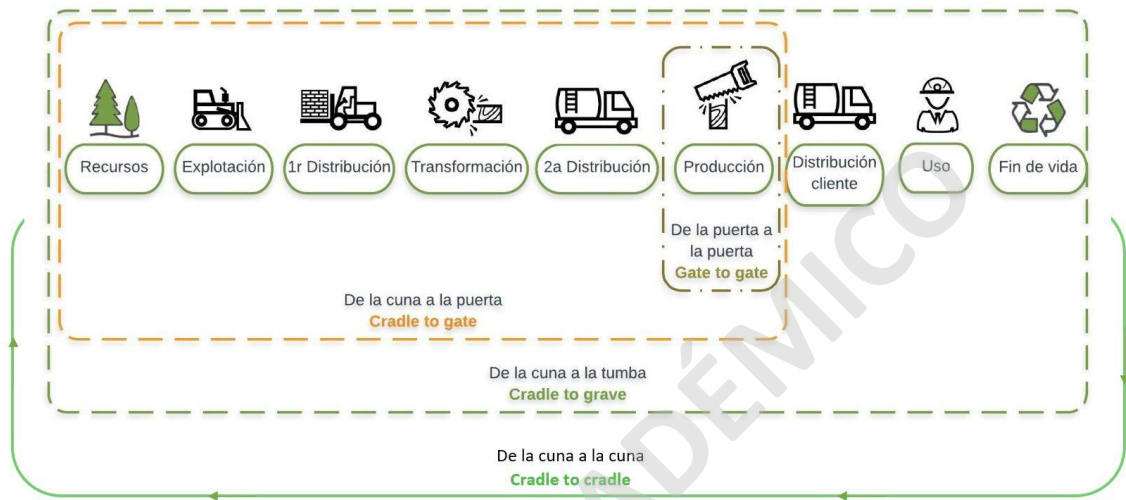


Ilustración 2: Alcances de un ACV (Zero Consulting, 2018).

En este trabajo nos enfocaremos en el límite de cuna a tumba presentado en la **Ilustración 3**, y en algunos casos solo podremos considerar los que van de la cuna a la puerta de acuerdo con cada Declaración Ambiental de Producto (DAP).

La unidad funcional corresponde a la unidad sobre la cual se cuantificarán los indicadores de impacto. Esta última resulta más recomendable el metro cuadrado (m²) de área de piso para poder contrastar con mayor facilidad los resultados obtenidos (Abd Rashid & Yussof, 2015). La vida útil de un edificio suele variar entre los 50 y 100 años, esto dependerá de los parámetros utilizados para llevar a cabo el ACV.

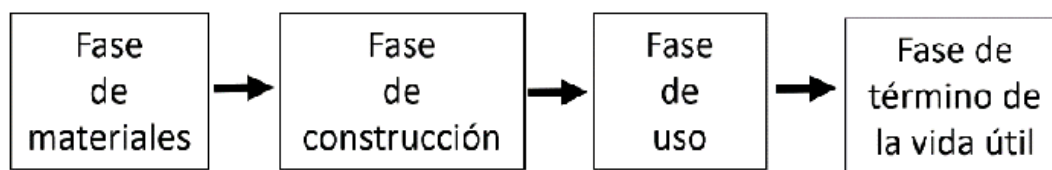


Ilustración 3: Límites del sistema para el ACV en viviendas. (Abd Rashid & Yussof, 2015)

En este trabajo se da el enfoque en los distintos materiales de construcción utilizados para los muros de albañilería armada y muros de madera aislados térmicamente, por lo que se recurren a las respectivas EPD para poder contrastar las variables de Calentamiento Global y utilización de Energías Primarias Renovables y No Renovables.

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

Los principios y marco de referencia para el análisis de ciclo de vida están definidos en la norma ISO 14040, mientras que los requisitos y directrices a considerar están definidos en ISO 14044. Las normas definen cuatro fases en un estudio de ACV:

1. Definición del objetivo y el alcance. El objetivo establece la aplicación prevista, las razones para realizar el estudio, el público previsto y si se prevé divulgar los resultados al público con fines comparativos. El alcance incluye el sistema del producto a estudiar, las funciones del sistema del producto, la unidad funcional, los límites del sistema, los procedimientos de asignación, las categorías de impactos seleccionadas, la metodología de evaluación de impactos, suposiciones, limitaciones, etc.

2. Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV). Fase del análisis del ciclo de vida que implica la recopilación y la cuantificación de entradas y salidas para un sistema del producto a través de su ciclo de vida.

3. Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV). Fase del análisis del ciclo de vida dirigida a conocer y evaluar la magnitud y cuan significativos son los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de todo su ciclo de vida.

4. Interpretación del ciclo de vida. Fase del análisis del ciclo de vida en la que los hallazgos del análisis del inventario o de la evaluación del impacto –o de ambos– se evalúan en relación con el objetivo y el alcance definidos para llegar a conclusiones y recomendaciones. (MINVU, 2018)

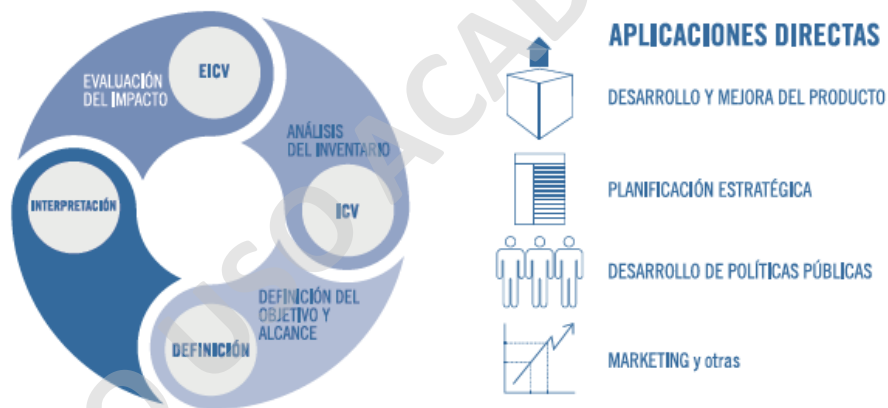


Ilustración 4: Marco de Referencia de un ACV según Norma ISO 14040 y aplicaciones directas. (MINVU, 2018)

2.2.3. Declaración Ambiental de Producto (DAP)

Una EPD (Environmental Product Declaration), que traducido al español significa Declaración Ambiental de Producto (DAP), es un documento certificado que entrega información sobre los datos ambientales del ciclo de vida de un producto o servicio, en conformidad con la norma internacional ISO 14025. También se les denomina Ecoetiquetas de Tipo III de acuerdo con las normativas medioambientales internacionales.

En Chile, se han hecho esfuerzos por realizar ACV, pero solamente algunas empresas relacionadas con el sector de la construcción han tenido éxito y han realizado una declaración ambiental de sus productos (etiquetas Tipo III), y no todas han considerado el ciclo de vida completo debido a la escasa información disponible (ECOBASE, 2015). Estos análisis se han realizado de manera voluntaria por parte de las diferentes empresas proveedoras de materiales.

Las declaraciones ambientales de producto incentivan a los productores a declarar y reducir las emisiones contaminantes. De este modo, es posible cuantificar las emisiones asociadas y las empresas pueden tomar decisiones basadas en el ciclo de vida de los productos, creando así mayor conciencia y compromiso con el medioambiente e incentivando la demanda de productos certificados y sustentables. (MINVU, 2018)

El alcance de una EPD se separa de acuerdo con las fases del ciclo de vida en letras; A, B, C y D, desglosándose como lo indica la **Ilustración 4**. Es relevante entender esto, ya que las EPD analizadas y estudiadas en el presente trabajo utilizan la misma metodología.

FSES DEL CICLO DE VIDA	A 1-3				A 4-5				B 1-7				C 1-4				D			
	MANUFACTURING PHASE				CONSTRUCTION PHASE				USO				FIN DEL CICLO				BENEFICIOS Y TENSIONES FUERA DEL SISTEMA			
	Adquisición de materias primas	Transporte	Producción	Transporte	Construcción e instalación	Uso	Mantenimiento	Reparación	Intercambio	Modernización	Consumo de energía en operación	Operación	Demolición y eliminación	Transporte	Procesamiento de basura	Disposición final	-	Potencial de uso y recuperación y reciclaje	-	
MÓDULOS DE ACUERDO CON CEN/TC350/WG1 N410 PREN 15804	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4		D		
MÓDULOS DECLARADOS	X	X	X				(x) ²		(x) ¹		X	(x) ³			X	X		X		

Ilustración 5: Alcance de una EPD, obtenido en el Manual para la implementación de Declaraciones Ambientales de Producto. (MINVU, 2018)

2.3. Gestión de Residuos de Construcción y Demolición; Reciclaje, Reutilización y Recuperación de los materiales en construcciones.

Existen actualmente en Chile una serie de leyes y decretos vigentes que contienen procedimientos y sanciones acerca de cómo deben actuar las empresas o instituciones que generan y tratan residuos.

En Construcción, se suele categorizar esto como Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y tiene como referencia la *Ley N° 20.920: Marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida al productor y fomento al reciclaje*.

Si bien, existen marcos regulatorios en la materia, en la práctica los residuos no son clasificados como debiese corresponder, generando vertederos y rellenos sanitarios con una gran cantidad de residuos provenientes de la construcción, desaprovechando totalmente la energía y material potencialmente reciclable, reutilizable o recuperable (Hidalgo, 2018).

El MINVU, bajo su informe de *Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas, Chile*, propone criterios de sustentabilidad para el uso de materiales y residuos en la edificación. Ambos elementos se han dispuesto bajo una misma categoría debido a la profunda relación que estos mantienen durante su ciclo de vida y en el proceso de construcción. Sin embargo, solo son de carácter voluntario, pero de igual forma buscan complementar las políticas de calidad y equidad, junto con promover mejores prácticas de construcción. Asimismo, buscan incentivar, en el mediano plazo, el mejoramiento de los estándares de control de calidades existentes en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, reduciendo el impacto ambiental y contribuyendo al bienestar de los usuarios de las viviendas y su entorno (MINVU, 2018).

En este caso, se quiere dar a conocer el potencial de reciclaje, reutilización y recuperación, y a la vez las posibilidades que tienen cada tipología de muro para disminuir su potencial de residuo y que termine desperdiciándose ese material en un vertedero o relleno sanitario o incluso, en sitios no autorizados. En este sentido, en el año 2019 se publicó la Norma Chilena *NCh3562:2019 Gestión de residuos - Residuos de construcción y demolición (RCD)* y la *hoja de ruta de Construye 2025* para los RCD (INN, 2019).

En el ámbito internacional, las mayores diferencias encontradas entre los países desarrollados y los países en desarrollo se refieren a la legislación, al control de los RCD, a la infraestructura de gestión, al porcentaje de reciclaje, a los instrumentos de gestión, a los incentivos, a las barreras o limitantes en la gestión y a los diferentes niveles de conciencia medioambiental en sus habitantes (Suárez, 2018).

Existe una gran brecha entre los países latinoamericanos en relación con los países desarrollados en cuanto a la gestión de los RCD. Esto puede deberse a que estos últimos presentan un mayor nivel de tecnificación y avances más importantes en el desarrollo de instrumentos económicos como el cobro de impuestos y tasas con relación a otras regiones del mundo (Suárez, 2018).

“En España se inició todo el proceso de armado y regulación de los RCD hace casi 20 años, comenzando por establecer un diagnóstico de la generación de RCD. A partir de ahí, se comenzó a construir el marco normativo y regulatorio que permitió ordenar la gestión de los RCD y el uso de los materiales asociados a la valorización de estos.

De forma simultánea, se construyeron una serie de infraestructuras de gestión y reciclado de materiales, y se comenzó a informar y sensibilizar a los diferentes agentes de la cadena de valor.

Lo más reciente que ha realizado la administración, es impulsar proyectos ricos en innovación que permitan avanzar en el cierre de ciclo de los materiales, bajo paradigmas de economía circular” (Dr. Iñigo Vegas, 2019).

Hoy en día, los RCD, por su gran volumen de producción, incidencia en el medio y facilidad de reciclaje, son uno de los cinco sectores prioritarios en la UE para una economía circular, donde el sector de la construcción y los agentes implicados derivan sus propuestas hacia modelos más sostenibles y respetuosos con el medioambiente.

La economía circular para los RCD demanda un cambio de paradigma desde el ecodiseño en los proyectos, la deconstrucción, la selección en origen, el reciclaje, hasta la puesta en obra de áridos y materiales reciclados, que debe dirigir a nuevos retos y oportunidades en los próximos años.

En este sentido, el sector de la construcción está evolucionando sin duda hacia criterios de sostenibilidad, con especial respeto y compromiso con el medioambiente; esto implica que la correcta gestión de los RCD contribuye de manera directa no sólo a evitar su depósito en vertederos o rellenos sanitarios, sino también, mediante su valorización y reciclado, al ahorro en la extracción de recursos naturales (Congreso RCD, 2019).

No es posible asegurar que todos los microbasurales y vertederos ilegales de Chile contienen residuos de construcción y demolición, pero más de un 20% de todos los RCD generados en el país no cuentan con un sitio de disposición legal específico en la región en la que fueron generados. Actualmente existen 3.735 sitios de disposición final ilegal a nivel nacional. Dentro de estos sitios, el 34,65% corresponden a microbasurales (sitios menores a 1 Há), 2,41% a vertederos ilegales (sitios mayores a 1 Há) y 62,95% no tienen información sobre su cuantificación superficial. (Ossio & Faúndez, 2021)

En Europa, y en general, en los países más desarrollados hace años existe un RCD que implementa las bases de la Economía Circular. Hay una preocupación mundial, y lamentablemente Latinoamérica está atrasado en estos temas medioambientales. Sin embargo, ya hay propuestas que pueden ser implementadas en el mediano y largo plazo tomando como referencias las experiencias internacionales en la materia y al cada vez más fácil acceso de la información en la materia.

En 1991, el gobierno japonés aprobó la "Ley de reciclaje" en virtud de la cual establecieron objetivos mínimos de reciclaje para varios subproductos. Como consecuencia, los porcentajes de reciclaje aumentan significativamente. Desde 1995 se implementó un plan de residuos C&D en Bélgica. En 1996, la industria alemana aceptó reducir a la mitad los residuos de construcción y demolición que se vertían en vertederos. En 1997, el Gobierno de Finlandia decidió que para el año 2000 se debería reciclar el 50% de estos residuos. En España, el primer plan nacional sobre residuos de construcción y demolición se produjo en 2001.

El 19 de noviembre de 2008, la UE aprobó la Directiva marco revisada de residuos N° 2008/98 / CE. De acuerdo con esta Directiva, el porcentaje mínimo de reciclado de residuos de construcción y demolición para el año 2020 debería ser al menos del 70% en peso. Este reglamento parece bastante prometedor para lograr una construcción más sostenible; sin embargo, no está claro por qué establece un retraso de más de 10 años (Pacheco Torga & Jalali, 2011).

En el estudio Reciclaje de desechos de construcción y demolición, preparado por Institution Recycling Network, el autor Mark Lennon presenta un argumento convincente a favor del beneficio económico del reciclaje. En el área de Boston, el costo de la eliminación en vertederos de escombros de construcción mixtos (concreto, ladrillo y bloque) fue de aproximadamente \$ 136 por tonelada en 2005, incluyendo \$ 31 por tonelada de costos de transporte. El costo de reciclar esta mezcla de desechos, incluido el transporte, fue de \$ 21 por tonelada, lo que ahorra un 84 por ciento sobre los costos de eliminación. En el peor de los casos, argumenta Lennon, el reciclaje ahorra al menos el 50 por ciento del costo del relleno sanitario en prácticamente cualquier componente de desecho de un proyecto. En proyectos de demolición importantes, con cantidades considerables de desechos sólidos, los ahorros derivados del reciclaje frente a la eliminación pueden ser significativos y literalmente pueden convertir un proyecto de equilibrio en un generador de ganancias. Incluso en proyectos más pequeños, los ahorros de reciclaje pueden ser significativos (Winkler, 2010).

