



**EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES Y ECONÓMICAS DEL
CICLO DE VIDA DE LA LANA DE VIDRIO Y LA LANA DE OVEJA EN LOS
MUROS DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LA COMUNA DE RENGÓ A
PARTIR DE LA METODOLOGÍA DE SELECCIÓN POR VENTAJAS**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:
María Joaquina Latorre Cáceres

Profesor Guía:
Francisco Eduardo Sanhueza Durán

Fecha:
Noviembre 2022
Santiago, Chile

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Mayor por darme la formación que se espera como estudiante, entregando herramientas y ayuda en todo momento.

También a mis profesores, en particular al profesor Francisco Sanhueza, por su disposición y entregar la ayuda necesaria para el desarrollo de este proyecto.

A mi familia, por su apoyo incondicional en toda esta carrera y por su esfuerzo, que, sin ellos, no podría haber estudiado.

A mis amigos universitarios, que nos hemos apoyado mutuamente en esta formación profesional, trabajando en equipo a lo largo de toda esta carrera.

RESUMEN

Al encontrarse hoy en día el planeta alterado debido a los fuertes impactos medioambientales, se ha visto en la necesidad de tomar medidas para detener o disminuir estas alteraciones a la atmósfera. Se identifica que una de las industrias que producen estas alteraciones lo cual pertenece a una de las más perjudiciales es la de la construcción, lo que se tuvieron que tomar acciones y metodologías para trabajar en esto. Una de las metodologías es el análisis de ciclo de vida que a través de la evaluación que se realiza en sus etapas, en este caso especificándose con variables ambientales y económicas, se puede determinar si los materiales, en este caso aislantes térmicos, son convenientes sus usos de manera sustentable y convenientes económicamente. En este caso la lana de oveja al ser un material natural se piensa que es adecuado para su utilización como aislante térmico ya que cumple con los parámetros para su función y para normativas ambientales, pero no en su totalidad, debido a que requiere de tratamientos que permiten convertirlo en aislante térmico. Por otro lado, la lana de vidrio al compararla con la lana de oveja se piensa que es mucho más perjudicial, lo que en este caso demuestra lo contrario. Para esta evaluación se requiere de otra metodología llamada selección por ventajas, que permite a través de puntuaciones en las variables, identificar de manera certera el aislante que impacta en mayor cantidad versus el otro determinado por el contraste realizado entre ellos. Al finalizar este proyecto se obtuvo que según las variables ambientales seleccionadas la lana de vidrio perjudica más al medio ambiente que la lana de oveja, pero no con gran diferencia, debido a los tratamientos que requiere esta última. En cuanto a las variables económicas es más favorable utilizar la lana de vidrio, esto ocurre por la poca cantidad de empresas que producen la lana de oveja, lo que encarece la obtención de este material.

Palabras Claves: análisis de ciclo de vida, aislantes térmicos, metodología de selección por ventajas, construcción sustentable.

SUMMARY

At present, the planet is altered due to strong environmental impacts it has been necessary to take measures to stop or reduce these alterations to the atmosphere. It is identified that one of the industries that produce these alterations, which belongs to one of the most damaging is the construction industry so actions and methodologies had to be taken to work on this issue. One of the methodologies is the analysis of the life cycle, while analyzing evolution can determine if the materials in this case thermal insulation are suitable for their uses in a sustainable and economically convenient way. In this case sheep's wool being a natural material is suitable for use as thermal insulation, because sheep's wool complies with the parameters for correct function and environmental regulations. However, sheep's wools is not completely suitable because this natural material requires treatments to transform into a thermal insulator. On the other hand, glass wool when is compared to sheep's wool is more harmful which in this case proves the opposite. For this evaluation another methodology called selection by advantages is required, which allows through scores in the variables to identify accurately the insulator that has the greatest impact versus the other determined by the contrast made between them. At the end of this project, it was obtained as a result that according to the selected environmental variables glass wool harms the environment more than sheep's wool but not with great difference due to the treatments required by the sheep's wool. Also, regarding the economic variables, it is more favorable to use glass wool this occurs due to the small number of companies that produce sheep's wool, which makes obtaining this material more expensive.

Keywords: life cycle assessment, thermal insulators, selection methodology by advantages, sustainable construction.

GLOSARIO

Aislación térmica: Capacidad de oposición al paso de calor de un elemento o conjunto de elementos, y que en construcción se refiere esencialmente al intercambio de energía calórica entre el ambiente interior y el exterior (Inostroza, 2018, p. 5).

Conductividad térmica: es la capacidad del calor para que este pase de un lado de un material a otro. Esta se mide en W/mK (vatios de calor / metro x Kelvin), donde un valor más bajo significa que es un mejor aislante (Rivero, 2016).

Envolverte térmica: Se compone de los cerramientos del edificio que separan los recintos habitables del ambiente exterior y las particiones interiores que separan los recintos habitables de los no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior. (Inostroza, 2018, p. 5)

Espesor del aislante (e): la conductividad térmica de un material varía también con el espesor, aun cuando su valor λ hace abstracción del espesor y se refiere exclusivamente a las dimensiones superficiales unitarias. Así que podemos afirmar que, a mayor espesor, el coeficiente de conductividad disminuye ligeramente, debido al efecto de acumulación y posterior dispersión calórica (Inostroza, 2018).

Resistencia térmica (R): Oposición al paso de calor que presentan los elementos o materiales de construcción (Burgos J., 2010).

Zona Térmica: Caracterización de una zona geográfica según sus condiciones térmicas, basándose en los grados días que se registren (Corporación de Desarrollo Tecnológico Cámara Chilena de la Construcción, 2015).

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN	3
SUMMARY	4
GLOSARIO	5
ÍNDICE.....	6
1. CAPÍTULO N°1: INTRODUCCIÓN	9
1.1. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA.....	9
1.2. OBJETIVOS	10
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	10
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3 METODOLOGÍA.....	11
2. CAPÍTULO N°2 - MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	12
2.1.2. CONSUMO DE RECURSOS A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL	12
2.1.3. EFECTOS AMBIENTALES.....	13
2.2. CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE	14
2.2.1 IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
SUSTENTABLE	15
2.2.2. BENEFICIOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE	
16	
2.3. ECONOMÍA CIRCULAR EN LA CONSTRUCCIÓN	17
2.4. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)	18
2.4.1. ETAPAS DEL ACV	18
2.4.2. VARIABLES AMBIENTALES EN EL CICLO DE VIDA Y SUS	
IMPACTOS	19
2.4.3. VARIABLES ECONÓMICAS EN EL CICLO DE VIDA Y SUS	
IMPACTOS	20
2.4.4. ANÁLISIS CICLO DE VIDA PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
SEGÚN NORMATIVAS AMBIENTALES	20
2.4.5. IMPORTANCIA DEL ACV PARA CERTIFICACIONES Y ECONOMÍA	
CIRCULAR.....	22
2.5. AISLACIÓN TÉRMICA.....	22
2.5.1. USOS Y CARACTERÍSTICAS DE AISLACIÓN TÉRMICA.....	23
2.5.2. AISLANTES TÉRMICOS MÁS UTILIZADOS EN CHILE.....	23

2.5.3.	LA LANA DE VIDRIO Y SUS PROPIEDADES	24
2.5.4.	LA LANA DE OVEJA COMO AISLANTE TÉRMICO Y SUS PROPIEDADES	24
2.5.5.	GESTIÓN DE RESIDUOS DE AMBOS AISLANTES TÉRMICOS.....	25
2.6.	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA CIUDAD DE RENGÓ	26
2.6.1.	ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO EN PROYECTO DE VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE RENGÓ.....	26
2.7.	METODOLOGÍA DE SELECCIÓN POR VENTAJAS.....	27
3.	CAPITULO N°3 - DESARROLLO	28
3.1.	RECURSOS: MATERIALES Y ENERGÉTICOS	28
3.2.	CICLO DE VIDA DE LA LANA DE VIDRIO	29
3.3.	CICLO DE VIDA DE LA LANA DE OVEJA	34
3.4.	VARIABLES AMBIENTALES Y ECONÓMICAS PARA EVALUAR.....	40
3.5.	CASO DE ESTUDIO: MURO TIPO DE VIVIENDA DE LA CIUDAD DE RENGÓ	41
3.6.	METODOLOGÍA DE SELECCIÓN POR VENTAJAS Y VALORIZACIÓN ...	44
3.6.1	VARIABLES AMBIENTALES Y SU VALORIZACIÓN	45
3.6.2	VARIABLES ECONÓMICAS Y SU VALORIZACIÓN	48
	RESULTADOS	50
	ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN	53
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
	ANEXOS.....	65
	ANEXO N°1: TIPOS DE VIVIENDAS EN RENGÓ	65
	ANEXO N°2: TIPOS DE VIVIENDAS EN RENGÓ	67
	ANEXO N°3: VARIABLES AMBIENTALES	68
	ANEXO N°4: VARIABLES ECONÓMICAS.....	69
	ANEXO N°5: CÁLCULO CONSUMO DE ENERGÍA.....	70
	ANEXO N°6: LEVANTAMIENTO DE MUROS.....	71
	ANEXO N°7: CÁLCULO TRANSMITANCIA.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ETIQUETAS ECOLÓGICAS EN PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN....	16
FIGURA 2: ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA.....	19
FIGURA 3: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LANA DE VIDRIO.....	32
FIGURA 4: USO AISLANTE LANA DE VIDRIO EN VIVIENDA.....	33
FIGURA 5: ESQUEMA SOBRE EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA LANA DE OVEJA.....	35
FIGURA 6: VIVIENDA TIPO DE RENGO VISTA DE MURO FRONTAL (A), TRASERO (B) Y LATERALES (C).....	42
FIGURA 7: MURO DEL PRIMER PISO DE LA VIVIENDA TIPO DE LA CIUDAD DE RENGO.....	43
FIGURA 8: MURO DEL SEGUNDO PISO DE LA VIVIENDA TIPO DE LA CIUDAD DE RENGO.	43

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE FACTORES A EVALUAR EN LOS AISLANTES	41
TABLA 2: ESCALA DE VALORIZACIÓN DE IMPACTOS QUE GENERE CADA VARIABLE	44
TABLA 3: VALORIZACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES	45
TABLA 4: VALORIZACIÓN DE VARIABLES ECONÓMICAS.....	49
TABLA 5: EVALUACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES EN CADA AISLANTE	50
TABLA 6: EVALUACIÓN DE VARIABLES ECONÓMICAS EN CADA AISLANTE. ..	52

1. CAPÍTULO N°1: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA

Con el paso del tiempo se ha visto afectado el medio ambiente a nivel mundial, debido a los impactos que se han producido constantemente en diversos rubros, por las actividades del ser humano, como el consumo excesivo de recursos, el desarrollo industrial, entre otras. El aumento desmedido de las emisiones de CO₂ por las actividades humanas es la causa principal del “efecto invernadero”, que induce al “calentamiento global” y provoca el “cambio climático” (Weart, 2003; Flannery, 2006; Hurtubia, 2019).

Esto ha provocado daños tanto en la salud de las personas como en su calidad de vida. Hasta un 92% de la población del planeta respira aire contaminado en niveles peligrosos para su salud, y 570 000 niños menores de 5 años, mueren al año a causa de enfermedades respiratorias relacionadas con la contaminación del aire. (Moya, 2020).

Uno de los rubros que ha impactado de manera negativa al medio ambiente es el sector de la construcción, ya que para el desarrollo de sus productos y servicios requiere del consumo de recursos, tanto materiales como de energía, teniendo como consecuencia, emisiones sólidas, líquidas y gaseosas, siendo estas, contaminantes. En el país, el mayor aporte de emisión GEI (gasto efecto invernadero) son las industrias de transporte, energía y manufactura y construcción (Ministerio de Medio Ambiente, 2017).

Con esto se categoriza el rubro de la construcción como uno de los agentes más importantes en la participación de cambio climático, donde la participación porcentual de manufactura y construcción incluye los procesos de quema de combustibles fósiles en la industria, incluyendo la quema para generación de electricidad y calor para el uso propio de estas industrias, pero dejando fuera las acciones que pueden incluirse en otra categoría. Es decir, el aporte de la construcción puede ser incluso mayor al 17% informado” (González, 2018).

Debido a estas condiciones, la sociedad se ha visto preocupada y ha tomado medidas de preservación del medio ambiente sustituyendo algunas acciones del hombre y siendo más estrictos en actividades que, en el pasado, han perjudicado significativamente el medio ambiente.

Es por esto por lo que se necesita realizar evaluaciones de estos impactos ambientales, para disminuir o acabar con los impactos que se provocan en este obteniendo una mejora en la calidad de vida de las personas. Para ello se han presentado distintas metodologías, como lo es el análisis de ciclo de vida de un producto y/o proceso, lo cual ha demostrado que ha sido capaz de valorar y evaluar los impactos que se generan (Herranz & García, 2017).

En el sector de la construcción se ha percibido que se puede analizar el ciclo de vida de los materiales, llegando a ser muy significativo en su gestión, desde el principio a fin de la función de estos. Uno de los materiales más utilizados en la construcción son los aislantes térmicos, como la lana de vidrio. En el caso de esta, según estudios, se aprecia que impacta al medioambiente en todas sus etapas como en el consumo de energía, emisiones de gases de efecto invernadero, consumo de agua, entre otros, (Saint-Gobain, 2021), por lo que requiere de una evaluación en todo su ciclo de vida.

Por otro lado, se ha determinado que existen materiales alternativos de aislación térmica que posiblemente impacten al medio ambiente en menor cantidad. De manera hipotética, podría ser utilizar la lana de oveja en vez de la lana de vidrio. Para esto se requiere de un estudio para determinar cuál es el material óptimo. Se debe destacar en este estudio, las variables ambientales y de costos que se generan en cada etapa del ciclo de vida de los materiales, para así, obtener un contraste más certero en la obtención de resultados.

Para realizar este estudio, se llevará a evaluar las variables en un tipo de vivienda, que, en este caso, será una vivienda unifamiliar tipo ubicada en la comuna de Rengo, Región de O'Higgins, caracterizándola, para posteriormente, contrastar ambos aislantes y determinar la solución de aislación.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las variables ambiental y económica del ciclo de vida de dos sistemas de aislación térmica implementados en viviendas unifamiliares en la comuna de Rengo.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar variables ambientales y económicas en el ciclo de vida de la lana de vidrio y lana de oveja como aislante térmico.
- Levantar las características de las viviendas unifamiliares en la ciudad de Rengo para definir una vivienda tipo.
- Implementar la metodología de selección por ventajas para valorizar las variables definidas.
- Contrastar el ciclo de vida de la lana de vidrio y la lana de oveja de acuerdo con su uso en los muros de la vivienda tipo.
- Seleccionar la solución constructiva óptima a partir del análisis de las variables ambientales y económicas según el contraste realizado.

1.3 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo esta investigación y conseguir los objetivos propuestos, se debe tener en cuenta que para desarrollarla hay que considerar aspectos cualitativos y cuantitativos, adquiriendo información de bibliografía científica principalmente en documentos como tesis, informes, revistas, entre otros documentos.

Se debe analizar la problemática para llevar a cabo esta evaluación del ciclo de vida de ambos materiales, interpretando y comprendiendo la información obtenida y ponerla en práctica, en este caso, se realizará una selección de una vivienda unifamiliar de la ciudad de Rengo para luego identificar el tipo de construcción de sus muros. Posteriormente, se realiza una evaluación del sistema de construcción identificado. Para esto se necesitará utilizar la herramienta Revit para realizar elevaciones de los muros correspondientes. Cabe destacar, que se utilizara esta herramienta para cálculos de variables económicas. En cuanto a las variables ambientales se estudió material bibliográfico, identificando los valores que impacta cada variable dependiendo del aislante a estudiar.

Para lograr una comparación de estos aislantes térmicos, lana de vidrio y lana de oveja, se interpretará la información obtenida para insertarlas en tablas y gráficos, analizándolas con un enfoque en las variables ambientales y económicas, utilizando una metodología de

selección por ventajas, logrando obtener el resultado del aislante óptimo de acuerdo con los aspectos anteriormente mencionados.

2. CAPÍTULO N°2 - MARCO TEÓRICO

2.1. LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Con el paso de los años, se ha visto que el sector de la construcción ha sido una de las industrias que se ha preocupado del desarrollo de la sociedad ayudando con las necesidades de las personas y facilitando la vida de estas. Para el cumplimiento de lo mencionado anteriormente, esta ha necesitado de distintos materiales y herramientas para desarrollar estos mismos y a la vez sus proyectos, ya sea en obras viales, industriales y edificaciones. Para esto se han ocupado nuevas tecnologías que cada vez se van mejorando y facilitan el desarrollo de esta industria, por lo que se ha requerido de distintos recursos naturales, como la madera, agua y energía principalmente, que han provocado impactos sociales, económicos y ambientales, lo que este último, ha perjudicado al medio ambiente, provocando daños hasta el día de hoy, ya sea por el exceso de consumo de recursos y por la mala gestión de estos. “El sector de la construcción es responsable de consumir un gran volumen de recursos naturales y de generar una gran cantidad de contaminantes como resultado del consumo de energía durante la extracción y transporte de la materia prima” (Enshassi *et al.*, 2014, p. 237).

2.1.2. CONSUMO DE RECURSOS A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

La industria de la construcción es uno de los principales consumidores de recursos naturales. Esta ha sido responsable del consumo del 40 % de las materias primas en el mundo, esto quiere decir, que equivale a 3000 millones de toneladas por año (Botero *et al.*, 2015). Para ser más específica, el 17 % del agua potable, el 70 % del total de los recursos madereros, el 10 % de la tierra cultivable, un 20 % del total de la energía mundial es consumida durante el proceso de construcción, elaboración de materiales y demolición de las obras de construcción, consumiendo exclusivamente los materiales pétreos, los cuales pertenecen a la categoría de recursos no renovables (Botero *et al.*, 2015).