Los desechos de construcción y demolición son un problema de magnitud creciente; sin embargo, se carece de estadísticas confiables porque en la mayoría de los países este tipo de desechos se vierten ilegalmente. Por ejemplo, no hay datos sobre el porcentaje de reciclaje de varios países europeos. Las regulaciones apropiadas sobre las tasas de reciclaje constituyen un paso crucial hacia una gestión de residuos de construcción y demolición más sostenible.

Varias regulaciones imponen la ejecución de un plan de gestión de residuos, que representa un paso crucial hacia la reducción de residuos de C&D. La directiva marco de residuos revisada no. 2008/98 / EC que establece el porcentaje mínimo de reciclaje para los residuos de C&D al menos en un 70% en peso hasta el año 2020 seguramente aumentará la tasa de reciclaje en el área europea. El éxito del reciclaje de residuos de C&D depende también de la demostración de las ventajas económicas asociadas al mismo. Bastante atractivo es el estudio de la EPA que menciona que el reciclaje de residuos C&D permite la creación de un aumento de seis veces en el empleo que su eliminación en un vertedero. El uso de la demolición selectiva aumentará la tasa de reciclaje de estos residuos, y si se utilizaron principios de desmontaje durante la fase de diseño, esto favorecerá la eficiencia de la demolición selectiva. (Pacheco Torga & Jalali, 2011)

2.4. Potencial de reutilización, recuperación y reciclaje para cada material de ambas tipologías de muro.

Se tiene como objetivo determinar la tasa de reciclaje, recuperación y reutilización para cada tipología, que corresponde al cociente entre la cantidad del residuo reciclado, recuperado o reutilizado, con respecto a la cantidad de material producido, pero entregar un valor concreto respecto a esta variable se hace imposible, de acuerdo con experiencias debido a las diferentes variables que pueden influir en el proceso de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), por lo que se recopilará información en una tabla sobre factibilidad de cada material para ser reutilizado, reciclado o recuperado de acuerdo con la bibliografía disponible en la materia y posteriormente se evaluará el potencial individual de cada material contextualizado al caso de estudio entregando valorizaciones de acuerdo a la real capacidad de ser reutilizado, recuperado o reciclado

Los materiales contenidos en los RCD que técnicamente son aprovechables se pueden clasificar de la siguiente forma:

Materiales reutilizables: constituidos fundamentalmente por piezas de acero estructural, elementos de maderas de calidad y/o recuperados en buen estado, piezas de fábricas (ladrillo, bloque, mampostería), tejas (cerámicas y de pizarra) y tierras de excavación. En ciertos casos, la mezcla de residuos de demolición no seleccionados pero libres de "impurezas" puede ser directamente utilizada como material de relleno, subbases de carreteras o pavimento en vías temporales de tránsito de vertederos (Aguilar, 2016).

Para el presente trabajo, se considera un material con el potencial de reutilización a aquel que una vez finalizado su ciclo de vida es posible darle el mismo uso, o similar, sin sufrir grandes modificaciones en su composición.

Materiales reciclables: constituidos fundamentalmente por metales (férreos y no férreos), plásticos y vidrio. Estas fracciones, en la medida que pueden recuperarse libres de impurezas, son susceptibles de incorporarse al mercado del reciclado para dar lugar a los mismos o similares productos que originaron el residuo (Aguilar, 2016).

Para el presente trabajo, se considera un material con potencial de reciclaje a aquel que una vez terminado su ciclo de vida es reincorporado como materia prima al proceso productivo del mismo.

Materiales recuperados o destinados a la fabricación de productos secundarios: Aparte de los metales, plásticos y vidrio que, además de reciclarse se pueden destinar a este fin, son fundamentalmente los materiales pétreos, cerámicos (ladrillos), hormigón y pavimentos bituminosos los que pueden dedicarse a la fabricación de productos secundarios (Aguilar, 2016).

Para el presente trabajo, se considera un material con potencial de recuperación a aquel que una vez terminado su ciclo de vida es destinado para la utilización como materia prima de un producto secundario o diferente al cual fue producido inicialmente.

Ladrillo cerámico:

Entendiendo como reutilización el proceso mediante el cual se vuelve a utilizar el componente o el material tal como está, sin transformación alguna. Por su parte, en el reciclaje el material es tratado mediante algún proceso físico o químico para luego ser reinsertado en la cadena productiva

A partir de estas dos actividades se clasifican tres escenarios para el tratamiento de los residuos de ladrillo. Escenario A, B y C. El escenario A considera que el 100% de los residuos recuperados de ladrillo se dedican para relleno de carreteras. En los casos B y C se supone que el 64,5% y 34% respectivamente de los residuos de ladrillo son reutilizables, como ladrillo para exterior y para interior respectivamente. Los desechos residuales en los escenarios B y C, que consisten en arena, mortero y ladrillo inadecuado, se tratarán como en el escenario A. (Cuesta, 2018)

Para reciclar ladrillos, el mortero tiene que ser más débil que el ladrillo, o el ladrillo se romperá fácilmente. Los morteros de cal, incluyendo cuando sea necesario un 35% como máximo de cemento Portland, facilitan mucho el desmontaje de una construcción realizada en mampostería de ladrillo. (Berge, 2009)

En Japón se ha desarrollado una nueva técnica de mampostería de ladrillos sin mortero, con el objetivo de facilitar el reciclaje. En lugar de mortero, se utilizan amarres de acero en cantidades bastante grandes. Es incierto si el impacto ambiental resultante es de hecho mucho menor, incluso dados varios ciclos de reutilización. No existe un método técnicamente eficiente para limpiar ladrillos viejos; tiene que hacerse a mano y es relativamente laborioso. Sin embargo, hay estudios en curso que involucran el uso de ondas de presión para romper la unión entre el mortero y los ladrillos. Esto puede convertirse en una solución viable y generar más oportunidades de reciclaje de ladrillos en un futuro próximo.

Independientemente del método utilizado, el mortero viejo se adherirá químicamente a los poros del ladrillo, lo que dificultará la unión del mortero nuevo. Por lo tanto, la reutilización es más relevante para las paredes divisorias y las paredes externas pequeñas donde los requisitos funcionales son menores. Si un lado de un ladrillo está cubierto de hollín de una vieja chimenea, esta nunca debe mirar hacia el exterior, ya que el hollín atacará el revestimiento de la superficie de la pared. Los ladrillos que no se pueden desmontar se pueden triturar y, en ciertos casos, utilizar como puzolana en el cemento. Las piezas de ladrillo más grandes se pueden utilizar como agregado en el hormigón. En Dinamarca, los bloques se fabrican con piezas de ladrillo que se utilizan como agregados atractivos y visibles. (Berge, 2009)

En la práctica, mientras que los morteros de cal blanda se pueden quitar fácilmente de los ladrillos y las piedras, los morteros a base de cemento no se pueden limpiar tan fácil o eficazmente. En consecuencia, la recuperación de ladrillos colocados en mortero a base de cemento es más problemática y puede que no sea factible en términos de su rentabilidad o impactos ambientales en la actualidad. (Khatib, 2009)

De acuerdo con la información obtenida, el ladrillo se puede recuperar, reciclar e incluso reutilizar.

Aceros:

Actualmente se produce acero mediante dos rutas básicas –a partir de materias primas (mineral de hierro, caliza y coque)– en el alto horno continuando en general con la acería con convertidores al oxígeno o a partir de chatarra en el horno eléctrico de arco. Cerca del 60% del acero producido actualmente se obtiene mediante el primero de ellos, también conocido como ruta del proceso integrado. En esta ruta se utiliza entre el 25% y el 35% de acero reciclado, mientras que el porcentaje en el horno eléctrico de arco es de aproximadamente el 95% (Gervásio, 2010).

El acero tiene índices altos de recuperación y reutilización, pero dependerá del estado de cada estructura sujeta a evaluación para saber si aplica, y de no ser así, el material es 100% reciclable y puede ser incorporado al proceso integrado.

Tanto los componentes de aluminio como los de acero se pueden reciclar. También ha resultado rentable reutilizar los componentes de acero en su estado original. El acero también se usa ampliamente en sistemas de cimentación como pilotes circulares, paredes de tablestacas o elementos tubulares. Las pilas de tornillos son significativamente más fáciles de retirar posteriormente y reciclar. En Dinamarca, el valor de mercado de los componentes de acero en buen estado de demolición ha alcanzado diez veces el valor de la chatarra. Se han utilizado antiguas líneas de ferrocarril en la estructura de los edificios de oficinas en Suecia. Al reutilizar elementos estructurales metálicos, se debe evaluar el riesgo de fatiga del material. (Berge, 2009)

En teoría, el acero también se puede reciclar a partir de armaduras, aunque se trata de un proceso complejo que utiliza máquinas para triturar el hormigón, electroimanes para separar, etc. Hasta 1950 se utilizaban barras de acero circulares lisas que eran mucho más fáciles de extraer del hormigón. El refuerzo de fibra no tiene potencial de reciclaje.

Las construcciones que constan de componentes prefabricados como bloques y losas tienen posibilidades de reciclaje considerablemente mejores. Mediante el uso de fijaciones mecánicas o juntas de mortero que facilitan el desmontaje posible, se puede reutilizar todo el componente. El mortero utilizado para la construcción con bloques de hormigón se suele producir con cemento Portland resistente. La construcción es, por tanto, muy difícil de desmontar sin destruir los bloques (Berge, 2009).

SOLO USO ACADÉMICO

Hormigón:

“Con la finalidad de utilizar las propiedades mecánicas del hormigón residual, se establece la propuesta de reutilizar el hormigón reciclado como árido para la generación de nuevos hormigones y pavimentos asfálticos... De manera que el reciclaje de hormigón es una alternativa viable que cumple con los requisitos para conformar hormigones pobres, normales o pavimentos asfálticos, lo que permite disminuir uso intensivo de suelo para la extracción de áridos”. (Ramos, 2017)

El reciclaje de estructuras de hormigón y muros de mampostería se realiza mediante diversas operaciones de fragmentación (trituration y trituración). Para reducir las dimensiones de las piezas de hormigón se utilizan trituradoras de mandíbulas, molinos de martillos y otros dispositivos mecánicos. Aunque las operaciones de clasificación pueden separar los agregados cerámicos de los agregados de concreto, no es fácil separar la fracción de roca de la pasta de cemento. Los agregados gruesos con pasta de cemento tienen una mayor absorción de agua, lo que reduce el desempeño del concreto. Además, asumiendo que las plantas de reciclaje recibirán y procesarán desechos de C&D de numerosas fuentes, aumentará la dispersión de las propiedades de los agregados reciclados, lo que conducirá a un aumento en la dispersión de la calidad del hormigón (Pacheco Torga & Jalali, 2011).

Existen evidencias de que el Hormigón se puede reciclar y recuperar parte de sus componentes como el árido contenido en él, sin embargo, no existe factibilidad técnica y evidencia de que el Hormigón de una construcción se pueda reutilizar para otras construcciones como elemento estructural.

Estucos y Morteros

El proceso para estos materiales es similar al del Hormigón. Actualmente existe evidencias de que se puede reciclar y recuperar el árido fino presente en los morteros de construcción para incorporarlos a la ruta de proceso integrado. “Se muestra los resultados que se obtienen al utilizar agregado fino reciclado para la obtención de mortero reciclado... Los resultados muestran comportamientos similares o mejores a las muestras patrón, por lo que su aplicación sería muy beneficioso en los aspectos técnicos, ecológicos y económicos”. (Ramos, 2017)

De acuerdo con la información obtenida, es factible recuperar los elementos del estuco y también reciclarlos, pero el proceso es complicado ya que aumenta demasiado la dispersión de las propiedades de los agregados posiblemente reciclados debido al proceso de separación del material, perdiendo así valor. No existe evidencia de que se pueda reutilizar el estuco y el mortero. (Pacheco Torga & Jalali, 2011)

Maderas:

La madera recuperada es triturada y convertida en tableros de aglomerado para que vuelvan a ser consumibles. Los tableros de fibras y los de partículas, son derivados de la madera que surgen como consecuencia de su aprovechamiento integral. Para producir una tonelada de aglomerado se necesitarían seis árboles, pero gracias al reciclaje de madera, no es necesario talar ninguno.

También se puede utilizar la madera recogida como fuente energética controlada y limpia. Existen algunos proyectos para que ciertos focos industriales reúnan residuos y hagan biomasa o inicien un proceso de cogeneración energética. Se puede usar la madera que se quiere eliminar como combustible en estufas de leña que son la forma más limpia de quemar la madera.

Otra de las formas de reciclaje de la madera es la conversión de ésta en **compost** que es una mezcla de materia orgánica descompuesta y transformada en una rica enmienda para el suelo. Las virutas de madera y el serrín es un buen material para compostar ya que es rico en carbono.

Se puede reutilizar además los elementos de madera que estén bien conservados para construcciones menores, incorporando materiales complementarios para alargar su ciclo de vida. (Redcicla, 2020)

En muchos países, los residuos de madera generados se consideran un coproducto, ya que encuentra numerosas aplicaciones, por ejemplo, como materias primas para las industrias de cartón y papel. Por último, al final de la vida útil, todos los productos de la madera se convierten en residuos. Una cantidad considerable de este tipo de residuos de madera es generada por el sector de la construcción. Una proporción significativa de estos residuos se recupera mientras que el resto se elimina, principalmente en vertederos o quemándose.

La madera es un material reciclable. La madera reciclada es un producto respetuoso con el medio ambiente: es fácil de clasificar y no requiere un procesamiento electrónico complicado. Las principales fuentes de madera reciclada incluyen: casas demolidas, edificios antiguos, cobertizos y fábricas, almacenes, muelles y barcos. En muchos lugares del mundo, por ejemplo en Francia, Bélgica y los Países Bajos, la madera vieja (reciclada) es sustancialmente más barata que la madera nueva. La madera reciclada es cada vez más buscada en una serie de aplicaciones. Una de las principales aplicaciones de la madera reciclada es la producción de tableros aglomerados. Los tableros de partículas y los paneles relacionados están reemplazando progresivamente a la madera maciza en una serie de aplicaciones, lo que hace una contribución potencialmente útil al uso eficiente de la madera. La madera también se utiliza como combustible de biomasa, ya sea en forma de pellets o astillas de madera de desecho, leños para estufas o arbustos de sauce para centrales eléctricas de combustión conjunta. (Khatib, 2009)

De acuerdo con la información obtenida, la madera actualmente puede ser recuperada, reutilizada y reciclada.

Lana de Vidrio:

Las materias primas son abundantes para los componentes principales de lana de vidrio y lana de roca. La producción de lana de vidrio se produce en procesos relativamente cerrados. Las emisiones de la producción son escasas y se limitan al formaldehído y al polvo, además de la contaminación energética. Durante la producción de lana de roca se liberan fenol, amoníaco, cianuro de hidrógeno, formaldehído y polvo y se producen grandes cantidades de desechos. El fenol puede filtrarse de los desechos de lana de roca. Los residuos no contaminados se pueden comprimir y reciclar para la fabricación de lana mineral nueva, aunque la industria está tan centralizada que esta forma de reciclaje es económicamente poco realista. (Berge, 2009)

El 95% de la lana mineral corresponde a material inorgánico inerte, por lo que no sufre modificaciones luego de su deposición, esto implica que a pesar de que pueda verse afectada de manera física su composición mantiene las características originales lo que implica que puede ser recuperada y reciclada para entrar como materia prima al inicio de su cadena productiva (Rockwool, 2005).

En la elaboración de lana de vidrio se utiliza cullet, vidrio molido reciclado, como materia prima. Por lo que el producto es recuperable y reciclable, previo proceso de preparación del material (VOLCÁN, 2016).

La lana de vidrio resulta totalmente reciclable y recuperable, siempre y cuando exista una correcta limpieza del material evitando las impurezas en su reprocesamiento. No es recomendable reutilizarle debido a la contaminación que pueda tener en su fase de uso como material aislante.

Yeso Cartón:

Los materiales de yeso se pueden reciclar indefinidamente sin pérdida de propiedad. El reciclaje de materiales de yeso requiere trituración, eliminación de impurezas y calcinación a baja temperatura. Las actividades de construcción directamente relacionadas con el uso de materiales de yeso generan grandes cantidades de desechos, ya sea como revoques para paredes y techos o como placas de yeso para paneles de yeso. Aunque no se conocen valores específicos para los residuos generados por revoques de yeso, está claro que una parte relevante de estos residuos se debe al rápido endurecimiento del aglomerante. El uso de áridos reciclados contaminados con partículas de yeso para la producción de hormigón es un factor de riesgo para la durabilidad del hormigón. El reciclaje de placas de yeso laminado es ya una realidad consolidada en varios países.

Siempre que el proceso de tratamiento pueda reducir la cantidad de impurezas presentes en el yeso recuperado, esta puede ser una fuente importante de yeso (Pacheco Torga & Jalali, 2011).

Es posible confeccionar paneles de yeso cartón, utilizando material recuperado de obra, con el fin de disminuir el impacto de la extracción. Aunque para esto se debe triturar y cribar el yeso recuperado hasta alcanzar la finura del yeso original. El yeso pulverizado se mezcla con yeso extraído de origen natural en un porcentaje entre 10% y 20%. La pasta de yeso es nuevamente horneada para eliminar el excedente de agua y permitir que fragüe, formando una nueva plancha de yeso. (H. Sánchez, Panigatt, & Garrapa, 2013)

CAPÍTULO 3. RECOPIACIÓN DE DATOS ASOCIADOS AL CASO DE ESTUDIO PROPUESTO

3.1. Descripción del caso de estudio

Para poder llevar a cabo este trabajo de investigación, es necesario llevarlo a la práctica a través de un Caso de Estudio. En este caso, se estudiarán dos tipologías de muro; Muro de Albañilería Armada y Muro de Madera aislado térmicamente.

Para ambos casos se utilizará el mismo plano de la vivienda, diferenciándose en cada uno la materialidad de los muros y en el cual se desglosará la cantidad de m² correspondientes como también la cubicación de materiales utilizados para la construcción de cada tipología.

Los muros estudiados en este trabajo corresponderán solo a muros estructurales exteriores. Los demás elementos constructivos, como lo son las fundaciones, muros interiores y techumbre de la vivienda, se considerarán iguales en su materialidad para ambas tipologías, esto con la finalidad de no presentar grandes diferencias en el estudio y poder darles especial énfasis a los muros estructurales exteriores buscando lograr el objetivo principal del presente trabajo.

3.2. Vivienda caso de estudio; características y materiales para las tipologías de muros en madera y albañilería armada.

La vivienda caso de estudio que se usará para poder ubicar y posteriormente cuantificar las variables asociadas a la Economía Circular contiene un total de 81 m² habitables, y consta de una sola planta. Cuenta con sala de estar, comedor, cocina, 1 baño y 2 dormitorios que se pueden apreciar en la **Ilustración 6**.

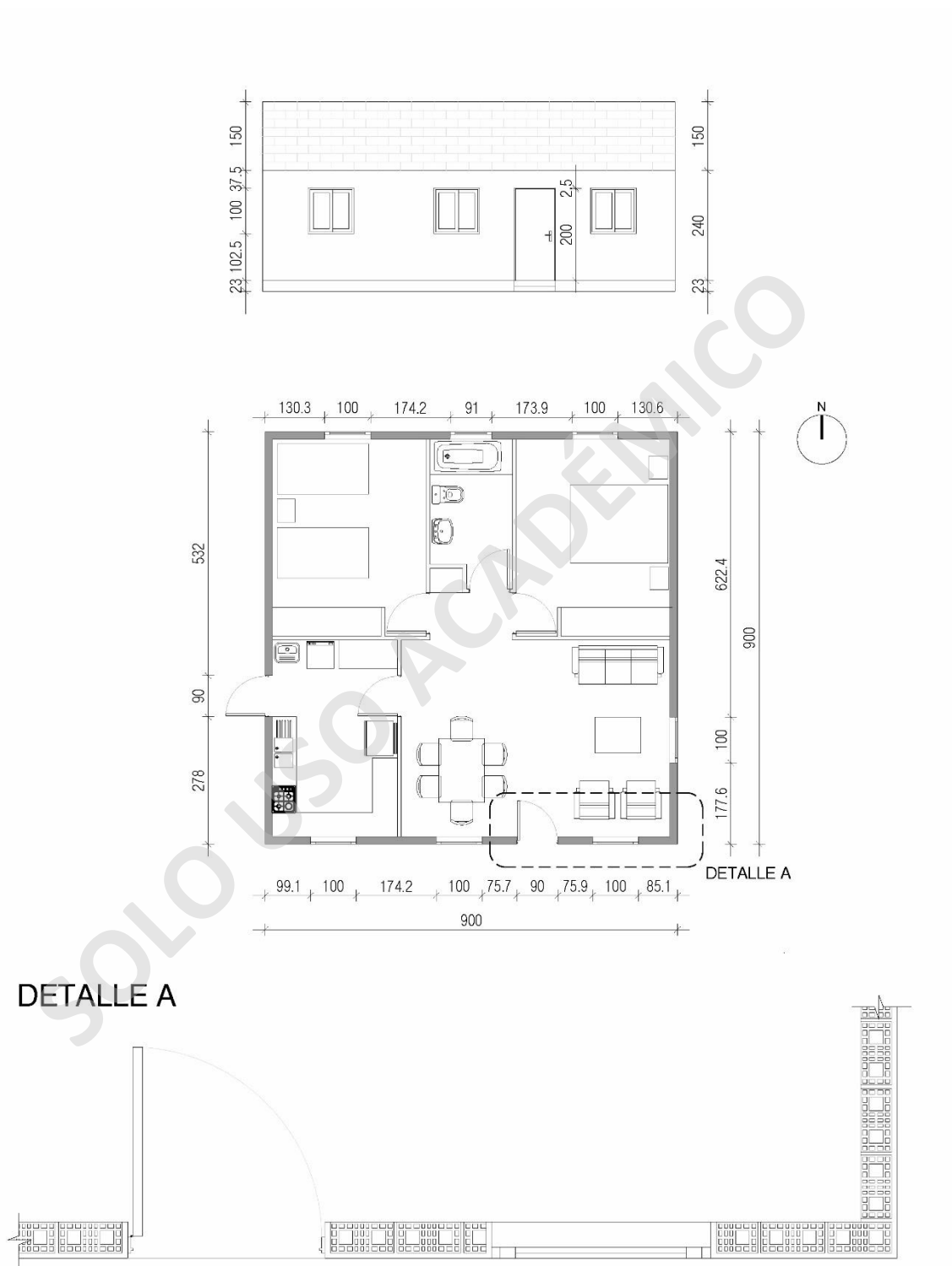
Para la cubicación, se divide en cuatro elevaciones; Elevación Norte, Elevación Sur, Elevación Oeste Y Elevación Este. Esto para poder organizarlo de mejor manera y evitar confusiones con las cantidades obtenidas para cada material de ambas tipologías de muros.

Para tener una referencia visual, se incorporan las **Ilustraciones 6 y 7** en dónde se puede apreciar la planta de la vivienda caso de estudio con un detalle que muestra la materialidad tanto para los muros de albañilería armada como los de madera aislados térmicamente, y también, una elevación que nos muestra la cara sur de la vivienda para cada tipología.

Se adjuntan también las **Ilustraciones 8 y 9**, que corresponden a los escantillones (o cortes) para cada materialidad, indicando los materiales presentes en cada uno de ellos haciendo énfasis en aquellos que conforman los muros.

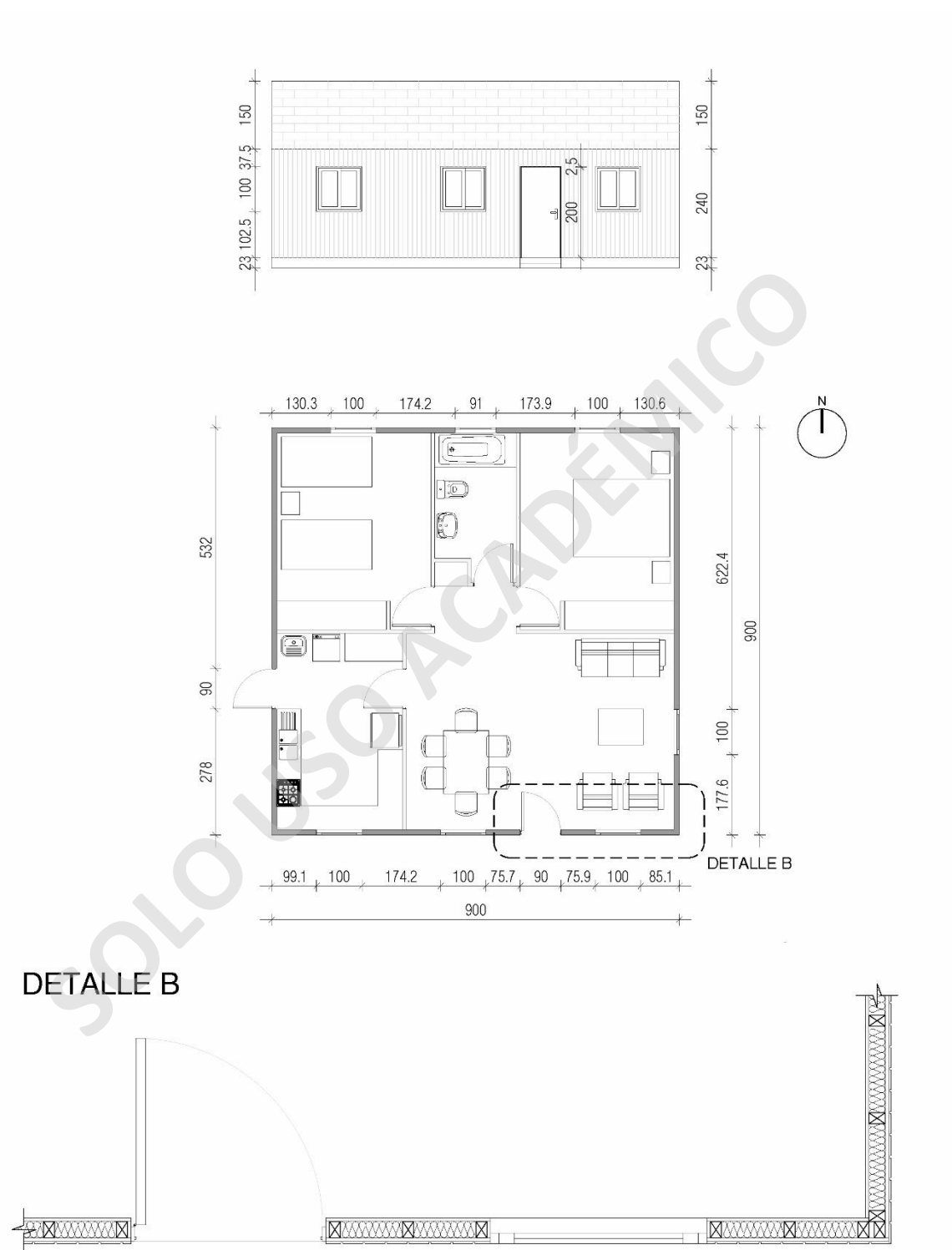
Se ha propuesto este caso de estudio para cada tipología de acuerdo con el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para acondicionamiento térmico (MINVU, 2014) y también de acuerdo con las normativas constructivas que establece la OGUC (Ordenanza General de Urbanizaciones y Construcciones) (MINVU, 2018).

Ilustración 6: Planta y Elevación para muros de Albañilería Armada



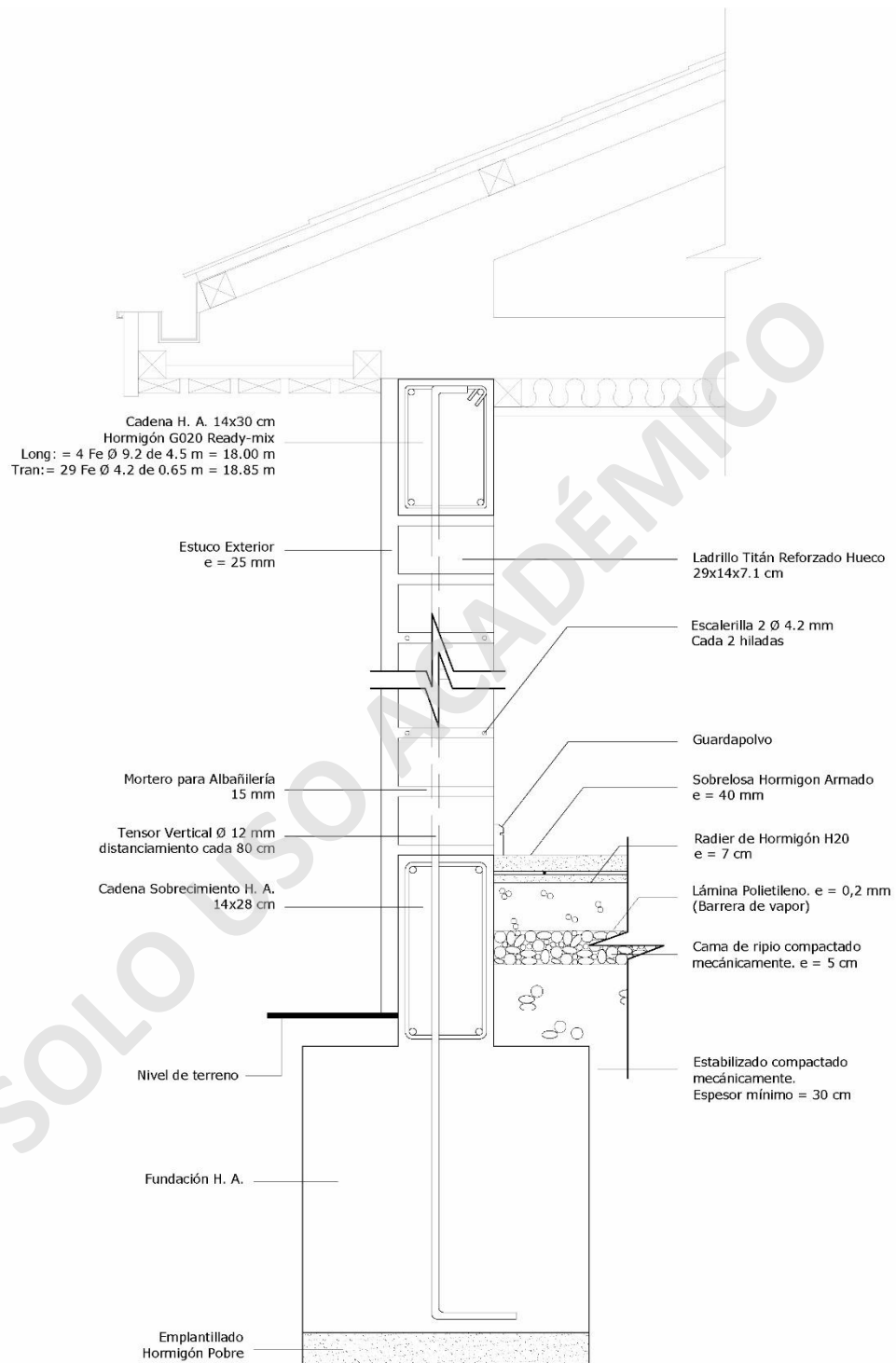
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7: Planta y Elevación para muros de Madera Aislados Térmicamente