Globalmente, como se mencionó en el párrafo anterior, se reafirma el porcentaje del consumo de materias primas utilizado por esta industria, lo que se obtiene un consumo de energía del

40%, emisiones del 40% de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en su ciclo completo. También esta industria genera sobre el 30% de los residuos sólidos. Por otro lado, se consume el 50% de la producción mundial de acero, y 3 mil millones de toneladas de materias primas al año (Construye2025, 2019). En consecuencia, del consumo de estas últimas, se comienzan a generar residuos, lo que a nivel mundial la industria de la construcción se produce el 35% de residuos industriales, denominándose Residuos de Construcción y Demolición (RCD), lo cual en la mayoría de los casos no se gestionan de buena forma teniendo como consecuencia, dejándolos en vertederos, que, en comparación con los residuos domésticos, estos los exceden. Por otro lado, la industria de la construcción es una de las que más emisiones de CO₂ produce, debido a su gran consumo energético, emitiendo un tercio de las emisiones de CO₂ a nivel mundial (Gieseckam et al., 2014).

En cuanto a nivel nacional, también se han identificado consumos de recursos de manera similar, según el Informe del Ministerio de Medio Ambiente “Estrategia Nacional de Construcción Sustentable”, la etapa de operación del sector construcción, “es el responsable del 26% del consumo de energía en el país” (Vicencio, 2017, p. 11). El informe, también señala que “el agua potable sanitaria, que se utiliza principalmente en edificaciones, corresponde a un 6% de los usos consuntivos de los recursos hídricos” (Vicencio, 2017, p. 11). En general, se excede el consumo de recursos, lo que es muy perjudicial para el planeta. En cuanto a la generación de residuos de la construcción y demolición, se logra identificar que estos en Chile corresponde al 34% del total de residuos causados. Gran parte de estos no son registrados ni se sabe de los lugares de depósitos, lo que no permite saber el volumen con exactitud de estos (Escanilla, 2019).

Por otro lado, no existe un registro oficial que permita cuantificar las emisiones de efecto invernadero producidas por la industria de la construcción en Chile, pero esta es una de las fuentes principales de emisión de CO₂ correspondiendo a la producción industrial de insumos para este sector (Cámara Chilena de la Construcción, 2019).

2.1.3. EFECTOS AMBIENTALES

Los efectos ambientales que se provocan en la industria de la construcción se han identificado desde la obtención de la materia prima, pasando por todo el proceso de fabricación de

materiales, el uso de estos durante el desarrollo de los proyectos de construcción y finalizando en los desechos producidos por esta. Los efectos más comunes que se han identificado son: contaminación de aguas, contaminación de aire, deforestación, pérdida de biodiversidad, cambio climático, degradación de la capa de ozono, entre otros. Según resultados de un estudio “revelaron que la generación de polvo, contaminación acústica, operaciones con remoción de la vegetación y la contaminación atmosférica son los impactos ambientales más significativos de los proyectos de construcción” (Enshassi *et al.*, 2014, p. 234).

2.2. CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE

Debido a los daños que ha causado la construcción en el medio ambiente a nivel mundial, se plantearon medidas de alternativas y modificación de materiales con ayuda de la tecnología, siendo estas limpias e innovadoras durante su ciclo, enfocándose principalmente en el reciclaje y reutilización de materiales, teniendo como objetivo la disminución de la contaminación ambiental, lo cual se denomina construcción sustentable (Martínez G., Hernández J., López T., Menchaca C., 2015).

La construcción sustentable es la “creación y manejo responsable de un ambiente construido saludable, basados en principios ecológicos y uso eficiente de los recursos”. (Czajkowski, 2018, p.36). Siendo mas específica, un tipo de esta es la vivienda sustentable que “se basa en tres principios: el ciclo de vida de los materiales, el uso racional de materias primas y energías renovables y la reducción del material y energía utilizados en la obtención de recursos naturales, como la destrucción o el reciclaje de los residuos”(Castro K. & Grisales J., 2019, p.47).

Este tipo de construcción hace referencia a la forma en que se edifica un proyecto durante todo su proceso, siendo este, planificación, diseño, arquitectura, construcción, incorporando la sustentabilidad en este, es decir, no involucrando al medio ambiente, utilizando de forma racional los recursos naturales y manejando de forma apropiada la infraestructura e instalaciones de la edificación contribuyendo a la conservación de energía y mejorando la calidad ambiental. (Gutiérrez *et al.*, 2018, p. 7)

Para lograr una construcción sustentable se incluye durante todo el proceso el desempeño económico, social, cultural y medio ambiental, logrando los siguientes objetivos:

- Uso eficiente de recursos.
- Uso eficiente de energía (incluyendo la reducción de emisiones de gases invernadero).
- Prevención de contaminación (incluyendo mejorar la calidad del aire interior y disminuir el ruido).
- Armonía con el ambiente (incluyendo la valoración medioambiental).
- Enfoques integrados y sistémicos (incluyendo un programa de manejo medioambiental).
- (Gutiérrez *et al.*, 2018, p. 7)

2.2.1 IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE

Para que el proyecto a construir sea más eficiente, es esencial determinar qué materiales se requieren y las características de cada uno de estos, es decir, la composición de cada uno y cómo impacta en el medio ambiente. Para esto se debe evaluar cada material teniendo en consideración desde la creación de este hasta el fin de su uso, es decir, analizar su ciclo de vida. Para identificar estos materiales los certificadores les colocan etiquetas para así dar a conocer al cliente que es un producto sustentable (Serrano *et al.*, 2015). De acuerdo con las Normas ISO 14024, 14025 y 14040, que nos informan de los ciclos de vida y el impacto ambiental de los productos. Al cumplir estas normas, sirven para que los productos del sector de la construcción se pueden clasificar dependiendo de sus características sustentable logrando esto con tres tipos de ecoetiquetas las cuales son: ecoetiqueta tipo I; se usan en la clasificación del producto en función de su ciclo de vida, ecoetiqueta tipo II; las cuales se utilizan en productos con información proporcionada por el fabricante para considerar a sus productos como ecológicos y la ecoetiqueta III; usada cuando la información del producto es sustentable en base a su ciclo de vida y cumplimiento de normas ISO que lo acrediten, estas proporcionan la información necesaria para obtener una evaluación medioambiental de cada

producto y obtener el cálculo del impacto ambiental que produce cada producto (Serrano *et al.*, 2015). Algunos ejemplos de estas etiquetas son las que muestra la figura 1.

Figura 1: Etiquetas ecológicas en productos de construcción.



Fuente: STO, s.f.

2.2.2. BENEFICIOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE

Los materiales de construcción sustentables se destacan por cumplir con las necesidades que se requieran en la construcción y por entregar beneficios al medio ambiente, como también económicos y sociales. Algunos beneficios ambientales que se conseguirían es la reducción del consumo de energía y agua, menos emisiones de carbono y la buena utilización de recursos y materias primas, disminución de basura, es decir, se reduce el impacto ambiental. A demás, permite que se alargue la vida útil de los materiales de construcción teniendo la posibilidad de reutilizarlo o reciclarlo y mejorar las propiedades de estos, por ejemplo, se ha logrado reducir las fisuras por asentamiento y por contracción plástica, disminuir la permeabilidad e incrementar la resistencia a la fractura, al impacto y a la abrasión (Martínez, G., Hernández, J., López, T., & Menchaca, C., 2015).

En cuanto a la salud de las personas, estos materiales pueden mejorar la salud y bienestar de los trabajadores que manipulen estos, logrando aumentar la productividad, debido a que se reducen las presentaciones de licencias médicas y daños a estos mismos.

Los de los beneficios económicos que se obtienen gracias a estos materiales es la reducción de costos en su producción, aumento en el valor de la edificación y en el precio de la renta,

incremento en el retorno de inversión, aumento en tasa de ocupación (Malaver N. & Ortiz N., 2018).

2.3. ECONOMÍA CIRCULAR EN LA CONSTRUCCIÓN

El sector de la construcción tiene una importante influencia en el ámbito económico y en la capacidad de utilizar recursos naturales no renovables, lo que impacta fundamentalmente en el medio ambiente, por lo que es esencial incorporar la economía circular en esta industria. Un ejemplo es lo ocurrido en la Unión Europea que se conoce que la construcción y el uso de los edificios representan: el 40% del consumo final de energía, el 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero, el 50% de todos los materiales extraídos, el 30% del consumo de agua y el 35% del total de los residuos generados, el 54% de los materiales de demolición son enviados a vertedero, mientras que en algunos países sólo son enviados a vertedero un 6%. La edificación produce el 71% de los residuos de construcción y demolición producidos frente al 29% de la obra civil. Si se ejecuta constantemente la economía circular, implicaría que se reduzca el consumo de recursos en ayuda a las crisis ambientales actuales y futuras. También se regenera el medio ambiente por la reutilización de elementos y por disminuir el consumo de ellos. (Fundación Conama, 2018).

La clave de la economía circular es recurrir a las 3R (reciclar, reutilizar y reducir), escogiendo lo que se puede reparar en vez de desechar y lo que tiene mayor duración, para así reducir la basura y alargar la vida del producto lo que más se pueda. Finalmente, el propósito de la economía circular es ahorrar energía, obtener una reducción de costos tanto para productores como para consumidores, la disminución o eliminación de la causa de los daños a los recursos naturales, fomentando la innovación tecnológica, creatividad y competitividad, beneficiando al medio ambiente de la crisis ambiental que se vive en la actualidad (MacArthur, 2014).

El sector de la construcción es una de las áreas más importantes de la economía, utilizando más recursos naturales principalmente no renovables, lo que es esencial incorporar la economía circular, puesto que la optimización y disminución de recursos, va a producir un sistema económico con menor dependencia, más competitivo y resistente si se presentan crisis ambientales y económicas. (Fundación Conama, 2018).

2.4. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)

En la actualidad se ha visto perjudicado el medio ambiente debido a los impactos negativos que se han generado por la mala gestión de recursos desde el principio a fin de este. Esto ha provocado preocupación y descontento a la humanidad, ya que se han visto afectadas de mala manera como en la salud y bienestar. Por lo que el ser humano se ha visto más estricto en la protección y conservación del medio ambiente, teniendo como consecuencia en el momento de producir un producto, la disminución del impacto ambiental, preocupándose desde el inicio del producto hasta el fin del cumplimiento de su función, es decir, el análisis del ciclo de vida de un producto.

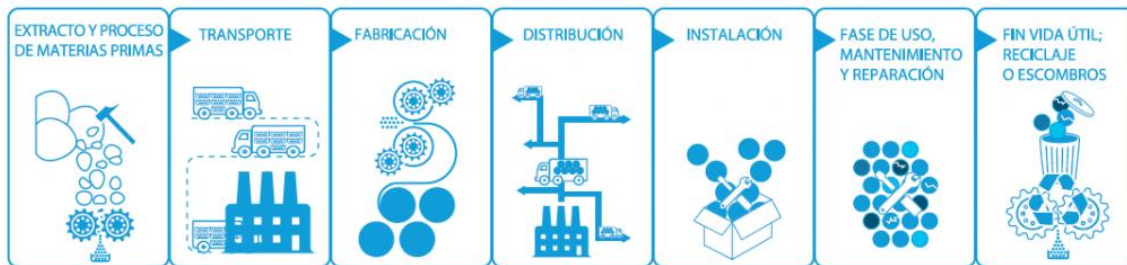
El Análisis de Ciclo de Vida es una recopilación y evaluación de las entradas y salidas de materia y energía, y de los impactos ambientales potenciales directamente atribuibles a la función del sistema del producto a lo largo de su ciclo de vida. (Aguillón & Arista, 2015, pp. 20-21)

Este análisis permite obtener oportunidades de mejora en el medio ambiente y evita que se perjudique cada vez más. Es muy importante saber el objetivo del producto a analizar, para esto se debe tener en cuenta la recopilación de los datos necesarios y alcances bien definidos, es decir, tener claridad de los recursos de entrada y salida, para posteriormente, interpretarlos y lograr un buen análisis.

2.4.1. ETAPAS DEL ACV

El ACV de un producto requiere de fases distribuidas en: el diseño, desarrollo y fin de su actividad, las cuales se especifican en las 6 etapas expuestas en la figura 2, siendo éstas: obtención de materias primas y componentes, proceso y fabricación, distribución y transporte, uso y reutilización y mantenimiento, reciclaje, gestión de los residuos, teniendo en cuenta la identificación de las entradas y salidas de cada una.

Figura 2: Análisis del ciclo de vida.



Fuente: Bové (2016).

2.4.2. VARIABLES AMBIENTALES EN EL CICLO DE VIDA Y SUS IMPACTOS

Para analizar este proceso, se debe tener en cuenta que comienza desde la obtención de las materias primas hasta convertirse en un residuo, teniendo como objetivo disminuir e incluso evitar generar impacto ambiental en el proceso de un producto. Es por esto por lo que es importante hacer una evaluación durante cada etapa con su respectivo proceso. Para realizar esta evaluación se deben identificar las variables ambientales que se han producido en cada etapa del ciclo de vida de un producto, que comúnmente son: agotamiento de los recursos, toxicidad, se reduce la capa de ozono, acidificación del terreno (disminución del pH del suelo), efectos ecológicos a largo plazo, afectan calidad del aire y agua, entre otros, es decir, impactos que afectan de forma negativa al medio ambiente (Haya, 2016). Para realizar esta evaluación, la LCIA consta de varios estados determinados por ISO 14040. Estas etapas son:

1. Caracterización: su propósito es aplicar modelos a las categorías de impacto para obtener indicadores ambientales.
2. Normalización: Su propósito es evaluar la importancia del perfil ambiental obtenido en la etapa anterior, obteniendo resultados adimensionales que puedan compararse entre sí. Esta es una etapa clave para visualizar la importancia relativa de cada categoría de impacto.
3. Ponderación: Su objetivo es evaluar de forma cualitativa y cuantitativa la importancia de cada categoría de impacto para obtener un resultado único o índice ambiental. (Carabaño *et al.*, 2017)

2.4.3. VARIABLES ECONÓMICAS EN EL CICLO DE VIDA Y SUS IMPACTOS

En cuanto a las variables económicas de este proceso, influyen en cada etapa del ciclo de vida de un producto, ya que permite que cada etapa se desarrolle y se mida y/o cuantifique impactando de distinta manera, dependiendo del producto y de cada fase.

Estas variables permiten determinar los gastos, precios y las utilidades que se presenten en cada etapa. Los gastos que se presentan en cada parte del proceso del producto se determinan con variables las siguientes variables: los gastos de inversión y transporte. En cuanto al precio depende de la demanda, la competencia que tenga el producto y de los gastos que se presenten en el desarrollo de este. La venta de un producto pasa por distintas etapas que requieren de estrategias de comercialización para obtener ganancias de esta, presentándose oportunidades y problemas, pero depende de la etapa del ciclo de vida que el producto se encuentre (Barrios, 2017).

Las utilidades que deja el producto pueden aumentar o disminuir, esto depende de la etapa del ciclo de vida que se encuentre este.

Es importante tomar buenas decisiones y estrategias en todas las fases del ciclo, para ser más productivos y competitivos en el mercado, para obtener más ganancias del producto.

2.4.4. ANÁLISIS CICLO DE VIDA PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SEGÚN NORMATIVAS AMBIENTALES

Para llevar a cabo el análisis de ciclo de vida de los materiales a estudiar, lana de vidrio y lana de oveja, y los impactos ambientales que se generen en la producción y cumplimiento de función de estos, se recurrirá a las declaraciones ambientales de los productos identificando lo que provocan en cada una de sus etapas para así contrastar ambos materiales y determinar el óptimo. Este recurso (DAP) es confiable, ya que controlan y minimizan los impactos ambientales, esto gracias a los parámetros y normativas que se utilizan en la determinación de los efectos que provoca cada producto y en cada etapa de su ciclo de vida. Las DAP no presentan información que te permita saber si un producto es mejor que otro, pero si presenta la información del impacto ambiental que provoca el producto quedando a criterio de la persona la elección de este y la comparación de un

producto con otro. Estas declaraciones están sujetas a un administrador, pudiendo ser este del sector industrial, organismos públicos o científicos. El administrador, de manera interna o externa, debe establecer los procedimientos adecuados para verificar de manera independiente los datos del producto. Al verificar, debe contemplar los datos e inventario del análisis del ciclo de vida, de acuerdo con las normas ISO 14040 y otra si se requiere (Piña, 2018).

Según la norma UNE-EN15804:2012, clasifica las DAP en tres tipos las cuales dependen de las etapas del ciclo de vida las cuales son:

- DAP de la cuna a la puerta: se tienen en cuenta las tres primeras etapas del ciclo de vida, correspondiendo cada una a un módulo de información respectivo, siendo estas la etapa de recolección de materias primas, transporte y fabricación.
- DAP de la cuna a la puerta con opciones: se incluyen las etapas anteriores y se pueden considerar etapas adicionales teniendo en cuenta la información ambiental adicional.
- DAP de la cuna a la tumba: incluye todas las etapas del ciclo de vida: recolección de materias primas transporte, fabricación, proceso de construcción, etapa de uso y fin de vida, además, la información ambiental adicional (Piña, 2018).

En cuanto a la norma ISO14044, mencionada anteriormente, permite verificar si un material cumple con la protección al medio ambiente, salud humana o recursos de interés para la sociedad utilizando la metodología de análisis de ciclo de vida. También este permite identificar oportunidades para mejorar el desempeño ambiental del material en todas las etapas de su ciclo para así lograr una buena gestión ambiental. En el ámbito económico, esta norma también se preocupa de reducir los costos del material en todas sus fases.

La norma ISO 14044 evalúa el impacto a través del ACV mediante:

- La cantidad de uso de recursos: son las entradas como el consumo de la energía, agua, transporte y materiales primas.
- Emisiones ambientales: son las salidas como el aire, agua y suelo.
- Análisis del impacto socio económico: herramientas para obtener un aumento en la eficacia en cada una de las etapas en la vida del material (ISO14044, 2006).