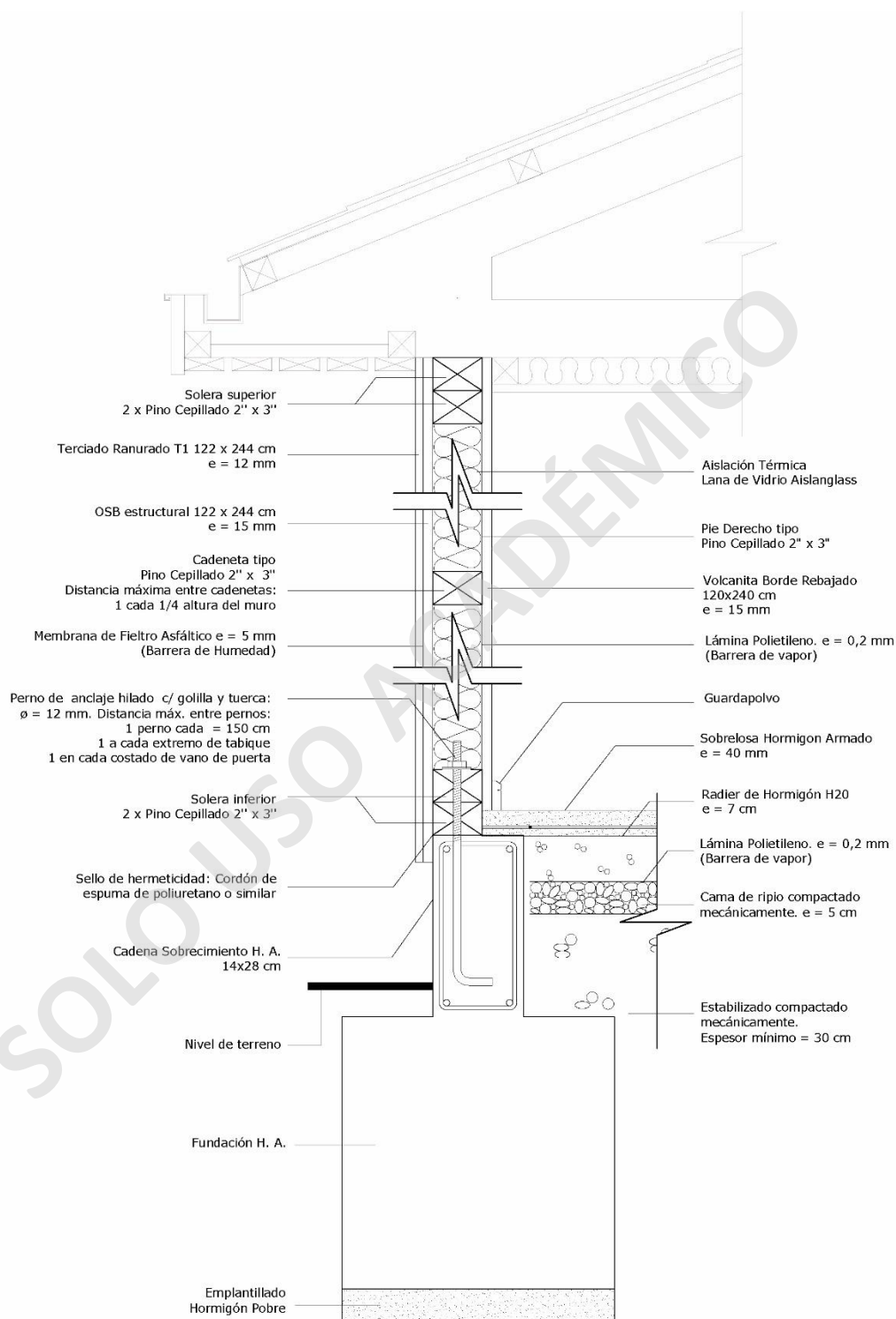
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 8: Escantillón muro de Albañilería Armada.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9: Escantillón muro de Madera aislado térmicamente.



Fuente: Elaboración propia

3.3. Cubicación de materiales y recursos asociados para la construcción de cada tipología de muro.

En este apartado se indicarán los materiales utilizados para construir los muros exteriores de cada tipología. Se colocarán las especificaciones técnicas de cada uno para luego cuantificar la cantidad total de material necesario para la construcción de los muros.

Se separará la cubicación de acuerdo con las cuatro caras con elevaciones que tiene la casa de estudio; Elevación Norte, Elevación Sur, Elevación Este y Elevación Oeste. Se indicará en tablas para cada material la cantidad utilizado en cada elevación, separando la información en m^3 (metros cúbicos), m^2 (metros cuadrados), metros lineales, y kilogramos de material (kg).

3.3.1. Cubicación Muros de Albañilería Armada

Cubicación Ladrillo Titán Estructural 29 x 14 x 7,1:

El ladrillo es el material predominante de los muros de albañilería armada que se obtiene a partir de la arcilla y cuyo objetivo es funcionar como cierre perimetral de la vivienda y aislamiento del interior de la vivienda con el exterior.

Para realizar la cubicación de los Ladrillos Titán Estructural, se recurre a la ficha técnica comercial del material que se puede encontrar en páginas de internet de distribuidoras nacionales de materiales o de las empresas proveedoras del producto.

Se considera para los cálculos un rendimiento de 39 piezas por m², espacio vertical y horizontal de 1,5 cms entre ladrillos y un peso de 2,9 kg por unidad. Además, se incluye en el total un 10% de pérdida de material (Chile.Cubica, 2014), obteniéndose así los datos contenidos en la **Tabla 1**.

Tabla 1: Cubicación Ladrillo Titán Estructural.

Cubicación Ladrillo Titán Estructural 29 x 14 x 7,1					
Elevaciones	Nº de Piezas	Kg Totales	m ² de muro	m ² de Vanos	m ² Totales
Elevación Norte	677	1962	19,8	2,45	17,35
Elevación Sur	585	1697	19,8	4,8	15
Elevación Oeste	702	2036	19,8	1,8	18
Elevación Este	733	2126	19,8	1	18,8
Totales + % pérdida	2967	8603	79,2	10,05	69,15

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información comercial obtenida y cuantificación del material utilizado en vivienda Caso de Estudio.

Estuco exterior e = 2,5cms:

El estuco, material obtenido entre la mezcla de agua, cemento y árido fino tiene como finalidad revestir el muro de ladrillo con la finalidad de darle un acabado parejo y lo proteja de la humedad y agentes exteriores que puedan perjudicar al ciclo de vida óptimo del muro.

Para realizar la cubicación del estuco exterior, se recurre a la ficha técnica contenida en la declaración ambiental de producto para estucos (Grupo PUMA, 2018).

Se considera para los cálculos un espesor de 2,5 cms por toda la cara del muro, con una densidad del material de 1410 kg/m³ y una pérdida del material de un 9% que se incluye en los totales (Chile.Cubica, 2014). Con estas consideraciones se obtienen los datos contenidos en la **Tabla 2**.

Tabla 2: Cubicación Estuco Exterior.

Estuco Exterior e = 2,5cms					
Elevaciones	m ² de muro	m ² de Vanos	m ² Totales	m ³ totales	kg Totales
Elevación Norte	19,8	2,45	17,35	0,43	612
Elevación Sur	19,8	4,8	15	0,375	529
Elevación Oeste	19,8	1,8	18	0,45	635
Elevación Este	19,8	1	18,8	0,47	663
Totales + % pérdida	79,2	10,05	75,37	1,88	2657

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información comercial obtenida y cuantificación del material utilizado en vivienda Caso de Estudio.

Mortero para Albañilería:

El mortero para albañilería es el material que permite la unión entre ladrillos formando un entramado de hileras dándole estabilidad y forma al muro.

Para realizar la cubicación del mortero para albañilería, se recurre a la ficha técnica comercial del material obtenido en la EPD de Mortero para Albañilería. (Grupo PUMA, 2018)

Para el cálculo de material utilizado, se considera el valor de 1 litro de Mortero por cada ladrillo, en donde 1 Litro de Mortero es equivalente a 0,001 m³ del mismo. Se opta por transformar a m³ de acuerdo con la unidad declarada en la respectiva EPD. Considerando una densidad de 1466 kg/m³ de material y una pérdida del 15% que se incluyen en el total (Chile.Cubica, 2014). Se obtienen así los datos contenidos en la **Tabla 3**.

Tabla 3: Cubicación Mortero para Ladrillos.

Mortero para Ladrillos				
Elevaciones	m ² Totales ladrillos	Nº de Ladrillos	m ³ de Mortero	Kg Totales
Elevación Norte	17,35	677	0,68	992,0
Elevación Sur	15	585	0,59	857,6
Elevación Oeste	18	702	0,70	1029,1
Elevación Este	18,8	733	0,73	1074,9
Totales + % pérdida	69,15	2967	3,10	4546,6

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información comercial obtenida y cuantificación del material utilizado en vivienda Caso de Estudio.

Cadena electrosoldada ACMA CA1520:

La Cadena Electrosoldada tiene como finalidad dar mayor resistencia a la Cadena Hormigón para soportar los esfuerzos de corte y tracción que pueda tener el muro debido a la alta actividad sísmica que existe en Chile.

Para realizar la cubicación de la cadena electrosoldada, se recurre a la ficha técnica comercial del material que se puede encontrar en páginas de internet de distribuidoras nacionales de materiales o de las empresas proveedoras del producto.

Se considera para los cálculos el largo comercial del producto de 4,5 m con un peso de 11,4 kg por cada unidad de cadena. Se han considerado 3 unidades del producto comercial incluyendo los traslapes correspondientes para cada elevación y se optó por sumar una unidad al total que corresponde a un aproximado del 10% de pérdida del material (Chile.Cubica, 2014). Se obtienen así los datos contenidos en la **Tabla 4**.

Tabla 4: Cubicación Enfierraduras de Cadena Electrosoldada ACMA CA1520.

Cadena electrosoldada ACMA CA1520			
Elevaciones	Cadenas	Kg Totales	m lineales Totales
Elevación Norte	3	34,35	13,5
Elevación Sur	3	34,35	13,5
Elevación Oeste	3	34,35	13,5
Elevación Este	3	34,35	13,5
Totales + % pérdida	13	148,85	54

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información comercial obtenida y cuantificación del material utilizado en vivienda Caso de Estudio.

Hormigón Cadena G020 Ready-Mix Concrete:

El Hormigón o concreto, utilizado en la de cadena, tiene como finalidad amarrar los muros de ladrillos para entregarle estabilidad y resistencia al sistema constructivo completo.

Los datos técnicos varían de acuerdo con los materiales añadidos y a la resistencia final obtenida por cada mezcla de Hormigón. En nuestro caso emplearemos un Hormigón G020 y se recurre a la ficha técnica comercial del material que se puede encontrar en páginas de internet de distribuidoras nacionales de materiales o de las empresas proveedoras del producto.

Se considera para los cálculos una densidad de 2380 kg/m³ y una pérdida del material de un 7% que se incorpora en el total (Chile.Cubica, 2014). Se obtienen así los datos contenidos en la **Tabla 5**.

Tabla 5: Cubicación Cadena y Pilares de Hormigón G020 Ready-Mix Concrete.

Hormigón Cadena G020 Ready-Mix Concrete					
Elevaciones	m ³ Totales	Kg Totales	Cadenas		
			Largo (m)	Ancho(m)	Altura (m)
Elevación Norte	0,378	900	9	0,14	0,3
Elevación Sur	0,378	900	9	0,14	0,3
Elevación Oeste	0,378	900	9	0,14	0,3
Elevación Este	0,378	900	9	0,14	0,3
Totales + % pérdida	1,62	3850	x	x	x

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información comercial obtenida y cuantificación del material utilizado en vivienda Caso de Estudio.

Escalerilla ACMA 8,5cm x5m:

La escalerilla es un elemento de acero que se coloca entre las hiladas de ladrillo para darle una mayor resistencia al mortero y al muro.

Para realizar la cubicación de la escalerilla, se recurre a la ficha técnica comercial del material que se puede encontrar en páginas de internet de distribuidoras nacionales de materiales o de las empresas proveedoras del producto.

Se considera para los cálculos una escalerilla cada 2 hiladas de ladrillos, obteniendo 16 escalerillas por el alto del muro, y también, un peso de 1,35 kg por cada escalerilla en su tamaño comercial de 5 m de largo. Se consideran los traslapes en el número de escalerillas contabilizadas y también una pérdida del 18% (Chile.Cubica, 2014). Se obtienen así los datos contenidos en la **Tabla 6**.

Tabla 6: Cubicación Escalerilla ACMA

Escalerilla ACMA 8,5cm x5m			
Elevaciones	Escalerillas	Kg Totales	m lineales Totales
Elevación Norte	32	42,5	126
Elevación Sur	27	36,8	109
Elevación Oeste	33	43,9	130
Elevación Este	34	46,2	137
Totales + % pérdida	148	199,9	502

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información comercial obtenida y cuantificación del material utilizado en vivienda Caso de Estudio.

Tensor Vertical Fierro Hormigón Barra A-63 12 mm x 6 metros:

El Tensor Vertical tiene como finalidad reforzar verticalmente al muro de ladrillo entregándole mayor resistencia a las sollicitaciones del sistema constructivo.

Para realizar la cubicación del tensor vertical, se recurre a la ficha técnica comercial del material que se puede encontrar en páginas de internet de distribuidoras nacionales de materiales o de las empresas proveedoras del producto.

Se considera para los cálculos barras de 12mm por cada 0,8 m de muro, largo comercial de la barra 6 metros y con un peso de 5,33 kg. Tensor debe tener un largo aproximado de 4 metros considerando altura de muro, cadena y fundaciones. Se consideran traslapes y una pérdida de un 10% del material incluidos en los totales (Chile.Cubica, 2014). Se obtienen los datos contenidos en la **Tabla 7**.

Tabla 7: Cubicación Tensor Vertical

Tensor Vertical Fierro Hormigón Barra A-63 12 mm x 6 metros			
Elevaciones	Nº de Barras	Kg Totales	m lineales Totales
Elevación Norte	10	53,30	60
Elevación Sur	10	53,30	60
Elevación Oeste	10	53,30	60
Elevación Este	10	53,30	60
Totales + % pérdida	44	234,52	240

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información comercial obtenida y cuantificación del material utilizado en vivienda Caso de Estudio.

3.3.2. Cubicación Muros de Madera Aislados Térmicamente

Pino Cepillado estructural 2" x 3":

Utilizado para las soleras inferior y superior, cadenetas y pies derecho. Para cadenetas distancia no mayor entre ellas a $\frac{1}{4}$ de la medida del muro y pies derechos colocados a un máximo de 40 cms entre sí.

Se pueden obtener en piezas de 3,2 m de largo con un peso de 5,57 kg cada una de acuerdo con la ficha técnica comercial del producto. Se consideran pérdidas del material de un 8% el cual se incluye en los totales (Chile.Cubica, 2014). Con estos datos se obtienen los números de la **Tabla 8**.

Tabla 8: Cubicación Pino Cepillado

Cubicación Pino cepillado de 2 x 3"					
Elevaciones	N° de Piezas	Kg Totales	Metros Lineales		
			Soleras	Pies derechos	Cadenetas
Elevación Norte	41	228,37	36	60	32,4
Elevación Sur	38	211,66	34,2	55,2	30
Elevación Oeste	37	206,09	34,2	55,2	26,4
Elevación Este	39	217,23	36	57,6	28,8
Totales + % pérdida	167	932,42	140,4	228	117,6

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información comercial obtenida y cuantificación del material utilizado en vivienda Caso de Estudio.

Tablero OSB Estructural 122 x 244 mm E: 15 mm:

Utilizado para darle firmeza al entablado y colocado por toda la cara exterior del muro.

Para realizar la cubicación del tablero OSB, se recurre a la ficha técnica comercial del material que se puede encontrar en páginas de internet de distribuidoras nacionales de materiales o de las empresas proveedoras del producto. Se obtiene en planchas que tienen un rendimiento de 2,98 m² aproximado con un peso de 26 kg por plancha. Se considera también una pérdida de un 8% que se incluye en el total (Chile.Cubica, 2014). Estos datos serán utilizados para la cubicación del material entregando los resultados contenidos en la **Tabla 9**.

Tabla 9: Cubicación Tablero OSB

Cubicación OSB Estructural 122 x 244 E=15 mm					
Elevaciones	Nº de Piezas	Kg Totales	m ² de muro	m ² de Vanos	m ² Totales
Elevación Norte	7	182	21,6	2,45	19,15
Elevación Sur	6	156	21,6	4,8	16,8
Elevación Oeste	7	182	21,6	1,8	19,8
Elevación Este	7	182	21,6	1	20,6
Totales + % pérdida	29	758	86,4	10,05	76,35

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información comercial obtenida y cuantificación del material utilizado en vivienda Caso de Estudio.

Terciado Ranurado:

El Terciado ranurado es un elemento constructivo utilizado para revestir el sistema constructivo y darle una terminación que proteja al OSB, entablado y aislación.

Para realizar la cubicación del Terciado se recurre a la ficha técnica comercial del material que se puede encontrar en páginas de internet de distribuidoras nacionales de materiales o de las empresas proveedoras del producto. Se obtiene en piezas que tienen un rendimiento de 2,98 m² aproximado con un peso de 18,8 kg por plancha. Se considera una pérdida de un 8% el cual se incluye en los totales (Chile.Cubica, 2014). Estos datos serán utilizados para la cubicación del material entregando los resultados contenidos en la **Tabla 10**.

Tabla 10: Cubicación Terciado Ranurado

Cubicación Terciado Ranurado T1 122 x 244 E=12 mm					
Elevaciones	Nº de Piezas	Kg Totales	m ² de muro	m ² de vanos	m ² Totales
Elevación Norte	7	131,6	21,6	2,45	19,15
Elevación Sur	6	112,8	21,6	4,8	16,8
Elevación Oeste	7	131,6	21,6	1,8	19,8
Elevación Este	7	131,6	21,6	1	20,6
Totales + % pérdida	29	545,2	86,4	10,05	76,35

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información comercial obtenida y cuantificación del material utilizado en vivienda Caso de Estudio.

Lana de Vidrio Aislanglass:

La lana de vidrio es un material que sirve como aislante térmico y acústico que se coloca en los espacios entre cadenetas y pies derecho de todo el entramado de madera de los muros de la vivienda.

Para realizar la cubicación de la lana de Vidrio, se recurre a la ficha técnica comercial del material que se puede encontrar en páginas de internet de distribuidoras nacionales de materiales o de las empresas proveedoras del producto. Este se puede obtener en rollos de 0,6 x 10 metros con un peso de 9,7 kg. Se contempla una pérdida de un 5%, el cual se incorpora en los totales (Chile.Cubica, 2014). Se consideran estas características para la cubicación del material entregando los datos contenidos en la **Tabla 11**.

Tabla 11: Cubicación Lana de Vidrio Aislanglass

Cubicación Lana de Vidrio Aislanglass 50 mm Rollo de 0,6 x 10 m						
Elevaciones	Nº de Rollos	Kg Totales	m ² de muro	m ² de Vanos	m ² piezas de madera	m ² Totales
Elevación Norte	3	29,1	21,6	2,45	3,44	15,71
Elevación Sur	3	29,1	21,6	4,8	3,19	13,61
Elevación Oeste	3	29,1	21,6	1,8	2,83	16,97
Elevación Este	3	29,1	21,6	1	3,07	17,53
Totales + % pérdida	13	126,1	86,4	10,05	12,53	63,82

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información comercial obtenida y cuantificación del material utilizado en vivienda Caso de Estudio.

Placas de Yeso Cartón Volcanita Borde Rebajado 120 x 240 E=15 mm:

Las Placas de Yeso cartón, coloquialmente conocidas como “Volcanita” debido a la marca proveedora del producto a nivel nacional, es utilizado para revestimiento interior del muro estructural y también es usado comúnmente en tabiques divisorios.

Para realizar la cubicación de la lana de Vidrio, se recurre a la ficha técnica comercial del material que se puede encontrar en páginas de internet de distribuidoras nacionales de materiales o de las empresas proveedoras del producto.

Se obtiene en planchas que tienen un rendimiento de 2,98 m² aproximado y con un peso de 12 kg. Se incluye una pérdida de un 5% el cual está incorporado en el total (Chile.Cubica, 2014). Con estas consideraciones se realiza la cubicación del material entregando los datos contenidos en la **Tabla 12**.

Tabla 12: Cubicación Yeso Cartón

Cubicación Yeso Cartón Volcanita Borde Rebajado 120 x 240 E=15 mm					
Elevaciones	Nº de Piezas	Kg Totales	m ² de muro	m ² de Vanos	m ² Totales
Elevación Norte	7	84	21,6	2,45	19,15
Elevación Sur	6	72	21,6	4,8	16,8
Elevación Oeste	7	84	21,6	1,8	19,8
Elevación Este	7	84	21,6	1	20,6
Totales + % pérdida	29	348	86,4	10,05	76,35

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información comercial obtenida y cuantificación del material utilizado en vivienda Caso de Estudio.

Clavo corriente 3" caja 25 kg:

Utilizados para la unión de los entablados de madera. Dos clavos de 3" se utilizan para cada unión entre piezas de pino cepillado. Se opta por utilizar 2 cajas de 25 kg.

Tornillo Volcanita CRS ZRB 6 x 1 1/4":

Utilizados para la unión de las planchas de Yeso cartón con los pies derechos del entablado. Se opta por utilizar 4 cajas de 250 unidades y un peso de 8,37 kg por cada una.

Barreras de Vapor y Humedad:

De acuerdo con la solución constructiva, se deben incorporar barreras de humedad y vapor. Estas son utilizadas como una protección contra las inclemencias del clima, tienen por finalidad evitar el traspaso del agua y aire al interior de la edificación y así contener los posibles deterioros de la vivienda como también tienen las características de dejar pasar el vapor que se genera al interior de la vivienda para mejorar el confort interior. (VOLCÁN, 2021)

Se consideran para ambas barreras 99,36 m², que corresponden a los 86,4 m² de área total del muro más los traslapes que son de un 10% aproximado. También se considera un 5% de pérdida de material (Chile.Cubica, 2014).

Se ha optado por no considerar estos últimos 3 ítems en la cuantificación. Esto se debe a la falta de información respecto a las variables medioambientales que se estudian en el presente trabajo. Por lo mismo, resulta poco productivo detallar estos ítems, pero no menos importante mencionarlos y entregar detalles de su importancia en el sistema constructivo.

CAPÍTULO 4. CUANTIFICACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS OBTENIDOS DE ACUERDO CON LA CUBICACIÓN REALIZADA PARA CADA TIPOLOGÍA DE MURO

4.1. Cuantificación de la huella de carbón y energía incorporada en los materiales de construcción para ambas tipologías en muros.

Actualmente existe falta de información y conciencia acerca del desempeño ambiental de los distintos materiales de construcción, y la información es aún limitada. En Chile, solo algunas empresas han realizado las respectivas EPD de sus productos. Sin embargo, se pueden obtener declaraciones con alcances globales desde data bases. En este trabajo se recurrirá a las EPD de productos nacionales, y EPD globales para aquellos materiales que no se tengan aún información a nivel local.

Para que el ACV sea eficiente, se deben considerar datos específicos de cada material en cada localidad estudiada, por lo que los valores entregados y también los que se puedan obtener de este trabajo solo se acercarán a un escenario de referencia de estudio, lo que de igual manera sirve para poder contrastar las variables de Economía Circular para cada tipología de muro logrando conseguir el objetivo principal de este trabajo.

Las distintas EPD estudiadas tienen unidades declaradas diferentes para cada producto. También su alcance en el ciclo de vida del material, el cual se explica en el *Capítulo 2* del presente trabajo, es distinto y en algunos casos no abarca todas las fases, considerando solo el camino de cuna a la puerta. Por ejemplo, la EPD de ladrillos considera las fases “A1-A5” y “C2-C4”, no así la EPD de aceros que su alcance es de “A1-A3”.

Se entregarán los datos de todas las fases contenidas en cada EPD, sin embargo, para realizar la comparación de los valores medioambientales se considerará solamente el “límite A”. Por lo tanto, los valores totales entregados en cada tabla para la cuantificación del material, corresponderá a la suma del límite A.

Se cuantificará la huella de carbono o Potencial de Calentamiento Global (GWP) presente en las soluciones constructivas, la que se determina multiplicando los recursos asociados a las actividades productivas (cantidades) por factores de emisión, entregando resultados en kilogramos de Dióxido de Carbono equivalente (kgCO_2eq) de acuerdo con los valores existentes en las respectivas EPD en ambas tipologías de muro. También, se cuantificará la energía incorporada en los materiales de construcción, que corresponde a la energía consumida por todos los procesos asociados a la producción de las tipologías de muros que se estudiarán, entregando resultados en mega julios de energía (MJ), la cual se separa en uso total de la energía primaria renovable (PERT) y en uso total de la energía primaria no renovable (PERNRT).

Las cantidades finales, obtenidas para cada cuantificación, se llevarán a kilogramos, para poder contrastar las cantidades de material de cada muro, obteniendo así los resultados en kilogramos de Dióxido de Carbono equivalente (kgCO_2eq) y Mega julios de energía necesaria (MJ/kg) para hacer un kilogramo de producto.

4.1.1. Cuantificación de los Muros de Albañilería Armada.

Cuantificación Ladrillos:

Para poder cuantificar los ladrillos, se recurre al Global EPD de Ladrillos y bloques cerámicos para revestir realizado por Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida (HISPALYT) y verificado por AENOR, miembro fundador de ECO Platform, la Asociación Europea de Programas de verificación de Declaraciones ambientales de producto. Si bien, los procesos productivos en Chile y España son diferentes, se tomará esta información que servirá de referencia debido a la carencia local en la materia.

El alcance de la DAP es de cuna a la tumba, unidad funcional declarada de 1 tonelada de ladrillo cerámico y los módulos B y C1 se consideran despreciables, no relevantes o variables.

Los Datos obtenidos, sumando y multiplicando por la cantidad obtenidas en la cubicación están contenidos en la **Tabla 13**.

Tabla 13: Cuantificación de Ladrillos.

Ladrillo Cerámico	A1-A3	A4	A5	C2	C3	C4	Toneladas	Total límite A
GWP [kg CO2 eq]	2,56E+02	2,14E+01	2,01E+00	3,85E+00	1,21E+00	8,67E+00	8,603	2,40E+03
PERT [MJ]	1,35E+04	2,02E+01	4,74E-01	3,62E+00	1,77E+00	1,33E+01	8,603	1,16E+05
PENRT [MJ]	3,49E+03	2,94E+02	4,80E+00	5,27E+01	2,35E+01	1,17E+03	8,603	3,26E+04

Fuente: DAP de ladrillos y bloques de cerámica. Forma U (HISPALYT, 2017).

Cuantificación estuco exterior:

Para poder cuantificar el estuco exterior, se recurre al “Global EDP de Morteros y enlucidos exteriores” realizado por el Grupo Puma y verificado por AENOR. Si bien, los procesos productivos del material son diferentes entre Chile y España, se tomará esta información que servirá de referencia debido a la carencia local en la materia.

El alcance de la DAP es de cuna a la tumba, unidad funcional declarada de 1 metro cuadrado (m²) de mortero, y, los módulos B, C1 y C3 se consideran despreciables, no relevantes o variables.

Los Datos obtenidos, sumando y multiplicando por la cantidad obtenidas en la cubicación están contenidos en la **Tabla 14**.

Tabla 14: Cuantificación de Estucos.

Estuco	A1-A3	A4	A5	C2	C4	M ²	Total límite A
GWP [kg CO2 eq]	3,61E+00	1,76E-01	2,66E-03	9,01E-02	6,35E-02	75,37	2,86E+02
PERT [MJ]	1,37E+01	3,93E-02	7,15E-03	1,96E-02	2,54E-02	75,37	1,04E+03
PENRT [MJ]	3,55E+01	2,89E+00	5,39E-02	1,48E+00	2,25E+00	75,37	2,90E+03

Fuente: DAP de Morteros y Enlucidos (Grupo PUMA, 2018)

Cuantificación Mortero para Ladrillos:

Para poder cuantificar el estuco exterior, se recurre al “Global EDP de Morteros para Albañilería” realizado por el Grupo Puma y verificado por AENOR. Si bien, los procesos productivos del material son diferentes entre Chile y España, se tomará esta información que servirá de referencia debido a la carencia local en la materia.

El alcance de la DAP es de cuna a la tumba, unidad funcional declarada de 1 metro cúbico (m³) de mortero, y, lo módulos B, C1 y C3 se consideran despreciables, no relevantes o variables.

Los Datos obtenidos, sumando y multiplicando por la cantidad obtenidas en la cubicación están contenidos en la **Tabla 15**.

Tabla 15: Cuantificación Mortero para Ladrillos

Mortero	A1-A3	A4	A5	C2	C4	M ³	Total límite A
GWP [kg CO2 eq] Potencial de calentamiento global	2,54E+02	1,88E+01	2,65E-01	8,98E+00	6,33E+00	3,10	8,47E+02
PERT [MJ] Uso total de la energía primaria renovable	8,55E+02	4,16E+00	7,13E-01	1,95E+00	2,54E+00	3,10	2,67E+03
PENRT [MJ] Uso total de la energía primaria no renovable	2,03E+03	3,08E+02	5,37E+00	1,47E+02	2,24E+02	3,10	7,27E+03

Fuente: DAP de Morteros para Albañilería (Grupo PUMA, 2018).

Cuantificación Barras de Acero, escalerillas y cadena:

Para poder cuantificar el acero, se recurre al “EDP Steel reinforcing bar” realizado por CAP Aceros y verificado por The International EPD System, EPD Latin America.

Se ha optado por incluir las barras de acero, escalerillas y cadena en esta cuantificación, debido a la similitud en su composición y elaboración de producto.

El alcance de la DAP es de cuna a la puerta, unidad funcional de 1 tonelada de barras de acero CAP y los módulos A4, A5, B y C no se han evaluado ya que se consideran insignificantes, no aplicables o variables.

Los Datos obtenidos, sumando y multiplicando por la cantidad obtenidas en la cubicación están contenidos en la **Tabla 16**.

Tabla 16: Cuantificación de Aceros.

Aceros	A1	A2	A3	Toneladas	Total
GWP [kg CO2 eq]	4,54E+02	1,67E+02	8,10E+02	0,583	8,34E+02
PERT [MJ]	8,99E+02	6,22E+01	1,36E+02	0,583	6,40E+02
PENRT [MJ]	2,39E+04	2,38E+03	4,95E+02	0,583	1,56E+04

Fuente: EPD Steel reinforcing bar (CAP Acero, 2020).

Cuantificación Hormigón de Cadena:

Para poder cuantificar el Hormigón, se recurre al “EDP Ready-Mix Concrete G025 (10)-20-12-28-B” realizado por Cementos Bio Bio S.A. y verificado por The International EPD System, EPD Latin America.

El alcance de la DAP es de cuna a la puerta, unidad funcional de 1 metro cúbico (m³) de Ready-Mix Concrete y los módulos A5, B y C no se han evaluado, ya que se consideran insignificantes, no aplicables o variables.

Los Datos obtenidos, sumando y multiplicando por la cantidad obtenidas en la cubicación están contenidos en la **Tabla 17**.

Tabla 17: Cuantificación Hormigón de Cadena.

Hormigón	A1-A3	A4	M ³	Total
GWP [kg CO ₂ eq]	2,94E+02	2,73E+00	1,62	4,80E+02
PERT [MJ]	8,71E+01	5,13E-01	1,62	1,42E+02
PENRT [MJ]	1,73E+03	4,41E+01	1,62	2,87E+03

Fuente: EDP Ready-Mix Concrete G025 (10)-20-12-28-B (Cementos Bio Bio, 2019).