2.4.5. IMPORTANCIA DEL ACV PARA CERTIFICACIONES Y ECONOMÍA CIRCULAR

El análisis del ciclo de vida es una poderosa herramienta para obtener una adecuada gestión ambiental, siendo esto, de mucha utilidad a la hora de tomar decisiones de una empresa, sola o en conjunto de con otras herramientas como la evaluación del riesgo y la evaluación del impacto ambiental. Esta herramienta entrega el conocimiento de si un producto, servicio o actividad es eficiente y los efectos que puede causar en el medio ambiente, principalmente, los que provoquen impactos significativos adversos, para así ocuparse de las responsabilidades legales, sociales y políticas que implica un producto, como también, las pérdidas económicas y la imagen de la empresa. Por otro lado, la aplicación del ACV, permite identificar si un producto, servicio o actividad, tienen oportunidades de mejora, teniendo como consecuencia un mejor desempeño ambiental de este. Es por esto, que esta herramienta, proporciona ventajas comparativas y competitivas a todos los elementos de análisis que las empresas deseen certificar sus productos con sellos ambientales o etiquetas ecológicas. La misma World Trade Organization, plantea que cada vez son más las etiquetas ambientales que basan su análisis en el ACV, siendo muy beneficioso para proteger el medio ambiente y conservar los recursos naturales, como también para reducir costos y mejorar posiciones en el mercado (Romero B.,2003).

Por otro lado, la economía circular se complementa con estrategias que permiten minimizar el consumo de recursos y desechos. Una de estas estrategias es el diseño de los productos, teniendo como objetivo en estos la no generación de residuos, sin utilizar elementos tóxicos, lo que favorece al reúso de estos y a la reutilización y reciclaje de materias primas. La economía circular junto a estas estrategias suele y deben ser validadas mediante el análisis del ciclo de vida, ya que así, se podrán optimizar estas estrategias, asegurando que el impacto ambiental tanto de los productos como servicios circulares sea realmente el menor posible (Llorach P. & Fernández J., 2018).

2.5. AISLACIÓN TÉRMICA

En un proceso constructivo, una de las instalaciones que se aplican con importancia es la aislación térmica, debido a que aísla el calor o frio, es decir, se controla la transmisión de

calor o frío siendo una barrera entre el exterior e interior, con el objetivo de mantener la temperatura adecuada en la vivienda, llegando a obtener una zona de confort. Para lograr esto, se necesitan técnicas y materiales con características específicas que eviten el paso del clima que se presente en el exterior. Con la aislación térmica se logra una eficiencia energética, ya que así se reduce la energía requerida y no se necesitaría recurrir y/o disminuir el uso de aparatos que ocupen energía, disminuyendo la contaminación al planeta. La aislación térmica es expresada por la resistencia que tenga el material al paso del calor (Palomo, 2017).

2.5.1. USOS Y CARACTERÍSTICAS DE AISLACIÓN TÉRMICA

El aislante térmico se puede utilizar en distintas partes de la vivienda, como en muros, pisos y cielos. Para lograr la aislación en estas zonas se requiere de ciertas características que posean los aislantes térmicos, en general estas son: debe tener una conductividad térmica adecuada, es decir, menor que $0,050 \text{ W/mK}$ y una resistencia mayor que $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$, calor específico del aislante, densidad, resistencia térmica, transmitancia térmica (Palomo, 2017).

2.5.2. AISLANTES TÉRMICOS MÁS UTILIZADOS EN CHILE

Al utilizar aislantes térmicos en la construcción de viviendas, ha sido fundamental en la reducción de pérdidas y ganancia de energía en el hogar, instalándose en muros, pisos y techumbres. Con esto ha ido mejorando el ambiente de la vivienda logrando bienestar y reducción de energía. Los aislantes térmicos se clasifican en tres tipos: orgánicos, inorgánicos y sintéticos (Salgado, 2019). Los orgánicos son los materiales renovables conformados por vegetales o animales, como el corcho y algodón, mientras que los inorgánicos están compuestos por una combinación de elementos de la tabla periódica, como la lana de vidrio y la perlita y, por su parte, los sintéticos, son los formados por moléculas naturales, provenientes del petróleo y de procesos químicos industriales, como el poliestireno y el polipropileno (Salgado, 2019).

En Chile los más utilizados son los sintéticos e inorgánicos, como el poliestireno expandido y poliuretano (sintéticos) y la lana de roca y lana de vidrio (inorgánicos). “El poliestireno expandido es una espuma rígida y se obtiene a partir de derivados del petróleo” (MMVU, 2014, citado en Salgado, 2019).

2.5.3. LA LANA DE VIDRIO Y SUS PROPIEDADES

La lana de vidrio es un producto fibroso y se obtiene a partir de la fundición de arena con alto contenido de sílice, adicionalmente se agrega carbonato de calcio, bórax y magnesio. La lana de vidrio está compuesta por numerosos filamentos poliméricos extremadamente finos basados en dióxido de silicio (SiO_2), un compuesto de silicio y oxígeno llamado comúnmente sílice, que junto a otros materiales forma la arena y es usado entre otras aplicaciones para producir vidrio o fibra óptica. Se utiliza como aislante térmico y como refuerzo de productos poliméricos. Sus propiedades son: es muy flexible, no se pudre con facilidad, es compatible con materias orgánicas, bajo coeficiente de dilatación, incombustible, permeable a ondas electromagnéticas, alta adherencia a la fibra-matriz, resistencia mecánica, entre otras (Sarrión, 2018).

2.5.4. LA LANA DE OVEJA COMO AISLANTE TÉRMICO Y SUS PROPIEDADES

La lana de oveja es un recurso natural obtenido de la piel de los animales vivos, compuesta de una proteína denominada queratina (Pizarro, 2020). También tiene alto contenido de nitrógeno, siendo ésta una propiedad que hace que sea difícil de inflamar en caso de que se exponga al fuego, ya que sólo produce chispas que se auto extinguen, por tanto, este material se ha utilizado como aislante térmico, debido a su resistencia, alto rendimiento térmico, a sus propiedades inherentes al fuego, no irrita la piel humana, regula la humedad y la calidad del aire de la vivienda, es reciclable y, además, 100% natural, aportando un bienestar a las personas y logrando un confort térmico en el hogar (Pizarro, 2020).

En cuanto a su producción, “Una oveja Merino puede producir durante toda su vida entre 45 y 60 kg” (Benedí, 2013, citado en Pizarro, 2020), y no requiere de gran consumo de energía.

La lana de oveja tiene propiedades que permiten que esta pueda utilizarse como aislante térmico para distintas edificaciones, cumpliendo con la función deseada, en comparación con otros aislantes convencionales, llegando a obtener confort térmico en la vivienda. La lana de oveja está compuesta por dos proteínas, llamadas queratina y lanolina, siendo la primera, “un polímero elemental que presenta la siguiente composición química: 51% de carbono, 17% de nitrógeno, 22% de oxígeno, 7% de hidrógeno y 3% de azufre” (Rivero, 2016, p. 5). “Protege

el cuerpo del medio externo y es por ello insoluble en agua. Esta proteína por su estructura aporta elasticidad, resistencia y hace que la lana sea esponjosa” (Pizarro, 2020, p. 5). Y la segunda es una “sustancia de aspecto graso con la misión de envolver cada fibra con una película impermeable dando una coloración amarillenta” (Pizarro, 2020, p. 5). Este material es muy amigable con el medio ambiente, ya que al ser utilizado sustituyendo otro material aislante, disminuye el impacto ambiental al ser un recurso natural (Pizarro, 2020).

2.5.5. GESTIÓN DE RESIDUOS DE AMBOS AISLANTES TÉRMICOS

El sector de la construcción es una de las industrias que genera importantes cantidades de residuos, como se mencionó anteriormente, si bien, la gestión de estos no ha sido la adecuada. Se generan grandes cantidades de desechos en materiales ya sea por pérdida o por deterioro. Uno de estos ejemplos es la lana de vidrio, que al deteriorarse se separan las partículas causando daño a la salud al inhalar, en la piel y ojos. Cuando la integridad de la lana de vidrio se ve perturbada por la humedad o algún agente externo que deteriore su estructura, las fibras se fraccionan en pequeñas partículas, y este desprendimiento provoca una contaminación por deposición aleatoria homogénea sobre áreas aledañas a la fuente de contaminación (Justavino, 2013).

Los productos como la fibra de vidrio o lana de vidrio tienen presencia de polímeros termoplásticos y termoestables. Los primeros se deforman con el calor, solidificándose al enfriarse y se pueden volver a utilizar, es decir, se denominan plásticos reciclables. En cambio, los termoestables se deforman por calor y presión, pero las moléculas se entrecruzan entre sí, entregando un plástico más rígido y resistente al calor que los termoplásticos, pero también más frágil. No pudiendo ser reprocesados después de haber sido conformados ya que sus enlaces no se rompen al volver a calentarlos. Estos poseen una gran dificultad para su degradación, pudiendo permanecer en el medio ambiente hasta 1000 años (Pardo, 2020).

En cambio, la lana de oveja, al ser biodegradable, es decir, se descompone por agentes de la naturaleza y no está impactando al medio ambiente, lo que no genera residuos tóxicos.

2.6. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA CIUDAD DE RENGÓ

Las características climáticas que se presentan en la ciudad de Rengó dependen de la estación del año que se encuentre, ya que varían entre cada una de estas, pero comúnmente se presenta un clima templado cálido. En cuanto a la estación de verano, se presenta en Rengó con un ambiente caluroso, seco y principalmente despejado. Por el contrario, los inviernos son fríos, lluviosos y parcialmente nublados.

La temperatura durante el transcurso del año en esta ciudad fluctúa de 5°C a 29°C, y en menor frecuencia disminuye a menos de 1°C (en invierno) o aumenta más de 32°C (en verano).

El tipo más común de precipitaciones que se presenta durante el año en Rengó es solo lluvia. La temporada de lluvia dura 6.9 meses (marzo a octubre) y el periodo del año sin lluvia dura 5.1 meses (octubre a marzo).

En cuanto a la duración del día, varía durante el transcurso del año, por ejemplo, en este año 2022 el día más corto es el 21 de junio, con 9 horas y 51 minutos de luz natural, por el contrario, el día más largo es el 21 de diciembre, con 14 horas y 28 minutos de luz natural (Weatherspark, s.f.).

2.6.1. ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO EN PROYECTO DE VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE RENGÓ

El acondicionamiento térmico es una característica de una vivienda que consiste en que la conductividad térmica disminuya dentro de un elemento de construcción para que se evite el intercambio de calor entre el exterior y el interior de la vivienda. Esto ocurre debido a que se construye o mejora con tecnología los puentes térmicos de algunas zonas de la vivienda como: techumbres, muros, pisos, ventanas y puertas. Estas zonas pertenecen a la envolvente térmica siendo estos los cerramientos que limitan los recintos habitables del exterior. La envolvente térmica es fundamental para obtener el bienestar interior, debido a que protege a los habitantes del clima desfavorable que se presenta en el exterior de la vivienda. Idealmente es que esta se adapte a las condiciones climáticas tanto de día como de noche y también, a cada estación del año.

El objetivo principal de la envolvente térmica es poner límite al flujo de energía entre el interior y el exterior de la vivienda, o al contrario, es decir, a la transmitancia térmica. Para profundizar más este concepto, consiste en lograr la reducción de pérdida de calor en tiempos de frío como en el invierno, donde ocurre por medio de la conducción de energía. Es por esto por lo que se requieren materiales que tengan baja conductividad térmica, es decir, que sean capaces de impedir el paso del calor, llegando a ser un material con alta resistencia térmica (Schepp, F., et al., 2016)

2.7. METODOLOGÍA DE SELECCIÓN POR VENTAJAS

Para que un proyecto sea confiable se deben tomar decisiones que permitan hacer sentir seguro a la persona que debe elegir la opción adecuada de acuerdo con lo que se requiera. Es por esto que existe una metodología que permite realizar una elección de esta manera, denominada Metodología de Selección por Ventajas o Choosing By Advantages (CBA), la cual que consiste en seleccionar la mejor alternativa que se presente a través de criterios que permitan obtener una solución certera minimizando el riesgo de cometer errores y evitando posibles soluciones (Moreno & López, 2021).

Para esto primero se debe definir el problema en estudio describiendo las condiciones iniciales y deseadas. Luego se determinan los requisitos que cualquier solución aceptable al problema debe cumplir. Se establecen objetivos siendo estos las intenciones y valores programáticos que se desean obtener. Para esto se necesita identificar las alternativas las cuales tienen distintos enfoques para cambiar la condición inicial a lo que se desea, lo cual se deben definir criterios que se basan en los objetivos, siendo capaces de discriminar entre las alternativas y a la vez apoyar la comparación de su desempeño. Estos criterios también permiten ordenar, diferenciar y obtener un balance entre el optimismo y pesimismo de los posibles recursos a evaluar. Teniendo esto se utiliza el método de toma de decisiones, para posteriormente, calificar las alternativas con una escala de medición predeterminada, para así clasificar la mejor alternativa.

En cuanto a la ponderación de los criterios, debe ser común para los criterios en estudio, para que así se pueda considerar como una base igualitaria y poder evaluarlas. La ponderación más común es la escala de 1 a 5, siendo 5 la mejor opción y, una vez aplicada la escala de

valoración y se haya asignado una ponderación a cada criterio, se multiplica el valor de la ponderación con respecto al valor que se le calificó a cada alternativa. Luego se suma cada multiplicación de la fila de cada alternativa, obteniendo una respuesta clara de la mejor opción y, finalmente, se valida la alternativa seleccionada, verificando si cumple el estado deseado, requisitos y alcanza de la mejor manera los objetivos (Martins J, 2021).

3. CAPITULO N°3 - DESARROLLO

3.1. RECURSOS: MATERIALES Y ENERGÉTICOS

Para realizar el análisis del ciclo de vida de un producto se requieren de ciertos recursos que permiten el desarrollo de este, es decir, de todo el proceso que necesitan desde su creación hasta finalizar su ciclo. Uno de estos recursos son las materias primas para así lograr la creación de los materiales requeridos por cada productor o el cliente en sí. Otro tipo de recurso son los energéticos, que son fundamentales durante todo el ciclo de vida de un material. En cuanto a la producción de este recurso es necesario tener métodos de medición, para poder cuantificarlas y caracterizarlas debido a los impactos que provocan al medio ambiente.

Las fuentes de energía más utilizadas en el proceso de cada producto son comúnmente las fósiles no renovables como: gas, carbón, petróleo, entre otras, principalmente utilizadas como energías primarias (Herrera, 2012). Al transformarse aparecen las energías secundarias las cuales son: “electricidad, gases, gas licuado, diésel, fuel, naftas, carbón vegetal, etc” (Herrera, 2012, slide 16). Finalmente se llega a una energía disponible, siendo menor a la que desde un principio se tenía, debido a que se presentan pérdidas en la transformación, distribución y en el consumo propio de estas (Herrera, 2012). En las etapas del ciclo de vida esta energía se utiliza para “calefacción, calor para procesos, luz y potencia mecánica” (Herrera, 2012, slide 16).

3.2. CICLO DE VIDA DE LA LANA DE VIDRIO

Hasta la actualidad, la lana de vidrio es un material que forma parte de las soluciones constructivas usadas en construcciones habitacionales e industriales, usándose como aislante acústico y/o térmico.

En cuanto a su ciclo de vida requiere de recursos energéticos y materias primas desde su formación donde estas últimas se extraen, se procesan, se seleccionan para finalmente transportarlas a la planta de fabricación de estas (Isover, s. f.a). Luego se transportan a los distribuidores para así llevarlas al lugar de construcción e instalarlas en la edificación y, cuando ya se encuentra instalado este aislante, comienza la etapa de uso, donde se inicia la etapa de mantenimiento, reparación o sustitución, dependiendo de lo que necesite realizarse (Isover, s. f.a). Al pasar el tiempo, procede la etapa de fin de su vida útil, ya sea por demolición, desmontaje, sustitución, entre otros, lo que puede llegar a rescatarse, procesando sus componentes para así recuperarlos, reutilizarlos, reciclarlos o disponerlos como un residuo (Isover, s. f.a).

A continuación, se especificará cada etapa del ciclo de vida de la lana de vidrio.

Para iniciar este proceso se encuentran las entradas de este, en donde se determinan los recursos a utilizar para dar inicio al ciclo de vida del material. En este caso, para la creación de la lana de vidrio se requiere de recursos naturales, agua y energía, para así, poder ocupar de estos, en todo el proceso de su ciclo de vida (Isover, s. f.a).

- **Extracción y proceso de materias primas**

La primera etapa del ciclo de vida de la lana de vidrio trata de reunir las materias primas minerales extraídas principalmente de la naturaleza. Estas materias primas son: arena de cuarzo, caliza y bórax, y también, vidrio reciclado. Luego de haber obtenido estos materiales, se llevan a procesar comenzando por la molienda de estos y la dosificación, lo que permite obtener una administración de las cantidades de cada material (Muñoz, 2020).

- **Transporte**

En la etapa de transporte se puede presenciar que se requiere en varias etapas del ciclo de vida de la lana de vidrio, comenzando por el transporte de las materias primas a la planta de fabricación, en donde las materias primas ya procesadas se llevan a la planta para poder fabricar la lana de vidrio en su totalidad. Luego de ser fabricada la lana de vidrio, se presenta el transporte en llevar este aislante a los puntos de distribución, en donde ya empaquetada la lana de vidrio se lleva a la venta de este material. Luego se necesita de transporte para llevarla a los lugares de construcción donde será instalada, incluyendo el traslado desde la fábrica hasta la obra y también, se considera el transporte del desperdicio de material en obra, donde el aislante cumple su vida útil, teniendo en cuenta el antes del procesado de residuos y también en este, es decir, en la recogida para su reciclaje, recuperación o vertido.

El transporte se calcula en base a parámetros y teniendo en consideración el valor de estos. Estos parámetros son: tipo de combustible, tipo de transporte con su respectivo consumo de combustible, distancias, capacidad de uso del transporte (se incluye en retorno del transporte sin carga), densidad aparente del aislante y el factor de capacidad de uso (en volumen) (Saint Gobain, 2018).