4.1.2. Cuantificación de los Muros de Madera Aislados Térmicamente

Cuantificación Pino Aserrado y Terciado:

Para poder cuantificar el Pino Aserrado y el terciado, se recurre al “EPD Sectorial:

Tabla aserrada de Pino” realizado por Baskegur, Asociación de la madera en Euskadi. y verificado por The International EPD System, EPD International AB. Si bien, los procesos productivos del material son diferentes entre Chile y Suecia, se tomará esta información que servirá de referencia debido a la carencia local en la materia.

Se ha optado por incluir en esta cuantificación el Pino aserrado y el terciado debido a la similitud en su composición y elaboración de producto.

El alcance de la DAP es de cuna a la puerta, unidad funcional de 1 metro cúbico (m³) de tabla aserrada de Pino Radiata y los módulos A5, B y C no se han evaluado, ya que se consideran insignificantes, no aplicables o variables.

Los Datos obtenidos, sumando y multiplicando por la cantidad obtenidas en la cubicación están contenidos en la **Tabla 18**.

Tabla 18: Cuantificación de Pino Aserrado y Terciado.

Pino y Terciado	A1	A2	A3	M ³	Total
GWP [kg CO2 eq]	-6,95E+02	1,36E+01	3,36E-02	3,11	-2,12E+03
PERT [MJ]	2,49E+04	2,60E+00	0,00E+00	3,11	7,74E+04
PENRT [MJ]	1,11E+03	2,22E+02	5,20E-01	3,11	4,14E+03

Fuente: EPD sectorial: Tabla aserrada de Pino (Baskegur, 2019).

Cuantificación Tableros OSB:

Para poder cuantificar los tableros OSB, se recurre al “EDP Oriented strand board (OSB),” realizado por Norbord Europe Ltd y verificado por The International EPD System, EPD international AB. Si bien, los procesos productivos del material son diferentes entre Chile y Escocia, se tomará esta información que servirá de referencia debido a la carencia local en la materia.

El alcance de la DAP es de cuna a la puerta, unidad funcional de 1 metro cúbico (m³) de tablero OSB y los módulos A5, B y C no se han evaluado, ya que se consideran insignificantes, no aplicables o variables.

Los Datos obtenidos, sumando y multiplicando por la cantidad obtenidas en la cubicación están contenidos en la **Tabla 19**.

Tabla 19: Cuantificación de Tableros OSB.

OSB Estructural	A1	A2	A3	A4	M ³	Total
GWP [kg CO2 eq]	-8,71E+02	1,68E+01	-7,19E+00	3,30E+01	1,295	-1,07E+03
PERT [MJ]	1,37E+04	6,39E-01	1,13E+02	1,35E+00	1,295	1,79E+04
PENRT [MJ]	3,20E+03	2,09E+02	3,24E+01	4,49E+02	1,295	5,04E+03

Fuente: EPD for Oriented strand board (OSB) (Norbord, 2020).

Cuantificación Lana de Vidrio:

Para poder cuantificar la lana de vidrio, se recurre al “DAP Lana de Vidrio Aislanglass” realizado por Empresa VOLCÁN y verificado por DAPCO (Programa de Declaración Ambiental de Productos de Construcción).

El alcance de la DAP es de cuna a la puerta, unidad funcional de 1 metro cuadrado (m²) de Lana de Vidrio, y, los módulos A4, A5, B y C no se han evaluado, ya que se consideran insignificantes, no aplicables o variables.

Los Datos obtenidos, sumando y multiplicando por la cantidad obtenidas en la cubicación están contenidos en la **Tabla 20**.

Tabla 20: Cuantificación de Lana de Vidrio.

Lana De Vidrio	A1-A3	M ²	Total
GWP [kg CO2 eq]	1,90E+00	78	1,48E+02
PERT [MJ]	2,66E+00	78	2,07E+02
PENRT [MJ]	1,05E+01	78	8,21E+02

Fuente: DAP Lana de Vidrio Aislanglass (VOLCÁN, 2016).

Cuantificación Yeso Cartón:

Para poder cuantificar la lana de vidrio, se recurre al “DAP Yeso Cartón Volcanita” realizado por Empresa VOLCAN y verificado por DAPCO (Programa de Declaración Ambiental de Productos de Construcción).

El alcance de la DAP es de cuna a la puerta, unidad funcional de 1 metro cuadrado (m²) de Yeso Cartón Volcanita, y, los módulos A4, A5, B y C no se han evaluado, ya que se consideran insignificantes, no aplicables o variables.

Los Datos obtenidos, sumando y multiplicando por la cantidad obtenidas en la cubicación están contenidos en la **Tabla 21**.

Tabla 21: Cuantificación de Yeso Cartón.

Yeso Cartón Volcanita	A1-A3	M ²	Total
GWP [kg CO2 eq]	4,20E+00	83,52	3,51E+02
PERT [MJ]	1,23E+01	83,52	1,03E+03
PENRT [MJ]	4,50E+01	83,52	3,75E+03

Fuente: DAP Yeso Cartón Volcanita (VOLCÁN, 2016).

4.2. Tablas comparativas para cada variable estudiada.

A continuación, se comparará para cada variable asociada a la Economía Circular los datos de la cuantificación realizada, separando las tablas por cada tipología de muro, conteniendo la información ambiental de cada material obtenida anteriormente en las respectivas EPD.

Potencial de calentamiento global (GWP):

La huella de carbono o Potencial de Calentamiento Global (GWP) presente en las soluciones constructivas, la que se determina multiplicando los recursos asociados a las actividades productivas (cantidades) por factores de emisión, entregando resultados en kg de CO₂ equivalente (kgCO₂eq).

Se cuantificó para cada tipología entregando los valores contenidos en la **Tabla 22**, indicando la cantidad de material utilizado en la vivienda caso de estudio, la unidad declarada de cada producto y el valor total de GWP para cada material.

Se puede apreciar una gran diferencia entre las cargas de kgCO₂eq de los materiales de ambas topologías, siendo los materiales de muros de albañilería armada los que tienen un mayor aporte de Potencial de Calentamiento Global.

Por otra parte, para el caso de muros de madera, se puede observar un valor negativo en su potencial de calentamiento global. Esto se debe a las propiedades de la madera para captar Dióxido de Carbono (CO₂) y convertirlo en Oxígeno (O₂) para el medioambiente (Argüeso, 2019).

Tabla 22: Tabla comparativa del Potencial de Calentamiento Global para cada tipología de muro.

Muros de Albañilería Armada				Muros de Madera Aislados Térmicamente			
Material	Cantidad	Unidad	Total (kgCO ₂ eq)	Material	Cantidad	Unidad	Total (kgCO ₂ eq)
Ladrillo	8,603	Toneladas	2,40E+03	Pino y Terciado	3,110	m ³	-2,12E+03
Estuco	75,37	m ²	2,86E+02	OSB	1,295	m ³	-1,07E+03
Aceros	0,583	Toneladas	8,34E+02	Lana de Vidrio	78	m ²	1,48E+02
Hormigón	1,62	m ³	4,80E+02	Yeso Cartón	83,52	m ²	3,51E+02
Morteros	3,10	m ³	8,47E+02	x	x	x	x

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de las EPD de cada material y las cantidades entregadas por la cubicación del caso de estudio.

Energía Incorporada:

La energía incorporada en los materiales de construcción, que corresponde a la energía consumida por todos los procesos asociados a la producción de las tipologías de muros que se estudian, entrega resultados en [MJ/U] (mega julios de energía necesaria para hacer una unidad declarada de producto), la cual se separa en uso total de la energía primaria renovable (PERT) y en uso total de la energía primaria no renovable (PENRT).

Uso total de la Energía Primaria Renovable (PERT):

Se cuantificó para cada tipología entregando los valores contenidos en la **Tabla 23**, indicando la cantidad de material utilizado en la vivienda caso de estudio, la unidad declarada de cada producto y el valor total de PERT para cada material.

Tabla 23: Tabla comparativa del uso total de la Energía Primaria Renovable para cada tipología de muro.

Muros de Albañilería Armada				Muros de Madera Aislados Térmicamente			
Material	Cantidad	Unidad	Total (MJ)	Material	Cantidad	Unidad	Total (MJ)
Ladrillo	8,603	Toneladas	1,16E+05	Pino y Terciado	3,110	m ³	7,74E+04
Estuco	75,37	m ²	1,04E+03	OSB	1,295	m ³	1,79E+04
Aceros	0,583	Toneladas	6,40E+02	Lana de Vidrio	78	m ²	2,07E+02
Hormigón	1,62	m ³	1,42E+02	Yeso Cartón	83,52	m ²	3,75E+03
Morteros	3,10	m ³	2,67E+03	x	x	x	x

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de las EPD de cada material y las cantidades entregadas por la cubicación del caso de estudio.

Se pueden apreciar mayores valores correspondientes a los ladrillos y mortero de los muros de albañilería, y, de OSB y Pino y Terciado de los muros de madera. En la suma de los totales, resultan los muros de albañilería armada como los mayores consumidores de energía primaria renovable.

Uso total de la Energía Primaria No Renovable (PENRT):

Se cuantificó para cada tipología entregando los valores contenidos en la **Tabla 24**, indicando la cantidad de material utilizado en la vivienda caso de estudio, la unidad declarada de cada producto y el valor total de PENRT para cada material.

Tabla 24: Tabla comparativa del uso total de la energía primaria no renovable para cada tipología de muro.

Muros de Albañilería Armada				Muros de Madera Aislados Térmicamente			
Material	Cantidad	Unidad	Total	Material	Cantidad	Unidad	Total
Ladrillo	8,603	Toneladas	3,26E+04	Pino y Terciado	3,110	M3	4,14E+03
Estuco	75,37	M2	2,90E+03	OSB	1,295	M3	5,04E+03
Aceros	0,583	Toneladas	1,56E+04	Lana de Vidrio	78	M2	8,21E+02
Hormigón	1,62	M3	2,87E+03	Yeso Cartón	83,52	M2	3,75E+03
Mortero	3,10	M3	7,27E+03	x	x	x	x

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de las EPD de cada material y las cantidades entregadas por la cubicación del caso de estudio.

De acuerdo con la tabla, se pueden apreciar mayores valores en Aceros, Ladrillos y Estucos, todos materiales correspondientes a los muros de albañilería armada, por lo que este último, lógicamente, resulta ser la tipología que más consumo de energía primaria no renovable realiza.

Potencial de Reutilización, Recuperación y Reciclaje:

De acuerdo con la evidencia y experiencia, y también, la factibilidad de cada material para ser reutilizado, recuperado y/o reciclado, se ha elaborado la **Tabla 25** indicando si aplica cada material para algunos de los destinos mencionados para no convertirse en escombros de construcción.

Tabla 25: Resumen de potencial de Reutilización, Recuperación y Reciclaje para cada material.

Muros de Albañilería Armada				Muros de Madera aislados térmicamente			
Material	Reutilizar	Recuperar	Reciclar	Material	Reutilizar	Recuperar	Reciclar
Ladrillo	X	X	X	Pino y Terciado	X	X	X
Aceros		X	X	OSB	X	X	X
Hormigón		X	X	Lana de Vidrio		X	X
Estuco		X	X	Yeso Cartón		X	X
Mortero		X	X	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la información estudiada para cada material utilizado en el presente trabajo.

Se puede observar que todos los materiales tienen el potencial de no convertirse en deshecho o escombros una vez terminado el ciclo de vida de los muros de cada tipología.

En cada caso en donde han sido marcados con una “X” los materiales de la Tabla 26, se han analizado las evidencias estudiadas para darle esta valorización, tal como se presentan en el *Capítulo 2.4.* del presente trabajo. Se dan a conocer experiencias para cada uno de ellos evidenciando su factibilidad de reintegrarse a un proceso productivo, el cual puede ser igual o diferente al que fue destinado inicialmente. Bajo esta premisa, se realiza esta tabla resumen que permite entender mejor esta variable estudiada, la cual se complementa a continuación, detallando y valorizando cada uno de ellos en las variables estudiadas.

El porcentaje de cada material de ser reutilizado, recuperado o reciclado dependerá del estado en el que se encuentre cada uno al momento de ser requerido. Se elaboran las **Tablas; 27, 28 y 29**, en donde se valoriza el potencial de reutilización, recuperación y reciclaje de acuerdo con la información obtenida para cada material de cada tipología de muro, y también, considerando el parámetro mencionado en el *Capítulo 2.4.*

La valorización se realiza como lo indica la **Tabla 26**, en dónde se le entrega el valor a cada material de acuerdo con la pertinencia y evidencia, estimando el potencial para las variables estudiadas.

Tabla 26: Tabla de Valorización para evaluar el potencial de Reutilización, Recuperación y Reciclaje.

Tabla de Valorización	
No aplica o no es viable	N/A
Muy Bajo	★
Bajo	★★
Medio	★★★
Bueno	★★★★
Muy Bueno	★★★★★

Donde:

N/A: No aplica o no es viable.

★: El potencial de la variable es muy bajo.

★★: El potencial de la variable es bajo.

★★★: El potencial de la variable es medio.

★★★★: El potencial es de la variable es bueno.

★★★★★: El potencial de la variable es muy bueno.

Tabla 27: Valorización para cada material para ser potencialmente reciclado.

RECICLAJE					
Materiales	Muros de Albañilería Armada	Valor	Materiales	Muros de Madera Aislados	Valor
Ladrillos	El ladrillo puede ser reciclado, pero se limita a un porcentaje menor como materia prima al proceso productivo.	**	Maderas	La madera puede ser reciclada y derivada incluso en coproductos.	*****
Aceros	El acero tiene un potencial alto de reciclaje, si se logra separar del hormigón la factibilidad de ser reciclado es alto e incluso en su totalidad.	*****	Lana de Vidrio	La Lana de Vidrio puede ser reciclada e incluida como materia prima cerrando el proceso productivo, siempre y cuando se haga un óptimo manejo del material.	****
Hormigón	El hormigón puede ser reciclado triturándolo y utilizándolo como árido de nuevos hormigones de menor resistencia.	***	Yeso Cartón	Los materiales de yeso se pueden reciclar indefinidamente sin pérdida de propiedad. Se deben eliminar las impurezas que pueda presentar, la que en algunos casos puede resultar complejo.	****
Estucos y Morteros	Existe evidencias de que se puede reciclar el árido fino presente en los morteros y estucos para ser reincorporados en el proceso productivo, sin embargo, las propiedades y capacidades disminuyen de acuerdo con el estado que se encuentren y la forma en que se separan.	*	-	-	-

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información obtenida y contenida en el presente trabajo para cada material de cada tipología de muro.

Tabla 28: Valorización para el potencial de cada material para ser recuperado

RECUPERACIÓN					
Materiales	Muros de Albañilería Armada	Valor	Materiales	Muros de Madera Aislados	Valor
Ladrillos	El ladrillo puede ser triturado y ocupado como relleno de pavimentos en carreteras. También como elemento decorativo en forma de mosaico. Dependerá si se logra separar de buena forma del mortero y no asegura la recuperación de todos los bloques.	***	Maderas	La madera puede ser recuperada para segundos uso dependiendo del estado de esta y si no han sido tratadas con demasiados productos complementarios. También puede ser derivada como fuente energética de biomasa y compostaje.	*****
Aceros	Es muy difícil recuperar particularmente el acero contenido en el hormigón sin tener que destruir el elemento debido a la unión existente entre los materiales.	*	Lana de Vidrio	Dependiendo del estado en el que se encuentre el material, es factible recuperarlo limpiando las impurezas que pueda presentar para poder ser incluido como materia prima del proceso de la Lana de Vidrio.	****
Hormigón	Se puede recuperar parte de los áridos contenidos en él para e incluso triturar para ser usado como relleno de pavimentos.	**	Yeso Cartón	Se puede recuperar el yeso contaminado para implementarlo como materia prima en el proceso productivo.	****
Estucos y Morteros	Se puede recuperar el árido fino presente en los morteros y estucos.	**	X	X	X

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información obtenida y contenida en el presente trabajo para cada material de cada tipología de muro.

Tabla 29: Valorización para el potencial de cada material para ser reutilizado

REUTILIZACIÓN					
Materiales	Muros de Albañilería Armada	Valor	Materiales	Muros de Madera Aislados	Valor
Ladrillos	Reutilizar los ladrillos resulta ser dificultoso, debido a lo complejo de separar el mortero del ladrillo sin dañar a este.	*	Maderas	La madera puede ser reutilizada dependiendo del estado y los cuidados que tengan las piezas.	***
Aceros	No es posible reutilizar las armaduras de acero debido a la imposibilidad de separarlo del hormigón sin dañarlo.	N/A	Lana de Vidrio	No se reutiliza el material debido a las pérdidas de propiedades aislantes que adquiere en el tiempo de uso y posible contaminación de este. Tiene mejor expectativa como material reciclado.	N/A
Hormigón	No es posible reutilizar el hormigón debido a sus propiedades únicas que se adquieren en el proceso constructivo.	N/A	Yeso Cartón	No se reutiliza el material, debido a que puede presentar impurezas y resulta más eficiente reciclarlo para su posterior limpieza y retorno al ciclo productivo.	N/A
Estucos y Morteros	No es posible reutilizar el mortero y el estuco en el estado que se encuentran al término de su vida útil.	N/A	-	-	-

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con información obtenida y contenida en el presente trabajo para cada material de cada tipología de muro.

4.3. Tabla resumen y comparativa para cada tipología de muro

Tabla 30: Resumen de valores asociados a la Economía Circular para cada material cuantificado en los muros de albañilería armada.

Muros de Albañilería Armada						
Resumen	Ladrillo	Estucos	Aceros	Hormigón	Mortero	Total
GWP: Potencial de calentamiento global	2,40E+03 (kgCO ₂ eq)	2,86E+02 (kgCO ₂ eq)	8,34E+02 (kgCO ₂ eq)	4,80E+02 (kgCO ₂ eq)	8,47E+02 (kgCO ₂ eq)	4,85E+03 (kgCO ₂ eq)
PERT: Uso total de la energía primaria renovable	1,16E+05 (MJ)	1,04E+03 (MJ)	6,40E+02 (MJ)	1,42E+02 (MJ)	2,67E+03 (MJ)	1,21E+05 (MJ)
PENRT: Uso total de la energía primaria no renovable	3,26E+04 (MJ)	2,90E+03 (MJ)	1,56E+04 (MJ)	2,87E+03 (MJ)	7,27E+03 (MJ)	6,12E+04 (MJ)
Reutilización	Sí	No	Sí	No	No	X
Recuperación	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	X
Reciclaje	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	X

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de las EDP de cada material, las cantidades entregadas por la cubicación del caso de estudio y la información obtenida para cada material.

Se observa en las **Tablas 30 y 31** los datos recopilados del presente trabajo entregando los totales de las variables asociadas a la Economía Circular para cada material cuantificado de ambas tipologías de muro.

Tabla 31: Resumen de valores asociados a la Economía Circular para cada material cuantificado en los muros de madera aislados térmicamente.

Muros de Madera Aislados Térmicamente					
Resumen	Pino y Terciado	OSB	Lana de Vidrio	Yeso Cartón	Total
GWP: Potencial de calentamiento global	-2,12E+03 (kgCO ₂ eq)	-1,07E+03 (kgCO ₂ eq)	1,48E+02 (kgCO ₂ eq)	3,51E+02 (kgCO ₂ eq)	-2,69E+03 (kgCO ₂ eq)
PERT: Uso total de la energía primaria renovable	7,74E+04 (MJ)	1,79E+04 (MJ)	2,07E+02 (MJ)	1,03E+03 (MJ)	9,65E+04 (MJ)
PENRT: Uso total de la energía primaria no renovable	4,14E+03 (MJ)	5,04E+03 (MJ)	8,21E+02 (MJ)	3,75E+03 (MJ)	1,38E+04 (MJ)
Reutilización	Sí	Sí	No	No	X
Recuperación	Sí	Sí	Sí	Sí	X
Reciclaje	Sí	Sí	Sí	Sí	X

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de las EPD de cada material, las cantidades entregadas por la cubicación del caso de estudio y la información obtenida para cada material.

El elemento que resultó tener un mayor **Potencial de Calentamiento Global** fue el ladrillo cerámico con 2,40E+03 kgCO₂eq. Este mayor valor entregado se justifica en la cantidad de material necesario para poder levantar los muros de albañilería número. En total son necesarias 8,603 toneladas de ladrillo cerámico, siendo el elemento con mayor masa de entre todos los materiales utilizados. Los materiales que menos Potencial de Calentamiento Global tienen entre ambas tipologías son las tablas de pino y terciado de madera con 2,12E+03 kgCO₂eq. En estricto rigor, no contamina y no aporta CO₂ al medioambiente, más bien al contrario, ayuda a la eliminación del CO₂ presente en el aire, tal como se mencionó en la cuantificación de estos elementos, debido a que sus propiedades biológicas le permiten la capacidad de absorberlo.

Para el uso de la **Energía Primaria Renovable**, resulta también el ladrillo cerámico como el mayor consumidor de esta variable. En total $1,16\text{E}+05$ MJ de energía fue utilizada para el total de material necesario para levantar los muros de albañilería armada. Resulta el menor consumidor de esta variable el Hormigón con un total de $1,42\text{E}+02$ MJ

Para el uso de **Energía Primaria No Renovable**, resulta nuevamente el ladrillo cerámico como el mayor consumidor con un total de $3,26\text{E}+04$ MJ y la Lana de Vidrio como el menor consumidor, con un total de $8,21\text{E}+02$ MJ.

En las variables de **Reutilización, Recuperación y Reciclaje**, existe una variada factibilidad entre los diferentes materiales de ambas tipologías. Sin embargo, destacan las maderas por sobre los otros elementos constructivos en ambas tipologías. Los elementos que tienen un valor más negativo corresponden a los estucos y morteros. Se evidencia el detalle en la valorización de las **Tablas 27, 28 y 29**, como también en el *Capítulo 2*, en donde se lleva a cabo la revisión bibliográfica para cada uno de los materiales utilizados en los muros.

Las maderas, que incluyen las tablas de pino aserrado, el terciado y las planchas de OSB se constituyen como materiales que pueden ser aprovechados en su totalidad, incluso siendo desechados en rellenos sanitarios sigue siendo beneficioso, ya que la madera es un material orgánico compuesto por carbono (50%), oxígeno (42%), hidrógeno (6%) y nitrógeno (2%), con otros elementos en menor cantidad, formando cadenas de celulosa y lignina principalmente (Peris, 2006) y la materia orgánica puede descomponerse con la ayuda de microorganismos (Montagnini, 2006). También destacan los ladrillos, pero su destino una vez finalizado su ciclo de vida en una vivienda es aún limitado, reciclándose el ladrillo generalmente para relleno de pavimentos de carreteras. Además, la reutilización del elemento depende mucho del proceso de segregación del material con el mortero pegado en su superficie. Sin embargo, es posible realizarlo y alargar el ciclo de vida útil de un ladrillo como material estructural (Cuesta, 2018).

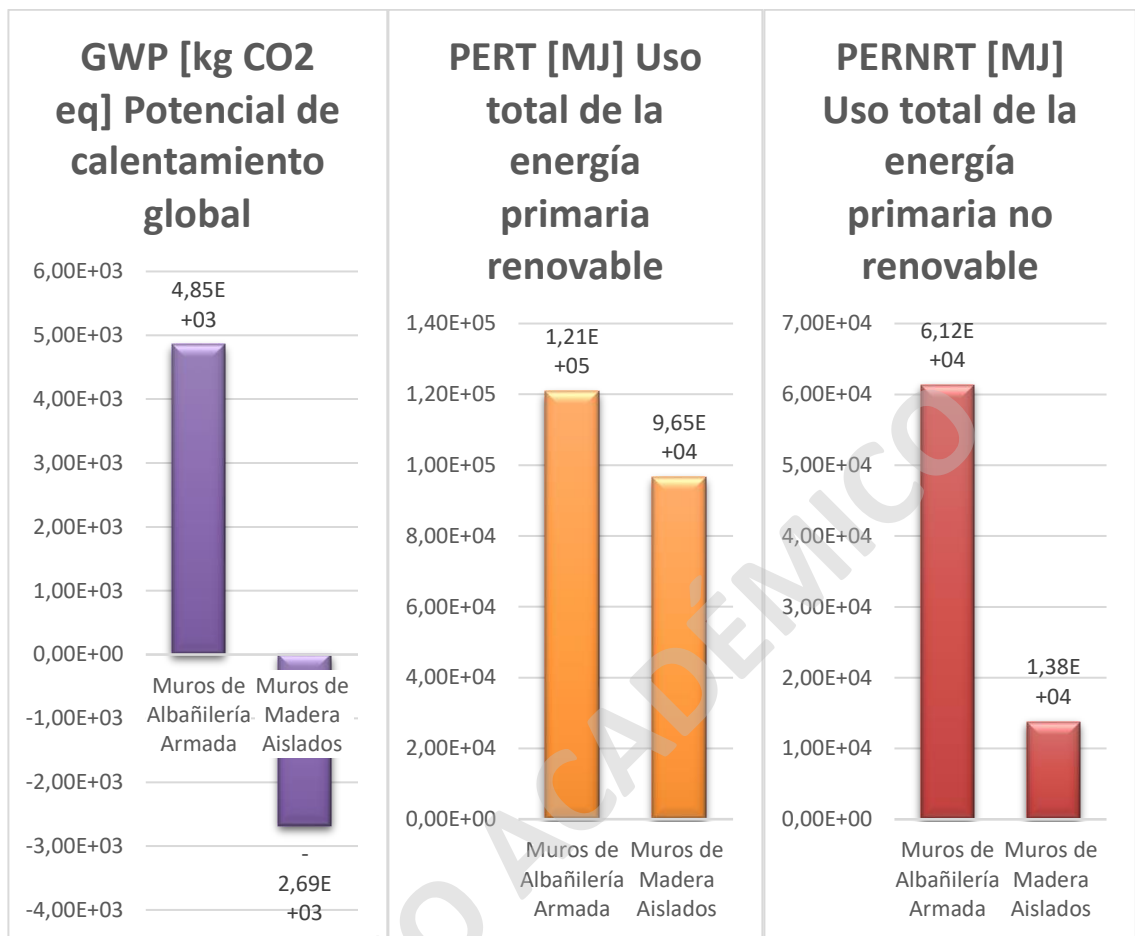


Ilustración 10: Contraste de Valores Totales de las variables asociadas a la Economía Circular para cada tipología de muro.

En números globales, resultan los muros de albañilería con mayor **Potencial de Calentamiento Global** con un total de 4,85E+03 kgCO2eq. El mayor uso de **Energía Primaria Renovable** y uso de **Energía Primaria No Renovable** recae también en los muros de albañilería armada, con un valor de 1,21E+05 MJ y 6,12E+04 MJ respectivamente. Resultan, de acuerdo con los valores obtenidos y como se puede apreciar en la **Ilustración 9**, tener mejores valores medioambientales los muros de madera aislados por sobre los de albañilería armada, lo que lo hace más sustentable en estas tres variables estudiadas.

Llevando los totales de las variables a porcentajes, resulta para la variable de **Potencial de Calentamiento Global** una diferencia de un 280% entre ambas tipologías. Esto quiere decir, que los muros de albañilería estudiados en el presente trabajo son 2,8 veces más contaminantes por sobre los muros de madera aislados térmicamente.

En cuanto al uso de **Energía Primaria Renovable**, resulta una diferencia de un 25%. Esto quiere decir, que los muros de albañilería estudiados agotan 0,25 veces más los recursos asociados a las EPR.

Y, respecto al uso de **Energía Primaria No Renovable**, resulta una diferencia de un 345%. Esto quiere decir, que los muros de albañilería estudiados agotan 3,45 veces más los recursos asociados a las EPNR.

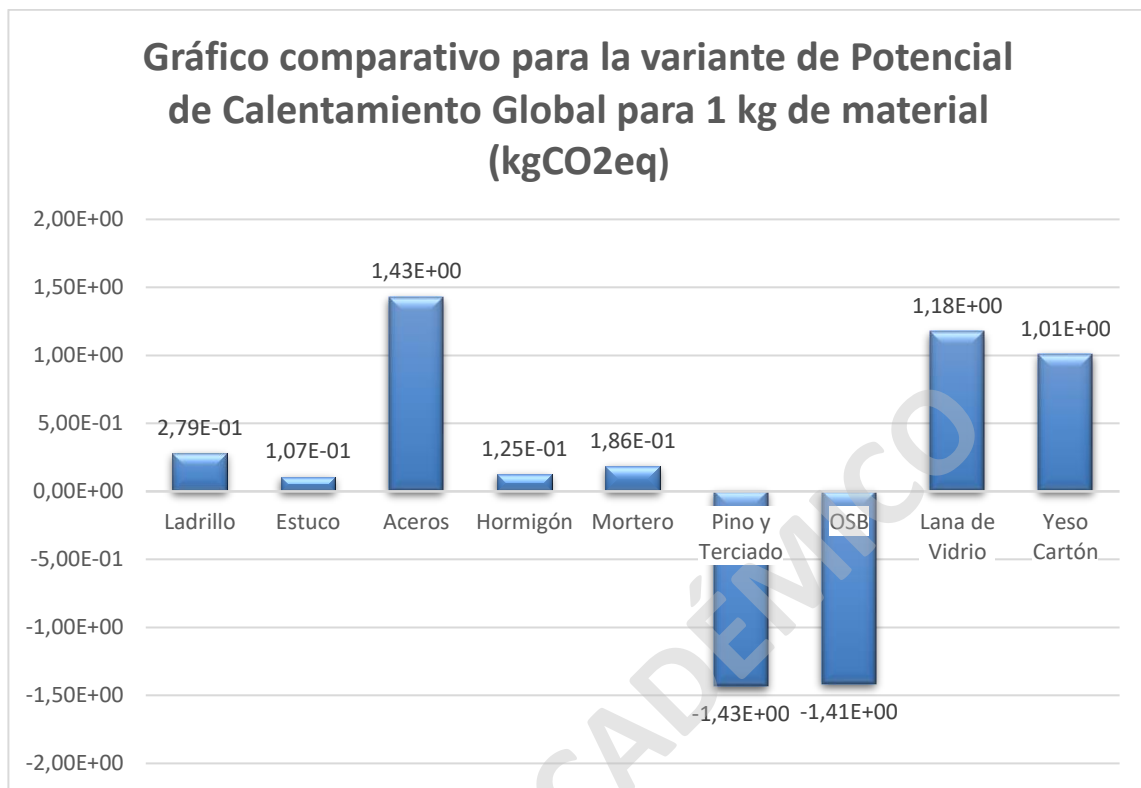


Ilustración 11: Gráfico comparativo para la variante de Potencial de Calentamiento Global para 1 kg de material (kgCO₂eq)

En la **Ilustración 10** se grafica el valor medioambiental obtenido de CO₂eq para cada material, dividiendo por el total de kilogramos (kg) de material utilizado en ambos muros. Se obtiene así el valor de CO₂eq para 1 kg de material. Resulta ser el acero el material más contaminante con respecto a 1 kg de los otros materiales estudiados con un valor de 1,43E+00 kgCO₂eq. También, resulta ser la madera el elemento menos contaminante con respecto a los otros de acuerdo con el mismo parámetro mencionado. El pino y terciado tienen un valor de -1,43E+00 por kg de material y el OSB tiene un valor de -1,41E+00 respectivamente.