Al utilizar esta herramienta se determina el consumo de energía y las emisiones de CO₂ al medio ambiente, lo que es perjudicial afectando tanto a la naturaleza como a la humanidad.

- **Fabricación**

Posteriormente, se presenta la etapa de fabricación de la lana de vidrio, en donde se mezclan las materias primas ya procesadas, obteniéndose el crudo de esta. Una vez mezclados, se fusionan en hornos eléctricos, donde la electricidad se genera con grandes electrodos que calientan la mezcla de las materias primas transformándolas en vidrio fundido con una temperatura de 1450°C. Cuando el vidrio se va fundiendo pasa por un agujero llegando hasta el fondo del horno. Para continuar con el proceso, se realiza el conformado mediante un proceso de fibrado con una velocidad alta y que por medio de giros transforma el vidrio fundido en fibras, esto se realiza en un cilindro giratorio que consta de varios agujeros o hileras en los lados de 1mm de diámetro aproximadamente, lo que este giro hace que el vidrio salga por los agujeros, separándolos en delgados hilos de vidrio. Cuando las fibras salen una

corriente de aire las enfría y las empuja hacia abajo. Se dejan descansar en capaz de 30 cm de grosor y 2 metros y medio de ancho, luego apilan esas capas de a tres.

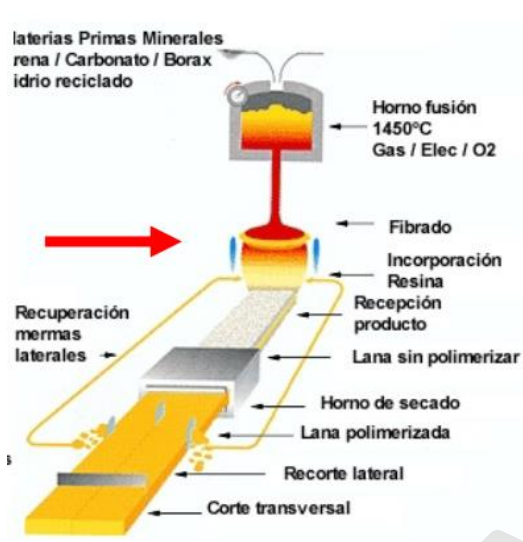
Antes del siguiente paso, tratamiento térmico, se les agrega una resina aglutinante a las fibras minerales, provocando la adherencia de las fibras entre sí y obteniendo la lana sin polimerizar. La resina anteriormente nombrada polimeriza mediante una corriente de aire caliente a una temperatura entre 250 a 300 °C en un horno de secado y se transforman en un elemento termoestable, llegando a obtener la lana polimerizada, es decir, la lana de vidrio. Esta resina también le da el color amarillo.

Cuando la lana de vidrio sale del horno de secado, se dirige a un túnel de enfriamiento, enviando aire para obtener en esta, una temperatura ambiente.

En el proceso de acabado, para obtener las piezas se realizan cortes transversales con cuchillas giratorias radiales, obteniendo un ancho de 37 cm. También se realizan cortes laterales con cierra de cinta, obteniendo un grosor 10cm de cada una. Una vez cortadas, finalmente, se cubre un lado con un papel madera que posee un revestimiento asfáltico, en un rodillo calentado a 160°C derritiendo el asfalto para que se adhiera a la lana de vidrio, este asfalto proporciona al aislante una barrera contra la humedad, evitando que moho cubra los muros. Una vez adherido el asfalto, una guillotina corta las tiras de aislante en piezas individuales, obteniendo las medidas de cada pieza de 2,40 m de largo.

Para finalizar este proceso, en cuanto al almacenaje, ya cortada, esta se enrolla y se empaqueta (Muñoz, 2020).

Figura 3: Proceso de producción de lana de vidrio.



Fuente: (Asociación de fabricantes españoles lanas minerales aislantes, 2019).

- **Distribución**

En esta etapa el material se lleva a las obras que requieran de este, considerándose desde la salida de la fábrica hasta la obra, incluyendo parámetros como el combustible, consumo del vehículo, tipo de vehículo, distancia, capacidad del transporte; incluyendo los retornos sin carga y densidad del producto transportado.

- **Instalación**

En cuanto a su instalación en la edificación no requiere de utilización de agua ni energía. Se presentan residuos generados durante el proceso de la instalación del producto, tanto material como su envoltorio, sin embargo, no se presentan emisiones a la atmósfera, suelo ni agua y no tiene necesidad de mano de obra especializada (FDE&S, 2018).

- **Uso y mantenimiento**

Para esta etapa no se necesita operación técnica durante la fase de utilización hasta el fin de su vida útil, lo que, de manera positiva, se ahorra energía en esta fase.

Esta etapa se divide en 7 módulos, estos son: utilización o aplicación del producto instalado, mantenimiento, reparación, sustitución, rehabilitación, necesidades de energía en la fase de utilización, necesidades de agua en la fase de utilización (FDE&S, 2018).

Este material tiene diversos usos como, comercial, administrativo, docente, sanitario, residencial e industrial, instalándolos en distintas posiciones, es decir, fachadas, suelo, techos, muros divisorios, cubiertas, puertas, mamparas, cerramientos exteriores, forjados y protección de estructuras, tanto en una construcción nueva como en la rehabilitación de una.

Figura 4: Uso aislante lana de vidrio en vivienda.



Fuente: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2012).

- **Fin de vida útil: reciclaje y escombros**

En la etapa de finalización del ciclo de vida de la lana de vidrio, esta puede convertirse en un residuo o en un material reutilizable, dependiendo de la condición que se encuentre el producto y verificando si existe la posibilidad de recuperarlo, con el objetivo de disminuir el impacto al medio ambiente. La influencia al medio ambiente se produce por demolición de la edificación, desmontaje, sustitución del aislante, entre otros.

Este aislante se considera un material reutilizable y reciclable, logrando esto, con planes de gestión de residuos obteniendo una adecuada recogida, clasificación y procesamiento de este material para así, convertirlos en un nuevo aislante de lana de vidrio o para la fabricación de nuevos productos útiles, por ejemplo: ladrillos (isover, s. f.a).

En cuanto a la determinación de salidas de este ciclo, se debe identificar las emisiones que se generan desde el principio hasta el fin de este proceso, debido a que pueden o no ser contaminantes para el medio ambiente y perjudicial para la salud de las personas. En este caso las salidas que se producen son en el agua, aire y suelo, teniendo como consecuencia, la contaminación que se presenta en estas. Como se mencionó anteriormente, algunos recursos se pueden reciclar, obteniendo la disminución de impactos en el medio ambiente (Saint Gobain, 2018).

3.3. CICLO DE VIDA DE LA LANA DE OVEJA

La lana de oveja es un recurso que ha sido utilizado con facilidad en la construcción de viviendas como aislante térmico natural durante siglos, siendo este, eficiente en su función y a la vez, cuidando el medio ambiente y la salud de las personas. Este recurso es termorregulador natural gracias a sus propiedades higroscópicas, es decir, al aumentar la temperatura en el exterior de la vivienda, las fibras se calientan, liberan humedad hasta enfriarse, para así obtener un ambiente fresco, como también se obtiene un ambiente cálido cuando ocurre lo contrario, es decir, al disminuir la temperatura en el exterior de la vivienda, las fibras se enfrían, absorben humedad y así, se obtiene un ambiente cálido. Por otro lado, al ser transpirable, permite que la vivienda respire creando ambientes secos y evitando daños a otros materiales que compongan los cierres de la vivienda (Galindo, 2016).

En cuanto a su ciclo de vida, al ser un recurso natural, no necesita de un proceso que necesite de tantos medios para su obtención, para ser más específica, en su desarrollo la oveja requiere de su alimentación para que esta crezca y sacar su lana una vez al año, esto beneficia tanto al comprador de la lana como a ella, ya que evita que la oveja tenga bacterias y también aliviarla del calor en el verano. En el proceso de obtención de la lana de oveja como aislante térmico en la construcción, esta necesita de un tratamiento desde la obtención de la materia prima, tratamientos específicos, transformación en formatos para su instalación, incluyendo transporte en cada etapa, hasta el fin de su utilización, por este puede ser de manera artesanal como industrial.

Figura 5: Esquema sobre el análisis de ciclo de vida de la lana de oveja.



Fuente: Societat Orgànica (SO) (2008)

La lana de oveja está compuesta de proteínas e hidrocarburos de naturaleza grasa. Una de las proteínas es la Queratina, que está compuesta de “51% de carbono, 17% de nitrógeno, 22% de oxígeno, 7% de hidrógeno y 3% de azufre” (Rivero, 2016). Esta protege el cuerpo de la oveja del medio externo siendo insoluble en agua (Rivero, 2016). “Esta proteína por su estructura aporta elasticidad, resistencia y hace que la lana sea esponjosa” (Rivero, 2016, p. 79). Otra proteína que es parte de esta composición es la Lanolina, que es una sustancia de aspecto graso que envuelve cada fibra con una impermeable dando una coloración amarillenta (Rivero, 2016).

Por otro lado, “una sola fibra de lana puede tener un diámetro que mide entre 12 y 120 μm (micras) de espesor” (Rivero, 2016, p. 78). La longitud varía entre los 20 y 350 mm, dependiendo de la raza y la frecuencia de esquila de la oveja (Rivero, 2016).

- **Extracción de materias primas: esquila y recogida**

Para comenzar este proceso, se requiere de la obtención de la materia prima siendo esta, de color gris o blanca. Se debe analizar los recursos necesarios para lograr su recolección. Las ovejas se esquilan generalmente en los meses de primavera o verano, esto, ocurriendo dos veces al año o tres veces en dos años, permitiendo que la oveja tenga una lana corta y limpia, y a la vez, consiguiendo una buena calidad de lana, se debe tener presente el tiempo y la frecuencia del corte de esta, debido a que puede tener una gran influencia en las características de la fibra de la lana. Luego se extrae la lana, realizando esto una vez al año, entre los meses de mayo y junio. Naturalmente, la lana se desprende de la oveja para esta aclimatarse para la nueva estación.

Para determinar la cantidad de lana que se adquiere de una oveja depende de la especie, pero aproximadamente una oveja del tipo Merina proporciona anualmente entre 3 a 5 kilos de lana. Se debe tener en cuenta que, para conseguir 1 kilogramo de lana limpia, se necesitan 2 kilogramos de lana sucia, refiriéndonos a esta última, a la lana que no ha recibido ningún tipo de tratamiento. La lana sucia se almacena en los centros de recolección, siendo comprimida en sacos con una densidad aproximada de 1000 kg/m³. Luego en el centro de transformación esta pasa a través de una cargadora que abre la lana para poder sacar la grasa que esta posea.

La lana sucia se almacena comprimida en sacos con una densidad aproximada de 1000kg/m³. Una vez en el centro de transformación pasa a través de una cargadora que abre la lana para poder proceder a la extracción de grasa.

- **Traslado**

En esta etapa se necesita trasladar la lana sucia extraída al centro de lavado para seguir con los tratamientos que requiere para poder cumplir de forma correcta la función de aislante térmico. Un caso es el ocurrido en España, que se transporta desde Zaragoza hasta Guarda, Portugal (Rosas, 2016). La distancia que se recorre es de 695 k, llevando lana sucia con una densidad de 1.000 kg/m³ y un camión de 25 Tn (Rosas, 2016).

Para esta etapa, el desafío está en lograr una “cadena de producción en la que se pueda evitar estos desplazamientos, con lo que se ahorra tiempo, medios y se evita la contaminación y uso de recursos” (Rosas, 2016, p. 25).

- **Lavados**

En este proceso, la humedad es muy importante, tratando de obtener una humedad relativa de 70 a 75%, para lograr el aumento de su elasticidad y eliminar los efectos de extracción de fricción entre las fibras (Pizarro, 2020). Cabe destacar que la lana seca no da buen resultado en el cardado, peinado, el estirado y el hilado, para esto se le adhiere humedad para disminuir la rotura de las fibras, la electricidad estática y para conseguir un hilo más fino en la hilatura (Pizarro, 2020).

Cuando la lana llega al reactor o unidad de desengrasado, se procede al lavado de la lana en una circulación de baños de disolvente que permite la extracción de la grasa que se encuentra

en la fibra y, al terminar este proceso, el disolvente se recupera, luego este se filtra para volver a usarlo y la grasa se utiliza en cosméticos, farmacéuticos o usos técnicos industriales (Pizarro, 2020). Al encontrarse la lana desengrasada, se somete a un proceso térmico-mecánico de espolvoreado previo al proceso de aclarado acuoso permitiendo la obtención de polvo para uso agrícola y la lana lava para usos textiles y fabricación de aislamientos.

Para continuar con el proceso, se sigue con el lavado de lana con jabón, “que consiste en un esponjado inicial mediante una máquina específica y posterior lavado con agua caliente” (Pizarro, 2020, p. 10), incorporando un detergente biodegradable, siendo una etapa esencial, para la eliminación de impurezas (Pizarro, 2020).

En este proceso se destaca el fregado, por lo que siempre “se debe lavar la lana antes de seguir procesándola” (Pizarro, 2020, p. 10). El agua que se utiliza debe estar caliente para lograr disolver las grasas, esta se debe encontrar a una temperatura de 65°C aproximadamente y, junto con ello, se debe agregar detergente para eliminar la suciedad de las fibras y emulsionar las grasas, para que estas no se peguen otra vez (Pizarro, 2020).

- **Tratamientos**

Los tratamientos que se requieren en el proceso la lana de oveja para ser utilizada como aislante térmico, se debe llevar a cabo la higienización y tratamiento a la resistencia al fuego. El primero consiste en atacar los insectos, para esto hay dos tratamientos, uno basado en los biocidas, que consiste en agua oxigenada en 2% y el otro, se utiliza permetrina en 0,350 ppm/kg (Rivero, 2016). Con respecto al fuego, se utilizan las sales de bórax 13%, que sirve como retardante del fuego, aunque la lana debido a que en su composición cuenta con nitrógeno, aproximadamente de un 17%, ya cuenta con cierta resistencia al fuego, y su punto de inflamación, además, es de 560°C lo que les da otro punto adicional a sus características (Rivero, 2016).

En cuanto a la permetrina, esta es una sustancia química sintética que se utiliza en todo el mundo como insecticida, acaricida, repelente de insectos y piojos (Rivero, 2016). Esta se degrada con rapidez en suelos y agua por vía microbiana en 38 días aproximadamente.

Por otro lado, el bórax se biodegrada por naturaleza, siendo soluble en agua y lixivia normalmente en el suelo. Se descompone al calentarla intensamente por encima de 400°C produciendo meta boratos.

- **Manteado**

Luego se procede al cardado, que trata de pasar la lana por unos rodillos cubiertos por cerdas finas o dientes de alambre fino, que permiten que la lana se desenrede, no tenga grumos ni grapas poniendo las fibras paralelas formando una fina red.

Posteriormente se sigue este proceso con el estirado con alfileres con el objetivo de alinear aún más las fibras a un estado más paralelo que el anterior estado, permitiendo un hilo semi-peinado a partir de la hiladora. Esta etapa del proceso consiste en que el estirador toma varias hebras a la vez, las combina y estira la fibra hasta obtener una hebra más uniforme.

- **Obra y uso**

La lana de oveja se debe almacenar e instalar protegiéndola de la lluvia y de la humedad, para evitar que se moje y no pierda sus propiedades. Al realizar la instalación de estos mantos de lana de ovejas son ligeros, trabajables, fáciles de transportar y se pueden recortar fácilmente con herramientas simples. Para obtener una buena durabilidad de las propiedades aislantes térmicas, se colocará con una barrera de vapor dependiendo de las características de cada zona climática. Su colocación en horizontal o con ligera inclinación no necesita ser fijado, mientras que su instalación vertical se fija el material a los soportes, estructura de madera o juntarlas utilizando grapas. (RMT-NITA, s.f.)

Al momento de realizar la instalación del material aislante térmico, se debe considerar lo siguiente:

- “No comprimir la Lana Fibra de Oveja debido a que disminuye su espesor, el aire retenido en su interior lo cual modifica sus propiedades térmicas” (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, s. f., 1. Instalación material aislante térmico, párr. 5).

- “En elementos del muro tales como cajas de distribución, cañerías y conductos se deberá colocar el material aislante con precisión alrededor de dichos elementos y entre los mismos” (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, s. f., 1. Instalación material aislante térmico, párr. 6).

- “Para el corte de la lana fibra de oveja se recomienda la utilización de tijeras” (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, s. f., 1. Instalación material aislante térmico, párr. 7).

“Finalizada la instalación del material aislante térmico sobre la superficie del muro, el I.T.O. deberá verificar que no existan aberturas ni huecos sin material aislante. En caso de existir será necesario rellenar estas aberturas con el mismo material aislante” (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, s. f., 1. Instalación material aislante térmico, párr. 8).

En cuanto a temas de salud de la persona que realice su instalación, a diferencia de otros aislamientos, la lana de oveja es más fácil de instalar, ya que no produce irritación en la piel, ojos ni vías respiratorias, lo que no produce peligro en la salud de las personas, tanto para el equipo de instalación como para los ocupantes de la edificación, siendo su toxicidad muy baja (Galindo, 2016). Por lo anterior, se beneficia la instalación ya que será más rápida, segura, económica y de menos impacto ambiental, debido a la omisión de utilizar ropa de protección personal especial (buzos desechables, mascarillas, protección para los ojos y manos).

- **Demolición: vertedero y reciclaje**

Este material es un producto natural renovable y puede ser reciclada, debido a que algunos fabricantes la utilizan para fabricar parte de subproductos de la industria de la piel y textil, por ejemplo, colchones (Alvarado *et al.*, s. f.). También es reciclable, ya que la fibra se puede recuperar de la demolición de edificaciones, para una vez tratada, incorporarse al ciclo de fabricación de nuevos formatos de placa o mantos (Alvarado *et al.*, s. f.). Esta recuperación y posterior incorporación al ciclo productivo del material aislante térmico hacen que se pueda considerar un material reutilizable. Esto contribuye a la reducción del consumo de recursos no renovables y la generación de residuos sólidos en la construcción, considerando a este aislante térmico, un material reciclado (Segura J., 2018)

Es importante prestar atención al finalizar la vida útil de este aislamiento, ya que lleva un adhesivo de polietileno y sales de bórax, siendo estas, no compostables y tarda semanas o días en desintegrarse, incluso el adhesivo puede llegar a permanecer miles de años en la naturaleza, siendo esto muy negativo (Rivero, 2016). Es importante no arrojar en vertederos y procurar reutilizar o reciclar este producto, en última opción, llevarlo a un vertedero controlado (Rivero, 2016).