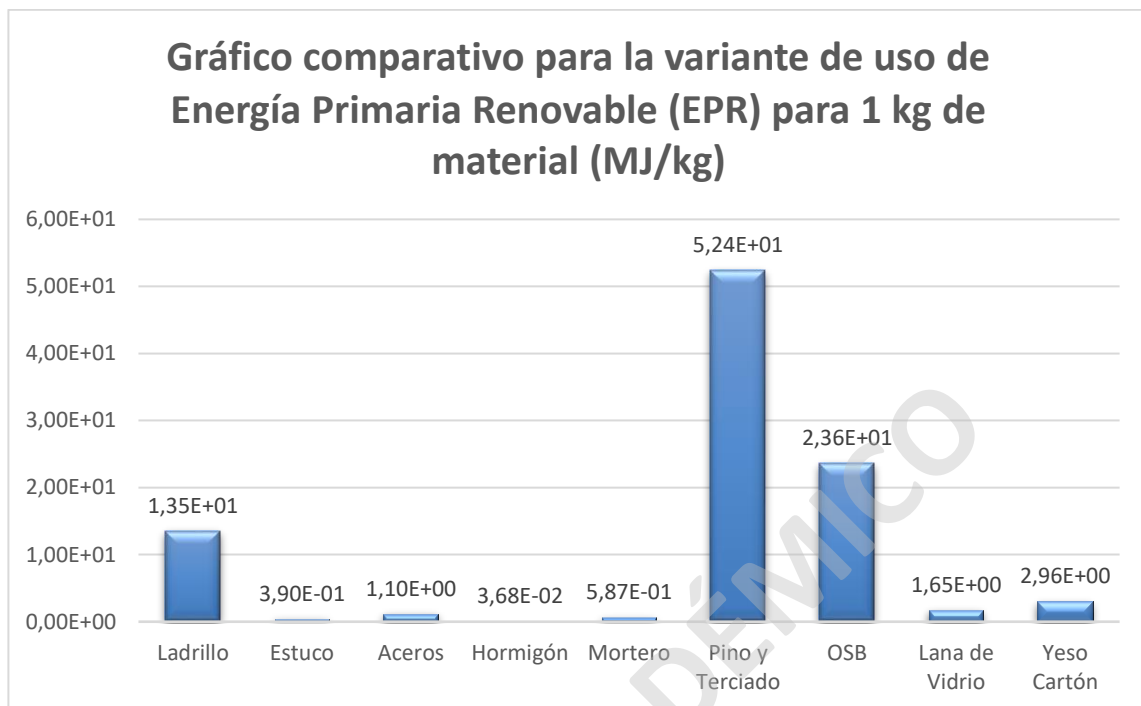


Ilustración 12: Gráfico comparativo para la variante de uso de Energía Primaria Renovable (PER) para 1 kg de material (MJ/kg)

En la **Ilustración 11** se grafica el uso de Energía Primaria Renovable utilizado, expresado en Mega Julios (MJ) por 1 kg de cada material. Resultan ser el pino y el terciado el elemento que más usa este recurso, con $8,32E+01$ (MJ/kg). El hormigón resulta ser el menor consumidor de EPR con un total de $3,68E-02$ (MJ/kg).

Gráfico comparativo para la variante de uso de Energía Primaria No Renovable (EPNR) para 1 kg de material (MJ/kg)

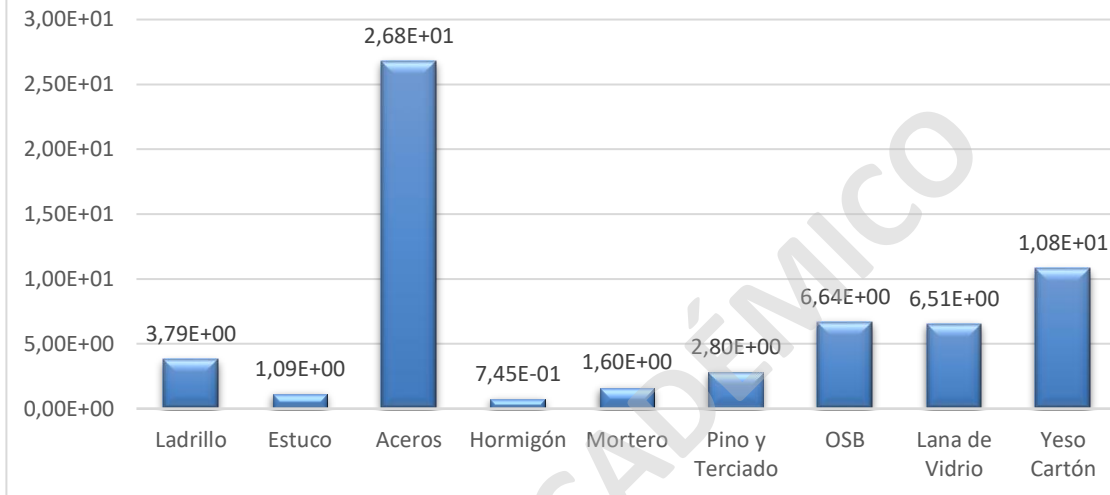


Ilustración 13: Cantidad de MJ de Energía Primaria No Renovable total usado por cada material cuantificado

En la **Ilustración 12** se grafica el uso de energía de Energía Primaria No Renovable, expresado en Mega Julios (MJ) por 1 kg de cada material. Resulta ser el Acero con 2,68E+01 (MJ/kg) el mayor consumidor de esta variable. Por su contraparte, resulta ser el Hormigón como el menor consumidor con 7,45E-01 (MJ/kg).

CONCLUSIONES.

Se ha podido entregar información acerca del contexto actual de las viviendas en el país y también sobre lo que significa el concepto de Economía Circular y su incidencia en Chile. También se han podido evidenciar las experiencias nacionales e internacionales con respecto a la Gestión de Residuos y Desechos de Construcción. Se logró recopilar antecedentes que ayudan a entender mejor el concepto y que permite dar una contextualización de lo que busca el presente trabajo.

Cada vez es mayor la información que se puede obtener en los diferentes medios para poder tener conciencia de lo contaminantes que pueden llegar a ser los diferentes materiales y procesos constructivos a nivel local e internacional con el medioambiente. Sin embargo, la información aún es limitada y no considera en muchos casos todas las variables y/o fases del ciclo de vida para poder estimar los valores contaminantes asociados al rubro de la construcción.

A nivel nacional, son pocas empresas las que tienen una EPD de libre disposición para ser consultados los valores de las variables medioambientales asociadas a la Economía Circular.

Europa, y en general, todos los países miembros de la OCDE tienen bases de datos con las EPD de distintos materiales y empresas del rubro construcción con las cuales se pueden contrastar de acuerdo con la materialidad. En Chile, existe la “*ECOBASE Construcción*” que recopila datos medioambientales basados en EPD nacionales e internacionales, pero no incorpora, por ejemplo, los recursos de energías asociados a los productos, y, las referencias, en su mayoría, son bases de datos internacionales y de EPD de productos extranjeros. No obstante, se han realizado esfuerzos para poder realizar ACV, pero no todos han tenido éxito. Se espera que en los próximos años se pueda equilibrar un poco la balanza en esta materia respecto con otros países.

Se logró establecer el caso de estudio para poder comparar las variables medioambientales asociadas a la Economía Circular. Se especificó la cantidad de materiales y también la cuantificación de cada elemento de acuerdo con la información disponible y que se ha incorporado en el presente trabajo, logrando generar tablas comparativas para cada una de ellas en donde se analizan estas variables.

Resulta, con base a la recopilación y entrega de datos realizados en el presente trabajo, la tipología de muros de madera aislados térmicamente como la menos contaminante en la variable de kilogramos de Dióxido de carbono equivalente (kgCO_2eq). De acuerdo con los valores totales, resultan los muros de albañilería armada 2,8 veces más contaminantes. También, resultan los muros de madera aislados térmicamente ser los menos agotadores de recursos energéticos incorporados al proceso. Para las variables de usos de Energías Primarias Renovables (EPR) que están expresadas en Mega Julios (MJ), los muros de albañilería armada resultan 0,25 más agotadores del recurso. Y, en cuanto a las Energías Primarias No Renovables (EPNR), resultan estos mismos muros 3,45 veces más agotadoras por sobre los de maderas.

Al evaluar el posible potencial de reutilización, recuperación y reciclaje de cada material cuantificado en ambas tipologías de muro, resultan varias formas de aprovechar estos recursos evitando su disposición como deshecho en vertederos. Se obtienen en estas variables, como elementos más sustentables, los contenidos en los muros de madera aislados al presentar un mayor potencial para la circularidad del proceso productivo de acuerdo con la evidencia que se recopiló en este trabajo.

Se logró valorizar el potencial para cada material en cada una de las variables, resultando ser las maderas como el material con mayor potencial. Por su contraparte, los estucos y morteros resultan ser los materiales con más bajas expectativas una vez terminado su ciclo de vida. Dentro de estas mismas variables, se puede apreciar que en la variable de reutilización, solo los ladrillos y maderas son candidatos, pero aun así no se asegura una exitosa reutilización para la totalidad del material.

En este ámbito, resultan los materiales estudiados más favorables a ser recuperados y reciclados por sobre ser reutilizados.

Al considerar solo los muros en la cuantificación, se deja de lado los potenciales valores obtenibles de las otras partidas de la fase constructiva como lo son las fundaciones y techumbre. No obstante, de haber sido considerados, habría sido la misma materialidad empleada para cada vivienda, aumentando los datos obtenidos de la cubicación y de las variables medioambientales, pero no así el resultado de la comparación. Es posible cuantificar también las variables asociadas a la Economía Circular en las distintas fases constructivas de una vivienda, sin embargo debe ir acompañado con valores más cercanos a la realidad y que incluyan las variables nacionales de los productos utilizados en la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- Baskegur. (2019). *The International EPD System; EPD Sectorial: Tabla aserrada de Pino radiata*. EPD International AB.
- Abd Rashid, & Yussof. (2015). *A review of life cycle assessment method for building industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Aguilar, A. (2016). *Reciclado de Materiales de Construcción. Residuos*.
- Argüeso, B. (30 de Octubre de 2019). *La huella de carbono de los embalajes de madera*. Obtenido de Maderea: <https://www.maderea.es/la-huella-de-carbono-de-los-embalajes-de-madera/>
- Banco Mundial. (2018). *Worldwide Governance Indicators*.
- Berge, B. (2009). *The Ecology of Building - Second Edition*. Elsevier.
- CAP Acero. (2020). *The International EPD System: Steel reinforcing bar (weldable and non-weldable) from CAP acero*. EPD Latin America.
- CChC. (2019). *Sector Construcción balance 2019 – Proyecciones 2020 de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC)*.
- Cementos Bio Bio. (2019). *The International EPD System: Ready-Mix Concrete G025 (10)-20-12-28-B Cementos Bio Bio S.A.* EPD Latin America.
- Chile.Cubica. (2014). *Chile.Cubica*. Obtenido de <https://www.chilecubica.com/estudio-costos/porcentaje-de-p%C3%A9rdida/>
- CONAMA. (2010).
- Congreso RCD. (30 de octubre de 2019). *Congreso Internacional de Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición*. Obtenido de Congreso RCD: <https://www.congresorcd.es/>
- Cuesta, B. B. (2018). *La reutilización de ladrillos, ventajas ecológicas y viabilidad constructiva*.
- Dr. Iñigo Vegas. (8 de mayo de 2019). *Gestión de residuos, una enorme oportunidad de mejora para la industria de la construcción*. (C. 2025, Entrevistador)
- ECOBASE. (2015). *ECOBASE CONSTRUCCIÓN*.
- Ellen MacArthur Foundation . (2016). *The New Plastics Economy: Rethinking the Future of Plastics*. Cowes, UK.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *Ellen MacArthur Foundation - Concepto de Economía Circular*. Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>
- Gervásio, H. (2010). *La sustentabilidad del acero*.
- Grupo PUMA. (2018). *Global EPD: Dap de Morteros y Enlucidos*. AENOR.

- Grupo PUMA. (2018). *Global EPD: Morteros para Albañilería*. Aenor.
- H. Sánchez, M. P., Panigatt, M., & Garrapa, S. (2013). Reutilización del yeso recuperado de construcciones: un estudio basado en requisitos de aptitud de normad argentinas y chilenas. *Revista de la Construcción* vol. 12, n°3, 27-35.
- Hernández López, H., Cobo-Escamilla, A., & Martinez-Pérez, I. (2019). Análisis de ciclo de vida en viviendas: un caso que contrasta muro de albañilería con muro de madera en una vivienda social. En *Anales de Edificación*, Vol. 5, Nº 3 (págs. 76-91).
- Hidalgo, E. (2018). *Residuos generados en la construcción de viviendas*.
- HISPALYT. (2017). *Global EPD: Ladrillos cerámicos cara vista. Pieza U según la Norma UNE-EN 771-1*. AENOR.
- Hube, M., Santa María, H., Álvarez, C., & Rivera, F. (2016). *Vulneración Sísmica de Viviendas en Chile*.
- INN. (2019). *Norma Chilena NCh3562:2019 Gestión de residuos - Residuos de construcción y demolición (RCD) - Clasificación y directrices para el plan de gestión - Instituto Nacional de Normalización (INN)*.
- Khatib, J. M. (2009). *Sustainability of construction materials*. Woodhead Publishing Limited.
- Ministerio de Desarrollo Social. (2017). *Estudio CONAMA*.
- MINVU. (2014). *Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico*.
- MINVU. (2018). *Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas*.
- MINVU. (2018). *Manual para la implementación de Declaraciones Ambientales de Productos de Construcción*.
- MINVU. (2018). *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones*. Pub. L. No. D.S.47.
- MINVU. (2018). *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones*, Pub. L. No. D.S.47 (2018). Chile. Obtenido de http://www.minvu.cl/opensite_20061113165715.aspx
- MINVU. (2020). *Ministerio de Vivienda y Urbanismo*. Obtenido de MINVU: www.minvu.cl
- MINVU. (2020). *Observatorio Urbano*. Obtenido de Observatorio Urbano, Estadísticas Habitacionales: <https://www.observatoriourbano.cl/estadisticas-habitacionales/>
- Montagnini, F. J. (2006). *Reciclaje de nutrientes. Fundamentos de Ecología modulo 1*.
- Norbord. (2020). *The International EPD System: EPD for Oriented Strand Board*. EPD International AB.
- ONU. (16 de mayo de 2018). *Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas*. Obtenido de

<https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>

Ossio, F., & Faúndez, J. (2021). *Diagnóstico Nacional de Sitios de Disposición ilegal de residuos (reporte nro. 1)*. Santiago, Chile.

Pacheco Torga, F., & Jalali, S. (2011). *Eco-efficient Construction*. Springer.

Peris, F. V. (2006). *Tecnología de la Madera*. 3ra Edición. Mundi-Prensa Libros.

Ramos, J. (2017). *Evaluar el potencial de reciclaje de los materiales de construcción de edificios en Chile*.

Redcicla. (2020). *Reciclaje de la madera*.

Revista Emb Construcción. (octubre de 2012). *Revista EMB Construcción: <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1961&ni=edificios-son-responsables-de-hasta-un-35-de-las-emisiones-de-co2-a-nivel-mundial>*. Obtenido de <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1961&ni=edificios-son-responsables-de-hasta-un-35-de-las-emisiones-de-co2-a-nivel-mundial>

Rockwool. (2005). *Declaración Ambiental de Producto Rockwool aislamiento térmico de lana de roca*.

Suárez, S. (2018). *La gestión de los RCD a nivel mundial: un análisis comparativo*. CONAMA 2018.

Suazo Páez, B. (2018). *Economía Circular en Chile: Alcances, problemas y desafíos en la gestión de la ley REP*.

VOLCÁN. (2016). *DAP Lana de Vidrio Aislanglass*.

VOLCÁN. (2016). *DAP Yeso Cartón Volcanita*.

VOLCÁN. (2021). *VOLCÁN - Barreras de Humedad*. Obtenido de <https://www.volcan.cl/productos/barreras-de-humedad>

Winkler, G. (2010). *Recycling Construction & Demolition Waste - A LEED-Based Toolkit*. GreenSource.

Zero Consulting. (03 de diciembre de 2018). *blog.zeroconsulting.com*. Obtenido de <https://blog.zeroconsulting.com/análisis-ciclo-vida>