3.4. VARIABLES AMBIENTALES Y ECONÓMICAS PARA EVALUAR

Si bien se menciona anteriormente que existen diversas variables que se identifican en el momento de analizar el ciclo de vida de un producto, teniendo como consecuencias tanto positivas como negativas, dependiendo del producto a analizar y llegar a determinar qué tan dañino es para el medio ambiente relacionándolo a la vez con los costos que se puede llegar a tener. En este caso se analizarán variables ambientales de manera más específica las cuales son: consumo de energía en fabricación, emisiones CO₂ en fabricación, efectos en ambiente fin de vida útil, reciclable y consumo de agua. La elección de estas variables ambientales a evaluar se debe a que se consideró que eran los más significativos para este caso de estudio y por ser los recursos que hoy en día se ven más afectados (Olivera, a., Cristobal, s., Saizar, c., 2016).

En cuanto a las variables económicas se analizarán las siguientes: costos de energía en fabricación, costos combustibles para transporte y costo comercial aislante (Chile). Para realizar esta evaluación es importante tener en consideración las siguientes características de los aislantes a analizar, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1: Características de factores a evaluar en los aislantes

Factores Aislantes	Lana de vidrio (LV)	Lana de oveja (LO)	Fuente Directa
Espesor (mm)	50	50	(Menconi M. & Grhoman D.,2014).
Densidad (kg/m3)	12	15	(Ministerio de Viviendas y Urbanismo, s.f.)
Formato	Manto (rollo)	Manto (rollo)	(Menconi M. & Grhoman D.,2014).
Conductividad (w/mk)	0,043	0,045	LV: (AYRSA, 2016) LO: (Ministerio de Viviendas y Urbanismo, s.f.)

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los factores expuestos en la tabla anterior, se puede identificar que son similares a su capacidad de aislar el calor o frio y de los formatos que se presentan. Estos aislantes se presentan en distintos formatos, pero en este caso, se evaluará en mantos con el espesor indicado.

3.5. CASO DE ESTUDIO: MURO TIPO DE VIVIENDA DE LA CIUDAD DE RENGÓ

Para realizar la selección de la vivienda tipo en la comuna de Rengo, se hizo una búsqueda en portales inmobiliarios tales como Yapo, Toc-toc, Doomos, Portal inmobiliario, entre otros, para así identificar ciertas características de las viviendas que se ofrecen en esta comuna.

Se seleccionaron factores generales que permiten identificar como son las viviendas en Rengo, lo cual estos son: dimensión de la vivienda, distribución, acondicionamiento, cantidad de ocupantes y con qué tipo de construcción se fabrican.

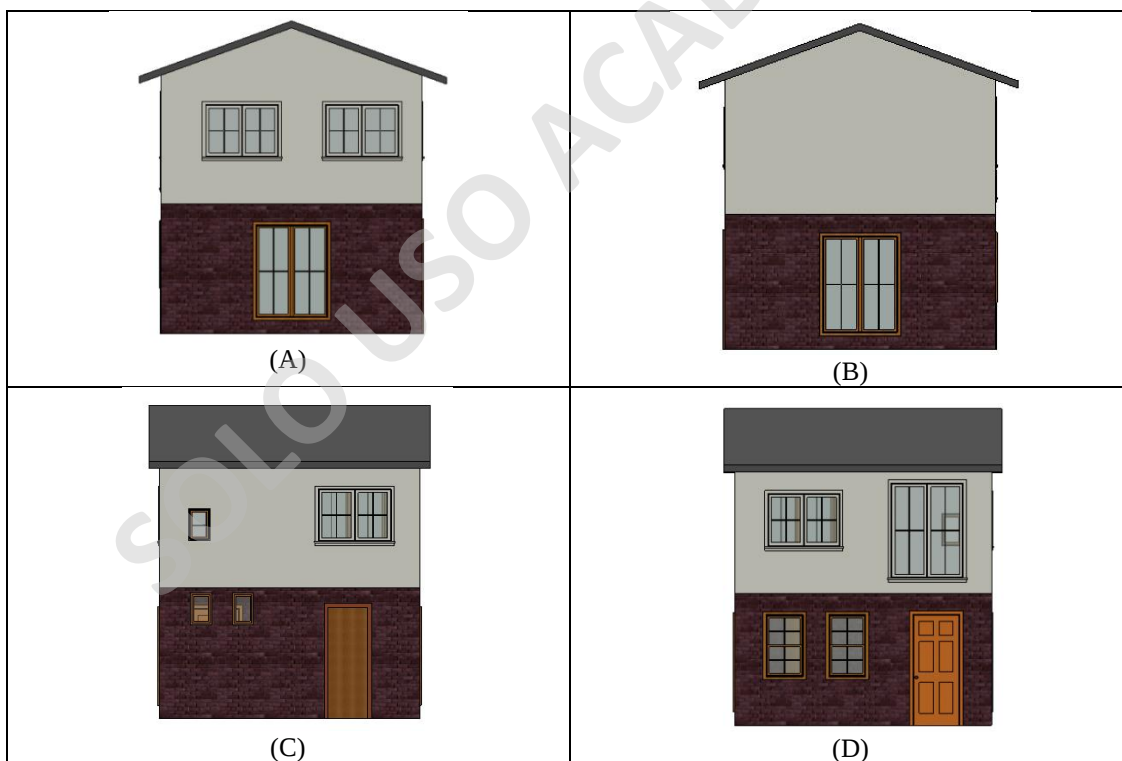
Al revisar el Anexo 1 y 2, se pueden identificar los factores que permiten caracterizar una vivienda, por lo cual, se realizó una comparativa de viviendas que se encuentran en Rengo como se muestra en las tablas.

Luego de analizar esta información, se identificó qué recurso se repite más al comparar cada vivienda, llegando a obtener las siguientes características:

- Casa de dos pisos, 4 ocupantes, ventanas de aluminio, 55 m² por piso (siendo este el promedio), piso en sectores comunes de cerámica y en dormitorios de piso flotante.
- Primer piso: ladrillo, aislante, panel yeso cartón. Compuesto de 1 dormitorio, 1 baño, living-comedor y cocina.
- Segundo piso: paneles de yeso-cartón con estructura de Metalcon, 2 dormitorios, 1 baño y una sala de estar.
- Se considera como ubicación de la vivienda cerca del centro de la ciudad de Rengo, en la calle Balmaceda con calle Chapetón, lo cual se distribuirán los materiales necesarios a esta ubicación.

A continuación, se presenta la vivienda tipo de Rengo con vista de sus muros laterales, trasero y frontal:

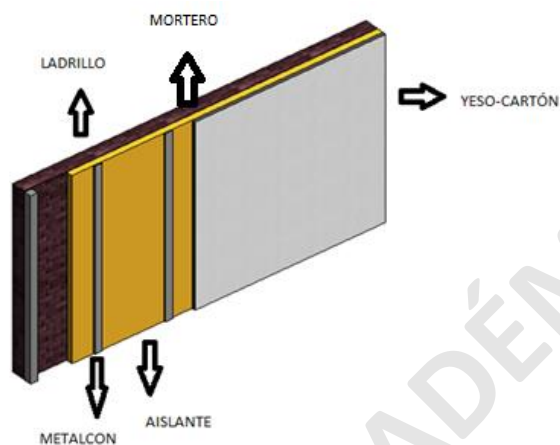
Figura 6: Vivienda tipo de Rengo vista de muro frontal (A), trasero (B) y laterales (C).



Fuente: Elaboración propia.

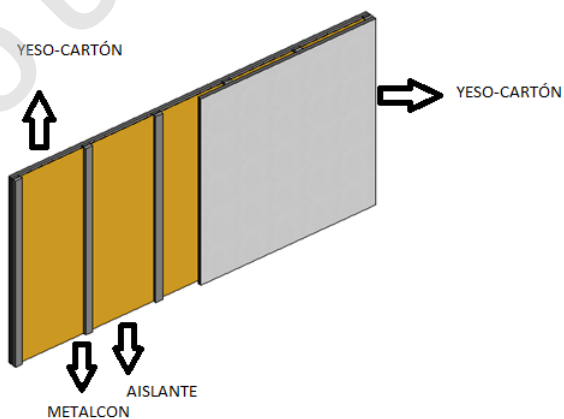
Con estas características se definen los muros de una vivienda tipo para posteriormente realizar una evaluación de los aislantes térmicos. A continuación, se presentan dos figuras que muestran el levantamiento del muro de la vivienda tipo con sus respectivas características:

Figura 7: Muro del primer piso de la vivienda tipo de la ciudad de Rengo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8: Muro del segundo piso de la vivienda tipo de la ciudad de Rengo.



Fuente: Elaboración propia.

3.6. METODOLOGÍA DE SELECCIÓN POR VENTAJAS Y VALORIZACIÓN

Para analizar las variables ambientales y económicas que se mencionaron anteriormente, se recopiló información de cada una de ellas en sitios web en las fases del ciclo de vida de cada aislante, escogidas estas debido a que hoy en día hay una gran cantidad de consumo de estas y, si se quiere obtener una mejora medioambiental, se busca reducir su consumo (Chávez O., 2021). También se consideran ciertas etapas del ciclo de vida debido a que son las más impactantes en términos ambientales y económicos, principalmente la etapa de fabricación (Susunga J., 2014).

Por otro lado, en la etapa que se produce mayor consumo de estas variables es en la etapa de fabricación en cuanto a consumo de energía y de agua, y donde se provoca mayor emisión de CO₂.

Esta metodología consiste en dar valorización según la cifra que genere cada variable ambiental con una escala de 1 a 4, como se muestra a continuación:

Tabla 2: Escala de valorización de impactos que genere cada variable

Puntuación	Descripción
1	Genera mayor impacto
2	Gran impacto
3	Impacta
4	Genera menor impacto

Fuente: Elaboración Propia

Se puede determinar que la puntuación 4 corresponde a la mejor opción (Bergamini *et al.*, 2017). Esto se debe según la relevancia que provoca el impacto negativo en el medio ambiente perjudicando de mayor a menor magnitud a este. Posteriormente se realiza una sumatoria lo cual el que obtenga mayor puntuación es el aislante más conveniente para utilizar en términos ambientales, debido a su menor impacto en el planeta.

Por otro lado, se valoran las variables económicas ejecutando la misma metodología de decisión, pero las variables a estudiar se llevan al caso estudio del muro de la vivienda tipo

determinada anteriormente para la realización de cálculos. Esto dependerá de cada variable a estudiar.

Se da la puntuación a cada variable desde el que genera mayor impacto ambiental hasta el que genera menor impacto, esto se debe a que se dará más importancia, en esta evaluación, a los principales recursos que generan mayor problema en el medio ambiente que son las que provocan problemas hídricos, contaminación atmosférica, lo que genere cambio climático, residuos sólidos, suelos, otros (Bergamini *et al.*, 2017).

Para posteriormente poder analizar, se presentan las variables en una metodología de decisión para así contrastar los aislantes térmicos de acuerdo con la información bibliográfica recopilada. Esto se debe a que se puede visualizar de mejor manera el contraste de estos materiales tanto económica como ambientalmente.

3.6.1 VARIABLES AMBIENTALES Y SU VALORIZACIÓN

A las variables ambientales a contrastar se les dará una valorización como se mencionó anteriormente dependiendo de la dimensión de impacto que provoque en el medio ambiente. Cada aislante presenta su medida con su unidad permitiendo identificar cual es la que afecta en mayor cantidad al planeta. Por lo que estas variables se definen y valorizan de la siguiente manera:

Tabla 3: Valorización de variables ambientales

Valorización Variables Ambientales	Gran impacto 1	Impacta 2	Menor Impacto 3	Aceptable 4
Consumo de energía en fabricación		x		
Emisiones CO2 en fabricación	x			
Efectos en ambiente en fin de vida útil	x			
Reciclable				x
Consumo de agua		x		
Transmitancia térmica				x

Fuente: Elaboración propia.

Consumo de energía en fabricación: Es la cantidad de energía que se utiliza en la etapa de fabricación del producto, siendo esta eléctrica o gas. Este recurso está conectado con la eficiencia energética, por lo que, a mayor consumo, menor eficiencia. Esta se mide en kilovatios por hora o kWh (TotalEnergies, 2021.). Como se muestra en la tabla 3, esta variable se valoriza con una puntuación de 2, que significa que impacta en el medio ambiente, ni en gran ni en menor medida, pero que no se acepta de manera positiva, debido al exceso de consumo de este recurso.

Emisiones CO2 en fabricación: Estas se producen por la descomposición, quema de residuos o de productos fósiles, como el gas natural, petróleo, gas licuado del petróleo, carbón, entre otros, para poder desarrollar el sector industrial (Schuschny, 2007). En este caso se emiten en la fabricación del producto y en el transporte de este. Como se muestra en la tabla 3, esta variable se valoriza con puntuación 1 que significa gran impacto, teniendo como consecuencia en el medio ambiente uno de los hechos más negativos para este, perjudicándolo en gran medida.

Efectos en ambiente en fin de vida útil: En esta etapa se producen efectos negativos en el ambiente debido a los grandes volúmenes de residuos que provoca un producto y a la mala o nula gestión de estos, siendo esto altamente peligroso para el medio ambiente. Estos efectos son: contaminación de suelo, aire, agua, cambio climático, toxicidad, entre otros (Antón M., 2004). Como se puede apreciar en la tabla 3, se valoriza con puntuación 1, debido a su gran impacto en el medio ambiente ya sea de corto, mediano y/o largo plazo, perjudicando a este en gran medida.

Reciclable: Consiste en dar un aprovechamiento a los residuos sólidos que se generan y obtener de estos una materia prima que pueda ser incorporada de manera directa a un ciclo de producción o de consumo. El proceso de reciclaje es una actividad que conlleva a la utilización de energía para obtener nuevos productos en una planta recicladora (Coreaga, 1993). La importancia del reciclaje radica en evadir la tala indiscriminada de árboles, disminuir la contaminación en el aire, agua, suelo y, por último, vivir en un planeta libre de contaminación (Aguilar G. & Iza A., 2009). Como se muestra en la tabla 3, se valoriza con una puntuación 4, que significa que es aceptable, teniendo como consecuencia, un casi nulo impacto al medio ambiente, pero si necesitando otras medidas que si pueden llegar a impactar al medio ambiente.

Consumo de agua: Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales. Este recurso se mide en litros (L) o una unidad equivalente a esta (Cordero M. & Ullauri P., 2011). Como se muestra en la tabla 3, esta variable se valoriza con una puntuación de 2, que significa que impacta en el medio ambiente, ni en gran ni en menor medida, pero que no se acepta de manera positiva, debido al exceso de consumo de este recurso.

Transmitancia: También conocido como valor U, se refiere al flujo de calor que pasa por unidad de área de un elemento constructivo y por el grado de diferencia de temperatura entre dos ambientes que se encuentran separados por dicho elemento (Inostroza, 2018, p. 5). Como se aprecia en la tabla 3, se valoriza con una puntuación 4, que significa que es aceptable, teniendo como consecuencia, un casi nulo impacto al medio ambiente, pero si necesitando otras medidas que si pueden llegar a impactar al medio ambiente. Para determinar esta variable se calcula utilizando los muros de la vivienda tipo mencionada anteriormente, llevándola al contraste de los aislantes. En este caso esta variable será calculada en los muros de la vivienda tipo, con cada aislante térmico. Se hace el cálculo a partir de la norma NCh 853 utilizando la siguiente fórmula:

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{si} + \sum e/\lambda + R_{se}}$$

siendo:

U: Transmitancia (W/m²*K)

R: Resistencia térmica (K/W)

R_{si}: Resistencia térmica superficial interior (m²*K/W)

R_{se}: Resistencia térmica superficial exterior (m²*K/W)

e: Espesor material (m)

λ: Conductividad térmica material (W/m*K) (Instituto Nacional de Normalización NCh853, 2007).

En consecuencia, a este cálculo, se obtendrá la mejor transmitancia, siendo esta la de valor más bajo en la comparación del uso de ambos aislantes térmicos y presentando un mejor acondicionamiento térmico para la vivienda. Se debe tener en cuenta la zona térmica de la ciudad de Rengo, que en este caso corresponde a zona 3 (Guzmán, 2020), lo que se identifica en esta una transmitancia máxima de 1,9 (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022). Por otro lado, para el cálculo de la transmitancia del material del perfil metálico (metalcon) se requiere de otra fórmula para obtener el valor de este, lo que la NCh 853 la presenta de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{R} = \frac{(R_{si} + R_{se}) * L}{L + e'} + \frac{L}{\lambda m} * \frac{H}{e'}$$

siendo:

U: Transmitancia (W/m²*K)

R: Resistencia térmica

R_{si}: Resistencia térmica superficial interior (m²*K/W)

R_{se}: Resistencia térmica superficial exterior (m²*K/W)

L = ala del perfil, en metros (ancho de la heterogeneidad)

e' = espesor del nervio del perfil, en metros

H = altura del perfil, en metros (espesor del elemento)

λ m = conductividad térmica del metal, W/ (m x K) (Instituto Nacional de Normalización NCh853, 2007).

Los cálculos de las transmitancias mencionadas anteriormente se presentan en el Anexo N°7, realizándose estos para cada aislante térmico tanto en el muro del primer piso como en el del segundo piso de la vivienda tipo.

3.6.2 VARIABLES ECONÓMICAS Y SU VALORIZACIÓN

Para realizar el contraste en las variables económicas se requiere de recolección de información tanto bibliográfica como evaluándolo en una vivienda unifamiliar mencionada anteriormente. A estas se les dará una valorización que permitirá reconocer al aislante óptimo a utilizar lo que dependerá del costo de cada variable y del tipo de aislante a evaluar. Se

determinará que tan costoso llega a ser cada aislante evaluando variables del ciclo de vida del producto. Por lo cual estas variables se definen y valorizan de la siguiente manera:

Tabla 4: Valorización de variables económicas

Valorización Variables Económicas	Gran costo 1	Costoso 2	Menor Costo 3	Aceptable 4
Costos de energía en fabricación	X			
Costos combustibles para transporte		X		
Costo comercial aislante (Chile)			X	

Fuente: Elaboración propia.

Costos de energía en fabricación: estimado el consumo de energía eléctrica en KWh, de acuerdo con el nivel de producción elegido, se establece el costo de la energía eléctrica. Al respecto pueden presentarse dos situaciones distintas, las empresas pueden comprarla o generarla ellas mismas, los costes de la energía dependen del tipo de energía utilizada y de los precios en el mercado (Fontalvo Herrera, Tomás, De La Hoz Granadillo, Efraín, & Morelos Gómez, José, 2018). Como se muestra en la tabla 4, se valoriza con puntuación 1, siendo esta de gran costo debido al gran consumo de energía en la etapa de fabricación lo que como consecuencia se producen grandes costos de esta.

Costos combustibles para transporte: son los que se generan por llevar el producto o servicio hasta el consumidor final (Arroyo E., 2016). Como se muestra en la tabla 4, se valoriza con puntuación 2, siendo esta variable costosa, debido a que el valor del combustible se encuentra elevado y subiendo de valor cada vez más (Cámara de Diputados de Chile, 2022). En este caso, se evaluará esta variable en una dirección específica de la vivienda tipo en la ciudad de Rengo, la cual esta será Balmaceda 815, Villa Galilea, así se obtiene de una

manera más precisa el costo de combustible al llevar desde el punto de venta del aislante hasta la vivienda. Se considera el lugar más cercano a la vivienda.

Costo comercial aislante: Se denominan cuando el cálculo se efectúa en la actividad mercantil o sea la actividad en que el comerciante o intermediario simplemente relaciona el centro de producción con el mercado de consumo y no realiza actividad creadora de su parte (Facultad de Ciencias Administrativas y Contables, 2014). Como se muestra en la tabla 4, se valoriza con puntuación 3 significándose este costo menor, debido a que el valor de los aislantes no es de gran relevancia en comparación con las otras variables. El costo de los aislantes se contrasta utilizando el valor en Chile, considerando el lugar más cercano a la vivienda.

RESULTADOS

A partir de la información bibliográfica obtenida y la evaluación de ésta en la metodología de selección de alternativas, que se muestra en la tabla 5, se logró identificar cuál aislante es más adecuado utilizar tanto ambiental como económicamente. De acuerdo con la tabla N°3 y el anexo 3, se evalúa cada aislante de la siguiente manera:

Tabla 5: Evaluación de variables ambientales en cada aislante

Aislante Variable	Lana de Vidrio	Lana de Oveja
Consumo de energía en fabricación		2
Emisiones CO2 en fabricación		1
Efectos en ambiente en fin de vida útil		1
Reciclable	4	4
Consumo de agua	2	
Transmitancia térmica	4	4
Aislante conveniente ambientalmente	10	12

Fuente: Elaboración propia

En la evaluación de las variables ambientales, como se presenta en la tablan 5, se identifica que no hay gran diferencia entre los aislantes, obteniendo una puntuación de 6 la lana de vidrio y 8 la lana de oveja, siendo esta última la más conveniente ambientalmente, lo cual se especifica a continuación:

En el caso del consumo de energía en la etapa de fabricación del ciclo de vida del aislante, se identifica que presenta un menor consumo la lana de oveja con un total de 18,92 MJ/kg si se fabrica con bórax o 16,84 MJ/kg si se fabrica con permetrina, versus 32 MJ/kg que consume la lana de vidrio. A pesar de que se fabrique con cualquiera de los dos materiales, sigue consumiendo energía en menor cantidad, siendo esto favorable para el medio ambiente debido a que provoca menor contaminación.

En cuanto a las emisiones de CO₂ en la etapa de fabricación se reconoce que en este caso que la diferencia de la cantidad de emisiones no es tan significativa, ya que la lana de vidrio emite 1,60 kg/CO₂ kg y la lana de oveja 1,55 kg/CO₂ kg si se fabrica con bórax y 1,45 kg/CO₂ kg si es con permetrina.

Sobre la variable reciclaje en este caso ambos aislantes se pueden reciclar, permitiendo utilizar nuevamente sus materias primas, recogiénolas, clasificándolas y procesándolas para convertirlas nuevamente en aislante o en otro producto. Es por esto por lo que se disminuye el impacto negativo al medio ambiente beneficiándonos a todos.

El consumo de agua que se requiere para la fabricación de los aislantes no deja de ser menor, aunque en este caso el mayor consumo de este recurso lo provoca la lana de oveja, debido a que se requiere de este en la limpieza de la lana y sus tratamientos mencionados anteriormente. En el caso de la lana de oveja esta requiere de 80,92 litros/m² de agua para su producción y la lana de vidrio 43,62 litros/m². En los dos casos se consideró los procesos en la fabricación directos dejando fuera el uso de agua en limpieza de talleres, oficinas, uso para empleados, etc., es decir, de uso básico.

La última variable ambiental evaluada es la transmitancia, permitiendo saber el flujo de calor que pasa por los muros teniendo en consideración los materiales que se usaron de la vivienda tipo en estudio mencionados anteriormente. También nos da a entender si aumentan los gastos energéticos por tener que recurrir a un artefacto que nos permita que en la vivienda se genere un confort térmico, porque al tener mayor transmitancia térmica menor será el efecto del aislante térmico y mayor será la pérdida de calor en la vivienda. Para el caso del primer

piso, la lana de vidrio $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ tiene un valor mayor en transmitancia comparado con la lana de oveja que obtuvo $0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$, lo cual para esta variable es mejor esta última. En el caso del segundo piso la lana de vidrio presenta de transmitancia $1,07 \text{ W/m}^2\text{K}$ y la lana de oveja $1,09 \text{ W/m}^2\text{K}$, siendo en este caso mejor la lana de vidrio, por lo que, al presentar diferencias insignificantes, se da una misma puntuación a ambos casos.

En la evaluación de las variables económicas, como se presenta en la tabla 6 y en el anexo N°4, se identifica mayor diferencia entre los aislantes, ya que la lana de vidrio obtuvo 5 puntos y la lana de oveja 1 punto, siendo más conveniente económicamente la lana de vidrio.

Tabla 6: Evaluación de variables económicas en cada aislante.

Aislante	Variable	Lana de Vidrio	Lana de Oveja
Costos de energía en fabricación			1
Costos combustibles para transporte		2	
Costo comercial aislante (Chile)		3	
Aislante conveniente económicamente		5	1

Fuente: Elaboración propia.

Siendo más específica, se presenta en detalle los resultados de la evaluación de las variables: En el caso de los costos de energía en la etapa de fabricación, se consideró el consumo de este recurso en la variable ambiental, transformándolo a KW (8,8 KW) y considerando que el valor del KWH es de \$142,490, entrega un total de \$1.253,91, en cambio la lana de oveja al fabricarla con bórax consume 5,255 KW y al multiplicarlo con el valor del KWH su costo es de \$748,79 y si se realiza con permetrina consumo 4,67 KW dando un costo total de KWH de \$665,43, siendo aun así, más bajo que lo que se requiere para la lana de vidrio.

Al referirme de la variable costo de combustible para transporte se consideró la distancia desde el punto de venta del aislante más próximo a su lugar de destino que es la vivienda tipo ubicada en la ciudad de Rengo y a la vez considerando el valor del combustible diésel con un costo de \$1.081 el litro. También se tomó en cuenta el rendimiento del camión siendo estos 3,5 litros/km logrando obtener un costo de combustible (ida y vuelta) de \$225.497 en

la lana de vidrio y de \$1.399.895 en la lana de oveja, siendo esta última la que consume más perjudicando tanto al consumidor como al medio ambiente.

La última variable por considerar es el costo comercial del aislante en Chile, lo cual el más económico es la lana de vidrio con un total de \$2.082 (con IVA) el m² y la lana de oveja con un total de \$3.776 (con IVA).

ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN

En el último tiempo se ha presentado cada vez más el interés por incorporar la sustentabilidad en la industria de la construcción debido a que genera mayor motivación o inquietud con respecto de su uso para evitar impactos negativos al medio ambiente consiguiendo mejoras para este y proyectando que a futuro, en esta industria, pudiera funcionar a partir de materiales que estén pensados a partir de la economía circular. Esto llega a ser necesario por las condiciones que hoy en día se encuentra el medio ambiente a nivel mundial.

A partir del estudio del levantamiento bibliográfico y la revisión del ciclo de vida de cada uno de los aislantes, se determinó que las variables relevantes para el análisis del ciclo de vida son las siguientes: consumo de energía en la etapa de fabricación, emisiones de CO₂ en la etapa de fabricación, efectos en ambiente en fin de vida útil, si el material es reciclable, consumo de agua y transmitancia, las cuales según el desarrollo de este trabajo, presentaron resultados que nos dice que la lana de oveja tiene un mejor desempeño aunque las diferencias son mínimas, con respecto a las variables ambientales de consumo de energía, emisiones de CO₂, los efectos que se provocan en el ambiente al finalizar vida útil del material, siendo la lana de oveja muy conveniente en esta última variable, ya que es biodegradable lo que es favorable para el planeta. En cuanto a las variables económicas se determinó que son relevantes las siguientes variables: costos de energía en fabricación, costos combustibles para transporte del material y costo comercial del aislante en Chile, teniendo como consecuencia un mejor desempeño la lana de vidrio, siendo más económica en los costos de combustible para transporte y su costo comercial en Chile. Se puede apreciar, que la diferencia no es tan relevante, debido a que la lana de vidrio ya estaba en el mercado funcionando, lo que tiene más disponibilidad, pero aun así genera un desempeño similar, por lo que, al incorporar la lana de oveja en más lugares de producción y venta, disminuirían los costos de este aislante, como de transporte y costo comercial, llegando a ser más conveniente económicamente.

De acuerdo con la metodología utilizada, las características de vivienda sujetas en este proyecto fueron el promedio del levantamiento de diez viviendas ubicadas en la ciudad de Rengo como muestra aleatoria, por lo cual se obtuvo una vivienda de superficie de 55 m² por piso, donde los muros son equivalentes tanto para el caso de estudio de la lana de vidrio como para la lana de oveja.

En cuanto a la metodología de selección por ventajas permitió llevar a un valor numérico en aspectos que tienen subjetividad entre ellos, debido a las variables mínimas de comparación, que finalmente, los desempeños son relativos unos con otros, pero al tener una base bibliográfica y este tipo de caso de estudio, se tomaron las variables seleccionadas y se evaluaron con la misma unidad, es decir, estoy midiendo lo mismo para ambos aislantes. Gracias a esta metodología que fue oportuna y fácil, simplificó el hecho de valorizar las variables.

Mediante la metodología de selección por ventaja y los resultados que se ve en el último apartado de este trabajo, es más conveniente la lana de oveja en términos ambientales, pero al ser mínima la diferencia entre ambos aislantes, no vale la pena invertir en este material, a menos que exista un incentivo para que se genere construcción sustentable y se logre reemplazar material sustentable por uno no sustentable, pero para esto, tiene que haber un financiamiento que al fijarnos en los resultados en términos económicos, si se podría lograr que la lana de oveja si sea conveniente en su totalidad, aprovechando los recursos que nos entrega el país y no desechando la lana de oveja. También expandir la producción de este material a nivel nacional, teniendo más puntos de venta y fabricación.

A partir de este trabajo se proyecta que es necesario invertir más en soluciones sustentables, siendo necesario tener fondos de financiamiento para constructoras que no necesariamente se dediquen en su totalidad a este tipo de soluciones. También es necesario normalizar este tipo de soluciones constructivas y no dejarse llevar por lo que ya está y empeora la situación ambiental en que nos encontramos, la idea es que sea un aporte y no que perjudique más. Se sugiere que este proyecto debe continuarse investigando, incorporando otras variables y enfocándose más en la gestión de residuos que es lo que más se produce en las construcciones hoy en día y permanecen por mucho tiempo en el ambiente, transportándose cada vez más, es decir, produciéndose una contaminación a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación de fabricantes españoles lanas minerales aislantes. (2019). *¿Qué son las lanas minerales?* <https://afelma.org/wp-content/uploads/2019/01/GU%C3%8DA-DE-LAS-LANAS-MINERALES-AISLANTES.pdf>

Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. (2004). *Resumen de salud pública. Fibras vítreas sintéticas*. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs161.pdf

Aguilar G. & Iza A. (2009). *Derecho Ambiental en Centroamérica*. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/EPLP-066-2.pdf>

Aguillón, J. & Arista, G. (coords.). (2015). *Análisis del Ciclo de Vida en las Ciencias del Hábitat*. https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Robles-9/publication/337621010_Analisis_del_ciclo_de_vida_en_las_Ciencias_del_Habitat/links/5de07ce6a6fdcc2837f3dff5/Analisis-del-ciclo-de-vida-en-las-Ciencias-del-Habitat.pdf

Alvarado, J., Astudillo, R. & Olmedo, M. (s. f.). *Aislación térmica a base de lana de oveja*. (PPT) Presentación Aislante Lana de Oveja | Ricardo Astudillo Villalobos - Academia.edu

Antón M. (2004.). *Utilización del análisis de ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Capítulo 3: Metodología del análisis del ciclo de vida*. (pp. 56 – 70). Universidad Politécnica de Catalunya.

Arroyo E. (2016). *Clasificación de los costos*. <https://docplayer.es/11484565-Costos-de-distribucion-son-los-que-se-generan-por-llevar-el-product>. Consultado el 07 de agosto de 2022.

Arvizu Piña. (2018). *Las Declaraciones Ambientales de Producto como instrumento de mejora ambiental en el sector de la construcción en México: el sector de la vivienda como enfoque inicial*. [Tesis doctoral, UPC, Departament de Tecnologia de l'Arquitectura]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/117627>

AYRSA. (2016, agosto). *Aislación térmica y acústica de tabiques en construcciones*. <https://www.ayrsa.cl/wp-content/uploads/2016/08/Ficha-Lana-de-Vidrio-libre.pdf>. Consultado el 25 de mayo de 2022.

Barrios, E. (2017). *Ciclo de Vida de un Producto y sus estrategias relacionadas*. (1.^a ed.). Ediciones UNPA edita. <https://unblogdemarketing.files.wordpress.com/2018/04/ciclo-de-vida-del-producto.pdf>

Bergamini, K., Irarrázabal, R., Monckeberg, J. & Pérez, C. (2017). Principales problemas ambientales en Chile: Desafíos y propuestas. Centro UC Políticas Públicas. Principales Problemas Ambientales del Chile Actual: Desafíos Institucionales y Normativos Futuros

Bernal, S. & Niño, D. (2018). *Modelo multicriterio aplicado a la toma de decisiones representables en diagramas de Ishikawa*. [tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio udistrital. BernalRomeroSergio2018.pdf (udistrital.edu.co)

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2022, 28 de febrero). *Decreto 192, Vivienda Art. Único N°2 D.O. 04.01.2006. Decreto 47 fija nuevo texto de la Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones*. <https://www.bcn.cl/leychile/navejar?idNorma=8201&idVersion=20201118&idParte=100015833>.

Botero, L., Carvajal, D. & Vásquez, A. (2015). *Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional*. Ingeniería y Ciencia, 11(21), 197-220. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83533766010>

Bové, J. (2016). *El Análisis de Ciclo de Vida en la edificación sostenible (parte I)* [imagen de post]. <https://aislamientoysostenibilidad.es/analisis-ciclo-de-vida-en-la-edificacion-sostenible/>

Burgos Javier. (2010). *Análisis comparativo entre reglamentación térmica chilena y normativa térmica española, para la aplicación en viviendas sociales del tipo fondo solidario, en la región de Los Ríos*. [Tesis para optar al título de: Ingeniero Constructor, Universidad Austral de Chile]. https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Manual_WEB.PDF

Cámara Chilena de la Construcción. (2019). *El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global*. Gerencia de Estudios CChC. https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Fundamenta_45.pdf

Cámara de Diputados de Chile. (2022). *Modifica la carta fundamental, para permitir la rebaja en un 50% del impuesto específico a las gasolinas automotrices cuando se registre un alza excesiva en su valor, y otras rebajas que indica*. <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=15088&prmTIPO=INICIATIVA>

Carabaño, R., Hernando, S, Ruiz, D., & Bedoya, C. (2020). *Análisis del ciclo de vida (ACV) de los materiales de construcción para la evaluación de la sostenibilidad de la edificación:*

el caso de los materiales de aislamiento térmico. Revista De La Construcción. Revista de Construcción, 16 (1), 22-33. <https://doi.org/10.7764/RDLC.16.1.22>

Castro K. & Grisales J. (2019). *Vivienda de emergencia sustentable*. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Manizales]. <https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/2695/1/Kevin%20Andr%c3%a9s%20Castro%20Salazar.pdf>

Chávez O. (2021). *Análisis de ciclo de vida del proyecto de construcción de un taller de camiones en una unidad minera del departamento de ICA*. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Pontifica Universidad Católica de Perú]. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/21135/CHAVEZ_PAR_RA_OMAR_FERNANDO_ANALISIS_CICLO_VIDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chihuan, I. (2017). *Evaluación de la vivienda sustentable en la zona rural del barrio de San Antonio-Distrito de Orcotuna*. [tesis de pregrado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio UPLA. <https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1000/CHIHUAN%20MOSQUERA%20ISAMAR%20KAROL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Construye 2025. (2019, 03 de octubre). *Industria de la construcción presenta su Hoja de Ruta para incorporar la economía circular en el uso de recursos y la gestión de residuos*. <http://construye2025.cl/rcd/2019/10/03/industria-de-la-construccion-presenta-su-hoja-de-ruta-para-incorporar-la-economia-circular-en-el-uso-de-recursos-y-la-gestion-de-residuos/>. Consultado el 8 de noviembre de 2021.

Cordero M. & Ullauri P. (2011). *“Filtros caseros, utilizando ferrocemento, diseño para servicio a 10 familias, constante de 3 unidades de filtros gruesos ascendentes (fgas), 2 filtros lentos de arena (fla), sistema para aplicación de cloro y 1 tanque de almacenamiento.”* [Monografía previa a la obtención del título de ingeniero civil, Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/747/1/ti874.pdf>

Corporación de Desarrollo Tecnológico Cámara Chilena de la Construcción. (2015). *Manual acondicionamiento térmico criterios de intervención*. http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2_010/bmfcil177a/doc/bmfcil177a.pdf

Czajkowski, Jorge Daniel; *Construcciones sustentables y la Ley 13059*; Universidad Nacional de La Plata; 3; 2018; 88

Daza, K. (2019). *Evaluación ambiental del proceso de fabricación del panel aislante flexible obtenido a partir de la corteza de eucalyptus sp. para su aplicación en el sector residencial*

en Chile. [tesis de pregrado, Universidad de Concepción]. Repositorio UDEC. http://repositorio.udec.cl/xmlui/bitstream/handle/11594/402/Tesis_Evaluacion_ambiental_d_el_proceso_de_fabricacion.Image.Marked%20-%201.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Doomos. (s.f). Casa en Rengo. https://www.doomos.cl/de/1376305_linda-casa-en-rengo.html. Consultado el 03 de marzo de 2022.

Enshassi, A., Kochendoerfer, B. & Rizq, E. (2014). *Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción*. Revista ingeniería de construcción, 29(3), 234-254. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002>

Escanilla J. (2019). *Propuesta de acciones para una adecuada gestión de residuos generados por el rubro de la construcción y demolición*. [Tesis para grado de magister en derecho ambiental, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168706/Propuesta-de-acciones-para-una-adeuada-gesti%C3%B3n-de-residuos-generados-por-el-rubro-de-la-contruccion-y-demolicion%C3%B3n.pdf?sequence=1>

Facultad de Ciencias Administrativas y Contables. (2014). *Costos y presupuestos*. Educación a distancia, Universidad Peruana los Andes. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/7438/Fundamentos%20de%20Costos%207-46.pdf;jsessionid=F89C4B320CF5AA43D51C5220E5609470.jvm1?sequence=1>

FDE&S. (2018). *Declaración ambiental y sanitaria del producto*. [DAP T0003 40 mm ES \(d7rh5s3nxm4p4.cloudfront.net\)](https://d7rh5s3nxm4p4.cloudfront.net/DAP_T0003_40_mm_ES.pdf)

Fontalvo Herrera, Tomás, De La Hoz Granadillo, Efraín, & Morelos Gómez, José. (2018). *La productividad y sus factores: Incidencia en el mejoramiento organizacional*. Dimensión Empresarial, 16(1), 47-60. <https://doi.org/10.15665/dem.v16i1.1375>

Fundación CONAMA. (2018). *Economía circular en el sector de la construcción*. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/130254/CONAMA_Economia%20circular_2018.pdf

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2012). *Guía sobre Materiales Aislantes y Eficiencia Energética*. [Guia-sobre-materiales-aislantes-y-eficiencia-energetica-fenercom.pdf \(construccion-eps.com\)](https://www.fenercom.com/construccion-eps.com/Guia-sobre-materiales-aislantes-y-eficiencia-energetica-fenercom.pdf)

Galindo, M. (2016). *Aislamientos Naturales: Lana De Oveja*. Ecoesmas. <https://ecoesmas.com/aislamientos-naturales-lana-de-oveja/>

Gieseckam, Jannik, Barret, John, Taylor, Peter and Owen, Anne. (2014). *The greenhouse gas emissions and mitigation options for materials used in {UK} construction*. In: Energy and Buildings. Vol. 78, n° 0, p. 202–214.

Global Petrol Prices. (2021, 01 de diciembre). *Chile precios del combustible, precios de la electricidad, precios del gas natural*. <https://es.globalpetrolprices.com/Chile/>. Consultado el 18 de agosto de 2022.

Google. (s.f.a.). [Indicaciones de Google Maps para determinar distancia de Av. Bernardo O'higgins 0400 a Balmaceda 815, Rengo]. Recuperado el 18 de agosto de 2022. <https://www.google.com/maps/dir/Balmaceda+815,+Rengo,+O'Higgins/Avenida+Bernardo+O'Higgins,+San+Fernando,+O'Higgins/@34.5037064>

Google. (s.f.b.). [Indicaciones de Google Maps para determinar distancia de Parque Industrial Casablanca, Galpón A17 a Balmaceda 815, Rengo]. Recuperado el 18 de agosto de 2022. <https://www.google.com/maps/dir/Balmaceda+815,+Rengo,+O'Higgins/Parque+Industrial,+Casablanca,+Valpara%C3%ADso/@33.8619747,71.6119903,9z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x96649e4e130c16d5:0x2bb759c6428cdb98!2m2!1d70.8668484!2d34.4141829!1m5!1m1!1s0x96626f6e695f90d3:0xe7dc8980d0c7fdfe!2m2!1d-71.394706!2d-33.3151877!3e0?hl=es-cl>

González González, P. (2018). *Propuestas relacionadas a la gestión de materiales y residuos en la etapa de construcción para futuras modificaciones a la certificación edificio sustentable*. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152482>

Gutiérrez, E., Preciado, J. & Robles, J. (2018). *Modelo de toma de decisiones para la construcción sustentable de obra pública*. Estudios sociales (Hermosillo, Son.), 28(51) <https://doi.org/10.24836/es.v28i51.567>

Guzmán Rodrigo. (2020, 27 de enero). Plano zonificación térmica. <https://vaspanel.cl/download/plano-zonificacion-termica-minvu/>. Consultado el 25 de mayo de 2022.

Haya, E. (2016). *Análisis de Ciclo de Vida*. Fundación EOI Escuela de Organización Industrial.

Herranz, S. & García, J. (2017). *Análisis de ciclo de vida de los paneles de lana mineral de vidrio para la construcción de conductos de climatización*. Verificación externa. Informes De La Construcción, 69(548). <https://doi.org/10.3989/id.55602>

Herrera, I. (2012). *Análisis de ciclo de vida en sistemas energéticos* [presentación de diapositivas]. Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos. Departamento de Energía CIEMAT.

http://rdgroups.ciemat.es/documents/10907/86733/IVconferencia+en+energia_IHO_2012.pdf/557aac4f-a0d0-4253-9e30-9acde87bda2f

Inmobiliaria e Inversiones Baker. (s.f.). Parque Baluarte. https://www.portalinmobiliario.com/venta/casa/rengo-bernardo-ohiggins/9014-parque-baluarte-nva#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=f0e58bc1-fa2e-45a0-9571-759f36ba3f26. Consultado el 03 de marzo de 2022.

Inostroza, M. (2018). *Estándares de aislación térmica bajo criterios de rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida de la construcción habitacional: Propuesta para la ciudad de Concepción, Chile*. [tesis de magíster, Universidad del Bío-Bío]. Grupo de Investigación UBB. Informe-Tesis_Manuel-Inostroza.pdf (ubiobio.cl)

Instituto Nacional de Normalización. NCh853 – Acondicionamiento Térmico; Instituto Nacional de Normalización: Santiago, Chile, 2007.

ISO 14044 (2006). Gestión ambiental: Evaluación del ciclo de vida, requisitos y directrices.

Isover. (s. f.). *Etapas del Ciclo de Vida*. <https://www.isover.com.ar/ciclo-de-vida#ciclodevida>

Justavino, J. (2013). *La fibra de vidrio en su estado contaminante*. *Mente & Materia*, 4(1), 10-11. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/view/333>

Llorach P. & Fernández J. (2018). *La economía circular en el proceso de diseño de un ingeniero*. La Rambla 30-32. <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2018/CT%202018/222224237.pdf>

Malaver N. & Ortiz N. (2018). *Análisis de las edificaciones sustentables como la mejor alternativa económica, social y ambiental para la construcción en Colombia*. [Trabajo de grado, Universidad La Gran Colombia]. https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3983/An%c3%a1lisis_edificaciones_sustentables_Colombia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Malpo. (s.f.). Hacienda las Palmas. <https://www.malpo.cl/hacienda-las-palmas-ii-casa-roble/> Consultado el 04 de marzo de 2022.

MacArthur, F. E. (2014). *Hacia una economía circular*. Cows, Reino Unido: McKinsey & Compañía

Martínez, G., Hernández, J., López, T., & Menchaca, C. (Eds.). (2015). *Materiales sustentables y reciclados en la construcción*. Omnia Science. <https://doi.org/10.3926/oms.211>

Martins J. (2021, abril). *7 sencillos pasos para crear una matriz de decisiones (con ejemplos)*. <https://asana.com/es/resources/decision-matrix-examples>. Consultado el 13 de mayo de 2022.

Meconi M. & Grohman D. (2014). Model integrated of life-cycle costing and dynamic thermal simulation (MILD) to evaluate roof insulation materials for existing livestock buildings, Energy and Buildings. El Sevier, Volume 81 Pages 48-58. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.005>.

Meneat J., Melin A., Sandras J. (2016). *The ETE approach for a comparative analysis of different ecological insulation systems*. https://www.researchgate.net/publication/310625251_THE_ETE_APPROACH_FOR_A_COMPARATIVE_ANALYSIS_OF_DIFFERENT_ECOLOGIC_INSULATING_SYSTEMS

Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Segundo Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile serie 1990-2013. Santiago, Chile.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (s. f.). *Acondicionamiento térmico techumbre con cercha mediante incorporación de lana fibra de oveja sobre cielo inclinado*. T4-LOS-ANGELES.pdf (calificacionenergetica.cl)

MINVU. (2014). *ED11 Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico*, 1434.

Moreno, O. & López, Y. (2021). *Matriz de toma de decisiones para adaptar construcciones de alcantarillados por la opción convencional y/o sin zanja*. [tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio ucatolica. Matriz de toma de decisiones alcantarillados.pdf (ucatolica.edu.co)

Moya I. (2020). *Efectos de la contaminación atmosférica en la salud infantil*. [Trabajo fin de grado, Universidad de Jaén]. Disponible en <https://tauja.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/12332>.

Muñoz, M. (2020). *Procesamiento de materiales cerámicos fundidos: vidrio plano y lana de vidrio*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/146534/Mu%c3%b1oz%20-%20Procesamiento%20de%20materiales%20cer%c3%a1micos%20fundidos%3a%20vidrio%20plano%20y%20lana%20de%20vidrio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Nueva San José Ingeniería y Construcción. (s.f.). Arriendo camiones. <https://nuevasanjose.cl/arriendo/camiones/>.

Olivera, a., Cristobal, s., Saizar, c., (2016). *Análisis de ciclo de vida ambiental, económico y social. Una herramienta para la evaluación de impactos y soporte para la toma de decisiones*. Departamento de innovación y desarrollo en gestión, laboratorio tecnológico del Uruguay, Latu. https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2238

Pairó Fernando. (2022). Cotización. [fpairo@panelsheep.cl].

Palomo, M. (2017). *Aislantes térmicos. Criterios de selección por requisitos energéticos*. [tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio UPM. https://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf

Pardo, D. (2020). *Proyecto de reciclaje de residuos para el proceso de manufactura de plásticos reforzados con fibra de vidrio*. [tesis de pregrado, Universidad Técnica Federico Santa María]. Repositorio USM. <https://hdl.handle.net/11673/49306>

Pietropaoli, Antonello, Basti, Federico, Veiga-Álvarez, Álvaro, & Maqueda-Blasco, Jerónimo. (2015). *Manejo de la fibra de vidrio en entorno laboral, potenciales efectos sobre la salud y medidas de control (Revisión)*. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 61(240), 393-414. <https://dx.doi.org/10.4321/S0465-546X2015000300008>

Pizarro, A. (2020). *Estudio técnico para la implementación de la lana de oveja como aislante en Chile*. [tesis de pregrado, Universidad Técnica Federico Santa María]. Repositorio USM. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/49811/3560901069045UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Portal Inmobiliario. (s.f.). Casas en Venta Propiedades usadas. <https://www.portalinmobiliario.com/venta/casa/propiedades-usadas#redirectedFromVip>. Consultado el 03 de marzo de 2022.

PRODALAM. (s.f.). Lana de Vidrio Libre con 50mm espesor x 1,20m ancho x 12m largo y Rinde 14,40m. <https://www.prodalam.cl/productos/60553-UN/lana-de-vidrio-libre-con-50mm-espesor-x-120m-ancho-x-12m-largo-y-rinde-1440m2?grupo=WA000025>.

Consultado el 25 de agosto de 2022.

PRODALAM. (s.f.). Sucursales. <https://www.prodalam.cl/sucursales>. Consultado el 25 de agosto de 2022.

Rivero, V. (2016). *Análisis medioambiental de los aislamientos térmicos en la construcción*. [tesis de pregrado, Universidade da Coruña]. Repositorio Universidade Coruña. <http://hdl.handle.net/2183/17490>

RMT-NITA. (s,f). *Recuperación de materiales textiles*. <https://www.yumpu.com/es/document/read/13262888/rmt-nita-wool>

Romero B. (2003). *El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental*. https://www.ucipfg.com/Repositorio/MAES/MAES-07/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/lecturas/ACV_GA.pdf

Rosas, A. (2016). *La lana de ovino como material aislante: natural, renovable y sostenibles*. [trabajo final de máster, Universitat Politècnica de Catalunya]. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84043/memoria_Y3698583J_14543676_01159.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Saint-Gobain. (2018). *Declaración Ambiental de Producto Según la Norma Europea EN 15804 y conforme al Estándar Internacional ISO 14025*. <https://www.acae.es/catalogos/isover/fiebdc/IBR-DAP.pdf>.

Saint-Gobain. (2021). Etapas del ciclo de vida. <https://www.isover.com.ar/etapas-del-ciclo-de-vida>.

Sarrión, H. (2018). *Propiedades y aplicaciones de los polímeros sintéticos en la construcción*. [tesis de pregrado, Universitat Politècnica de Valencia]. Riunet UPV. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/116197/memoria_21013004.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Segura J. (2018). *Estudio comparativo de materiales sostenibles aislantes en arquitectura*. [Titulación Grado en fundamentos de la arquitectura, Universitat Politècnica de Valencia]. Escola Técnica Superior D'arquitectura. <https://riunet.upv.es/handle/10251/137334>

Serrano, A., Quesada, F., López, M., Guillen, V. & Orellana, D. (2015). *Sobre la evaluación de la sostenibilidad de materiales de construcción*. ASRI - Arte y Sociedad. Revista de Investigación, (9).

Schepp, F., et al., (2016). *Manual de (Re) Acondicionamiento Térmico*. 1º Edición. https://cchc.cl/uploads/comunicacion/archivos/manual_CDT_2016.pdf

Societat Orgànica (SO). (2008). *Esquema sobre el análisis de ciclo de vida de la lana ovina. Chile.*

<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/49811/3560901069045UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

STO. (s.f). *Etiquetas ecológicas en productos de construcción: ¿Qué son y qué tipologías hay?* <https://espaciosto.com/etiquetas-ecologicas-en-productos-de-construccion-que-son-y-que-tipologias-hay/>

Susunga J. (2014). *Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario*. [Trabajo de grado para obtener el título de Especialista en Gerencia de Obras, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1727/1/CONSTRUCCI%20OSTENIBLE%20UNA%20ALTERNATIVA%20PARA%20LA%20EDIFICACI%20DE%20VIVIENDAS%20DE%20INTERES%20SOCIAL%20Y%20PRIORITARIO.pdf>

Toctoc. (s.f.) Casa Rengo. https://www.toctoc.com/propiedades/compraparticularsr/casa/rengo/rengo/1864853?o=resultado_lista_seo_img#partialTabsUbicacion. Consultado el 04 de marzo de 2022.

TotalEnergies. (2021, 14 de abril). *¿Qué es y cómo se mide el consumo energético?* <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/consumo-energetico>

Vicencio, C. (2017). *Propuesta de modelo de negocio para empresa asesora en gestión de residuos de la construcción*. [tesis de magíster, Universidad Técnica Federico Santa María]. Repositorio USM. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23138/3560900232139UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Weart, S. (2003). *The Discovery of Global Warming*. Massachusetts, USA: Harvard University Press, Cambridge.

Weatherspark. (s.f.). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Rengo. Consultado el 13 de Mayo del 2022. (1) <https://es.weatherspark.com/y/26518/Clima-promedio-en-Rengo-Chile-durante-todo-el-a%C3%B1o>.

Yapo. (s.f.). Vendo casa Villa Betania. <https://www.yapo.cl/vi/81688288.htm>. Consultado el 04 de marzo de 2022.

ANEXOS

ANEXO N°1: TIPOS DE VIVIENDAS EN RENGÓ

Factores Ubicación Vivienda	Picasso – Parque Baluarte	Villa Galilea	Vista Hermosa	Villa Betania	Villa Araucanía
Fuente directa	(Inmobiliaria e Inversiones Baker, s.f.)	(Portal Inmobiliario, s.f.).	(Doomos, s.f.)	(Yapo, s.f.).	(Portal Inmobiliario, s.f.).
Cantidad de ocupantes	4 ocupantes	5 ocupantes	4 ocupantes	4 ocupantes	4 ocupantes
Tipo de construcción	Primer piso: hormigón armado. Segundo piso: Paneles de yeso-cartón.	Primer piso: hormigón armado. Segundo piso: paneles SIP – Metalcon.	Primer piso: Ladrillo Segundo piso: Paneles de yeso-cartón.	Primer piso: solida de hormigón armado. Segundo piso: Paneles de yeso-cartón.	Primer piso: Ladrillo. Segundo piso: Paneles de yeso-cartón.
Dimensión vivienda	Superficie útil: 153 m2 Por piso: 76,5 m2	Superficie útil 123 m2 Por piso: 61,5 m2	Superficie útil 80 m2 Por piso: 40 m2	Superficie útil 72 m2 Por piso: 36 m2	Superficie útil 70 m2 Por piso: 35 m2
Distribución	Casa de dos pisos, 3 dormitorios 2 baños, living comedor, cocina, sala de estar en segundo piso.	Casa de dos pisos 4 dormitorios (1 dormitorio en primer piso con baño incluido), 3 baños, living comedor, cocina.	Casa de dos pisos, 3 dormitorios, 1 baño, living-comedor.	Casa de dos pisos, 3 dormitorios, 1 baño, living-comedor, cocina.	Casa de dos pisos, 3 dormitorios, 1 baño, living-comedor, cocina.

Acondicionamiento	Piso de porcelanato madera en primer piso y baños; piso PVC tipo flotante en segundo piso. Cerámica satinada en muro de pie a techo en baño y cocina. Ventanas termo panel en dormitorios.	Techo: con aislación térmica lana de vidrio con espesores que varían de 100 a 140 mm. Puertas exteriores tienen protección térmica e incorporan burletes perimetrales, ventanas termo panel. Sistema de ventilación pasiva: ubicada en living comedor y dormitorios., generando circulación permanente, y la activa: en baños y cocina, extrae el aire del interior cuando la humedad excede límites.	Ventanas de aluminio, piso de cerámica, puerta de acceso de madera.	Piso flotante en dormitorio, cerámica en espacios comunes, ventanas de aluminio.	Ventanas de aluminio, piso flotante en living-comedor, cocina y baño piso de cerámica y dormitorios con alfombra. Calefacción con estufa a leña.
--------------------------	--	---	---	--	--

ANEXO N°2: TIPOS DE VIVIENDAS EN RENGO

Factores	Ubicación Viviendas	Arturo Pratt – Egenau	Villa Las Palmas	El Villorrio	Valentín Letelier	Calle General Manuel Baquedano
Fuentes Directas		(Portal Inmobiliario, s.f.).	(Malpo, s.f.)	(Portal Inmobiliario, s.f.).	(Yapo, s.f)	(Toctoc, s.f.)
Cantidad de ocupantes		5 ocupantes	4 ocupantes	3 ocupantes	3 ocupantes	5 ocupantes
Tipo de Construcción		Primer y segundo piso de ladrillos	Primer piso: hormigón armado. Segundo piso: Paneles y revestimiento con siding.	Casa sólida de ladrillos	Casa de un piso de ladrillos	Casa sólida hormigón armado
Dimensión Vivienda		Superficie útil: 111,43 m2 Por piso: 55,72 m2	Superficie útil: 85m2 Por Piso: 42,5 m2	Superficie útil: 100 m2 Por piso: 50 m2	Superficie útil: 81 m2	Superficie útil: 160 m2 Por piso: 80 m2
Distribución		1°piso: Living-comedor, cocina independiente (acceso al patio) y un dormitorio con baño en suite. 2° piso: Dos dormitorios con closet, un baño y un dormitorio con baño en suite.	1° piso: Living- comedor, dormitorio principal, dos baños y cocina. 2°piso: dos dormitorios y sala de estar.	1° piso: Cocina amoblada, living-comedor y 1 baño. 2° piso: Dos dormitorios.	1° piso: Living-comedor, cocina, un baño y dos dormitorios.	1° piso: Cocina, living-comedor, un baño y un dormitorio. 2° piso: tres dormitorios y un baño.
Acondicionamiento		Piso flotante en dormitorios y living-comedor y cerámicas en zonas húmedas, ventanas de aluminio, puertas interiores de melamina, puerta principal de madera.	Cerámica en living-comedor, baño y cocina. Cubrepiso en dormitorios y segundo piso, ventanas termo panel en dormitorios, ventilación pasiva.	Primer piso de cerámica, segundo piso de madera, ventanas de aluminio, calefacción estufa a leña.	Ventanas de aluminio. Piso de cerámica.	Piso de cerámica sectores comunes. Dormitorios piso de madera. Ventanas de aluminio.

ANEXO N°3: VARIABLES AMBIENTALES

VARIABLES AMBIENTALES	LANA DE VIDRIO (LV)	LANA DE OVEJA (LO)	FUENTES DIRECTAS
Consumo de energía en fabricación (MJ/kg)	32,0	18,92 (bórax) 16,84 (permetrina)	(Rosas, 2016).
Emisiones CO2 en fabricación (kgco2/kg)	1,60	1,55 (bórax) 1,45 (permetrina)	(Rosas, 2016).
Efectos en ambiente en fin de vida útil	Las fibras de vidrio no se evaporan al aire ni se disuelven en agua, permaneciendo por un largo tiempo. Pueden ser transportadas por largas distancias a causa del viento.	Fibra natural biodegradable ofrece una producción nula en contaminación	LO: (Pietropaoli, Antonello, Basti, Federico, Veiga-Álvarez, Álvaro, & Maqueda-Blasco, Jerónimo, 2015). LV: (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 2004).
Reciclable	SI	SI	LV: (Isover, s.f.). LO: (Segura J., 2018).
Consumo de agua (L) *	43,62	80,92	Meneat J., Melin A., Sandras J. (2016).

*Se tuvo en cuenta los flujos productivos directos, lo que significa que despreciamos los flujos que no resultan directamente de la fabricación de los diferentes elementos que constituyen los sistemas, por ejemplo, la iluminación, la calefacción y la limpieza de los talleres y de la oficina, el transporte de empleados, otros.

ANEXO N°4: VARIABLES ECONÓMICAS

VARIABLES ECONÓMICAS	LANA DE VIDRIO (LV)	LANA DE OVEJA (LO)	FUENTES DIRECTAS
Costo de energía en fabricación KWh=MJ/3,6 Valor KWh= \$142,490	Consumo de energía= 32 MJ/Kg = 8,8 Kw Total, KWh= \$1.253,91	Consumo de energía= 18,92 MJ/Kg (bórax) = 5,255 Kw Total, KWh= \$748,79 Consumo de energía = 16,84 MJ/Kg (permetrina) = 4,67 Kw Total, KWh = \$665,43	Valor KWh = (Global Petrol Prices, 2022) Justificación cálculo: Anexo N°5
Costo combustible para transporte (Punto de venta a vivienda tipo) Valor combustible diésel= \$1.081 Litro Se considera rendimiento camión: 3,5 (lts/km)	Ubicación venta aislante: Av. Bernardo O'higgins 0400 (Prodalam). Destino: Balmaceda 815, Villa Galilea Rengo Distancia= 29,8 km Gasto combustible en trayecto: 104,3 L Costo combustible: \$225.497 (ida y vuelta)	Ubicación venta aislante: Parque Industrial Casablanca, Galpón A17 (Panel Sheep Spa). Destino: Balmaceda 815, Villa Galilea Rengo Distancia: 185 km Gasto combustible en trayecto: \$1.399.895	Valor combustible = (Global Petrol Prices, 2022) Ubicación LO = (Pairo F., 2022) Ubicación LV = (PRODALAM, s.f.) Distancia LV = (Google, s. f.a.) Distancia LO = (Google, s.f.b.) Rendimiento camión = (Nueva San José Ingeniería y Construcción, s.f.)
Costo comercial aislante en Chile (m2)	\$2.082 con IVA	\$3.776 con IVA	LO: (Pairo F., 2022) LV: (PRODALAM, s.f.)

ANEXO N°5: CÁLCULO CONSUMO DE ENERGÍA

Para el cálculo del costo de consumo de energía en las variables económicas se utilizó un convertidor encontrado en la plataforma Google, lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{KWh} = \text{MJ} / 3,6$$

En el caso de la lana de vidrio se tiene un consumo de 32 MJ/Kg, por lo cual se obtiene lo siguiente:

$$\begin{array}{r} \text{KWh} = 32 \text{ MJ/Kg} \\ \hline 3,6 \\ \hline = 8,8 \text{ Kw} \end{array}$$

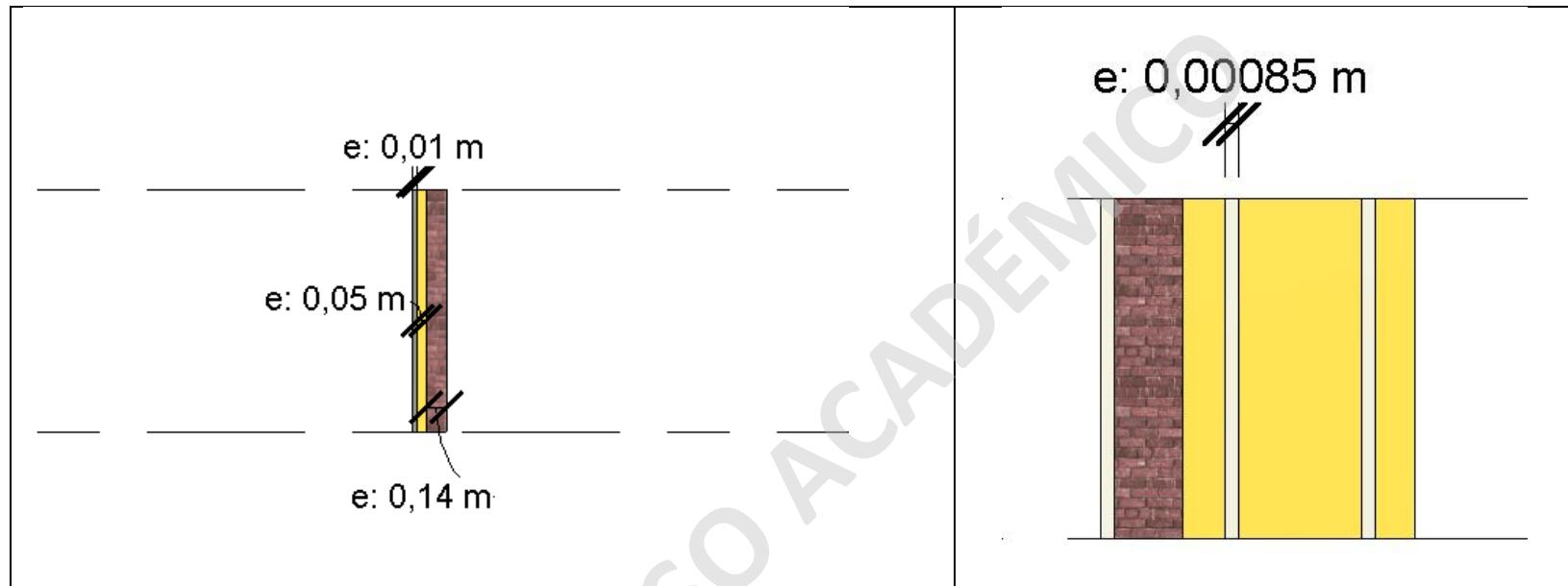
Siendo 8,8 Kw el consumo de energía. Posteriormente se considera el valor del KWh = \$142,490, obteniendo un total en costo de consumo de energía en la etapa de fabricación:

$$\begin{array}{r} \text{Total, KWh} = 8,8 \text{ Kw} * \$142,490 \\ \hline = \$1,253 \end{array}$$

El mismo procedimiento anterior se realiza para la lana de oveja, considerando el consumo de energía = 18,92 MJ/Kg si se realiza con bórax = 5,255 Kw y un 16,84 MJ/Kg si es con permetrina, obteniendo un costo de consumo de energía \$748,79 (bórax) y \$665,43 (permetrina).

ANEXO N°6: LEVANTAMIENTO DE MUROS

ESPESORES DE MATERIALES



ANEXO N°7: CÁLCULO TRANSMITANCIA

Para el cálculo de la variable ambiental transmitancia, se utilizó la herramienta Excel con las fórmulas mencionadas anteriormente en el apartado 3.6.1, se crearon las siguientes tablas:

LANA DE VIDRIO

MURO FACHADA PRIMER PISO - DATOS PARA CÁLCULO TRANSMITANCIA 1: LADRILLO			
CAPA	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD (w/mk)	RESISTENCIA TÉRMICA (m ² x k/w)
SUPERFICIE INTERIOR	-	-	0.12
LADRILLO	0.14	0.46	0.30
AISLANTE (LANA DE VIDRIO)	0.05	0.043	1.16
YESO-CARTON	0.01	0.24	0.04
SUPERFICIE EXTERIOR	-	-	0.05
			1.68

MURO FACHADA PRIMER PISO - DATOS PARA CÁLCULO TRANSMITANCIA 2: MORTERO			
CAPA	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD (w/mk)	RESISTENCIA TÉRMICA (m ² x k/w)
SUPERFICIE INTERIOR	-	-	0.12
MORTERO	0.14	1.4	0.10
AISLANTE (LANA DE VIDRIO)	0.05	0.043	1.16
YESO-CARTON	0.01	0.24	0.04
SUPERFICIE EXTERIOR	-	-	0.05
			1.47

MURO FACHADA PRIMER PISO: DATOS PARA CÁLCULO TRANSMITANCIA 3: METALCON			
RESISTENCIA ESTRUCTURA	0.58	RESISTENCIA ENTRE ESTRUCTURA	0.52
Rsi	0.12	e ladrillo	0.140
Rse	0.05	λ ladrillo	0.460
L	0.04	e yeso-cartón	0.010
ϵ	0.00085	λ yeso-cartón	0.240
Λ_m	58.00	U tabique	1.94
H	0.09		
U estructura	1.72		

Luego de haber calculado las resistencias de cada material, se obtienen las siguientes transmitancias:

TRANSMITANCIAS MURO PRIMER PISO: LANA DE VIDRIO	
U1	0.60 W/m ² *K
U2	0.68 W/m ² *K
U3	1.91 W/m ² *K

Posteriormente, se calcula el área de los materiales que conforman la albañilería (ladrillo y mortero):



ÁREA LADRILLO	0.02059 m ²
ÁREA MORTERO	0.00371 m ²

Finalmente se obtiene la transmitancia de albañilería y se suma con la del metalcon, donde la primera se multiplica por 0.85 y la segunda por 0.15, lo que se obtiene:

U ALBAÑILERÍA (LV)	0.115811173 W/m ² *K
U TOTAL (LV)	0.384207557 W/m ² *K

Luego se realiza el procedimiento para el muro del segundo piso, obteniendo una transmitancia de 1.07 W/m²*K:

MURO PRIMER PISO: DATO PARA CÁLCULO DE TRANSMITANCIA 3: METALCON				U TOTAL
RESISTENCIA ESTRUCTURA	0.32	RESISTENCIA ENTRE ESTRUCTURA	1.42	1.07047132
Rsi	0.12	e yeso-cartón	0.010	
Rse	0.05	λ yeso-cartón	0.240	
L	0.04	e aislante lana vidrio	0.050	
e	0.00	λ aislante lana vidrio	0.043	
λm	58.00	e yeso-cartón	0.010	
H	0.09	λ yeso-cartón	0.240	
U estructura	3.13	U tabique	0.71	

El mismo proceso se realiza para el otro aislante, como se muestra a continuación:

LANA DE OVEJA

MURO FACHADA PRIMER PISO - DATOS PARA CÁLCULO TRANSMITANCIA 1: LADRILLO			
CAPA	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD (w/mk)	RESISTENCIA TÉRMICA (m ² x k/w)
SUPERFICIE INTERIOR	-	-	0.12
LADRILLO	0.14	0.46	0.30
AISLANTE (LANA DE OVEJA)	0.05	0.045	1.11
YESO-CARTON	0.01	0.24	0.05
SUPERFICIE EXTERIOR	-	-	0.05
			1.64

MURO FACHADA PRIMER PISO - DATOS PARA CÁLCULO TRANSMITANCIA 2: MORTERO			
CAPA	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD (w/mk)	RESISTENCIA TÉRMICA (m ² x k/w)
SUPERFICIE INTERIOR	-	-	0.12
MORTERO	0.14	1.4	0.10
AISLANTE (LANA DE OVEJA)	0.05	0.045	1.11
YESO-CARTON	0.01	0.24	0.04
SUPERFICIE EXTERIOR	-	-	0.05
			1.42

Para la transmitancia 3 (metalcon), se utiliza la misma mencionada anteriormente, lo que resulta una resistencia de 0,52, lo que al dividir 1/0,52, resulta una transmitancia de 1.91.

Luego de haber calculado las resistencias de cada material, se obtienen las siguientes transmitancias:

TRANSMITANCIAS MURO PRIMER PISO: LANA DE OVEJA	
U1	0.61 W/m ² *K
U2	0.70 W/m ² *K
U3	1.91 W/m ² *K

Como ya se tiene el cálculo de las áreas mencionado anteriormente, se ocupa de la misma manera para este caso, lo cual se obtiene lo siguiente:

U ALBAÑILERIA (LO)	0.119897358 W/m ² *K
U TOTAL (LO)	0.37251339 W/m ² *K

Finalmente, se realiza el procedimiento para el muro del segundo piso, obteniendo una transmitancia de 1.09 W/m²*K:

MURO SEGUNO PISO: AISLANTE LANA DE OVEJA				U TOTAL
RESISTENCIA ESTRUCTURA	0.32	RESISTENCIA ENTRE ESTRUCTURA	1.36	1.09320557
Rsi	0.12	e yeso-cartón	0.010	
Rse	0.05	λ yeso-cartón	0.240	
L	0.04	e aislante lana vidrio	0.050	
e	0.00	λ aislante lana vidrio	0.045	
λ_m	58.00	e yeso-cartón	0.010	
H	0.09	λ yeso-cartón	0.240	
U estructura	3.13	U tabique	0.73	

En conclusión, a estos resultados, se puede identificar que la diferencia de transmitancia es muy mínima llegando a ser insignificante, lo cual la lana de vidrio para el primer piso cuantifica 0,38 W/m²*K versus la lana de oveja que obtuvo 0,37 W/m²*K. En el segundo piso la lana de vidrio arroja 1,07 W/m²*K y la lana de oveja 1,09 W/m²*K.