Facultad de ingeniería

Escuela de Construcción Civil

Reconversión energética del complejo habitacional Pasaje Bavestrello de Cerro Alegre, Valparaíso, a partir de energía solar fotovoltaica.

Por

Manuel Navarrete Parra

Profesor guía: Claudio Carrasco Aldunate

Diciembre 2023

Agradecimientos:

A mi familia, especialmente a mi hermana.

A quienes acompañaron esta ruta.

Al misterio que me hace insistir en habitar la vereda de los oprimidos.

Al poema que me guio en esta escritura:

«La forma justa»

Sé que sería posible construir un mundo justo.
Las ciudades podrían ser claras y bañadas
por el canto de los espacios y de las fuentes.
El cielo, el mar y la tierra están dispuestos
a saciar nuestra hambre de lo terrestre.
La tierra donde estamos —si nadie la traiciona— ofrecería
cada día, a cada uno, la libertad y el reino:
En la concha, en la flor, en el hombre y en el fruto.
Si nada adolece la propia forma es justa,
y en todo se integra como palabra en verso.
Sé que sería posible construir la forma justa
de una ciudad humana que fuese
fiel a la perfección del universo.

Por eso vuelvo a empezar sin tregua a partir de la página en blanco.
Este es mi oficio de poeta para la reconstrucción del mundo

Sophia de Mello

Índice

Capítulo I: Antecedentes Generales 6
1.1 Introducción 7
1.2 Planteamiento del problema 8
1.3 Estado del arte 8
1.4.1 Objetivo general 9
1.4.2 Objetivos específicos 9
1.5 Alcances y limitaciones 9
Figura 1.5.1 Ubicación geografica 10
Figura 1.5.2 Fachada Pasaje Bavestrello 10
1.6 Metodología de trabajo 11
Capítulo II: Fundamentos Teóricos 12
2.1 Marco teórico 13
Figura 2.1.1 ERNC 13
Tabla 2.1.1 ERNC 14
Figura 2.1.2 ERNC 14
2.1.1 Energía Solar 15
Figura 2.1.1.1 Radiación solar en Chile. 15
Tabla 2.1.1.1 radiación Solar 16
Figura 2.1.1.2 Radiación solar 17
Figura 2.1.1.3 radiación Solar 18
Figura 2.1.1.4 Explorador Solar 19
2.1.2 Sistema Fotovoltaico 19
Figura 2.1.2.1 Panel Fotovoltaico 20
Figura 2.1.2.2 Paneles fotovoltaicos 21
Figura 2.1.2.3 sistema On Grid 22
2.1.3 Net Billing 22
Figura 2.1.3.1 Sistema Net Billing 23
Figura 2.1.3.2 Sistema On-Grid 23
2.1.4 Microred 23
Figura 2.1.4.1 Modelo de microgrid 24

Figura 2.1.4.2 Estructura de prosumidores 25
2.1.5 Design Builder 26
2.1.6 Monumentos nacionales 27
2.1.7 Medidas financieras 28
2.1.8 Confort Térmico 29
Figura 2.1.8.1 Abaco psicometrico 30
2.1.9 Eficiencia Energética 30
Capítulo III: Desarrollo de la Investigación 32
3.1 Descripción del área de estudio 33
Figura 3.1.1 Esquema inmueble 33
3.2 Condiciones de consumo y generación eléctrica 33
Figura 3.2.1 Ejemplo consumo anual 34
Tabla 3.2.1 Consumo mensual 34
Figura 3.2.2 Consumo promedio kWh 35
Figura 3.2.3 Calculadora Explorador Solar 36
Figura 3.2.4 Area según google earth 37
Tabla 3.2.2 Generación Fotovoltaica 38
Tabla 3.2.3 Consumo y generación 39
Figura 3.2.5 Generación fotovoltaica 40
Figura 3.2.6 Comparativa consumo / generación 40
Figura 3.2.7 Catalogo Paneles FV 41
Figura 3.2.8 Teselado techumbre 42
Figura 3.2.9 Calculadora Explorador Solar 43
Tabla 3.2.4 Consumo y generación 44
Figura 3.2.10 Generación vs consumo 44
3.3 Condiciones estructurales 45
Figura 3.3.1 Techumbre Alvaro Besa 626 45
Figura 3.3.2 Techumbre Alvaro Besa 626 45
Figura 3.3.3 Calculo estructural 46
Figura 3.3.4 Techumbre Alvaro Besa 626 47
Figura 3.3.5 Calculo estructural 47
3.4 Determinación demanda termo-energética 49

3.4.1 Registros climatológicos 49
Figura 3.4.1.1 Temperaturas anuales 49
Figura 3.4.1.2 Configuración climática 49
3.4.2 Modelación del edificio 50
Figura 3.4.2.1 Planos nivel 1 51
Figura 3.4.2.2 Planos nivel 2 52
Figura 3.4.2.3 Planos nivel 3 53
Figura 3.4.2.4 Planos nivel 4 54
Figura 3.4.2.5 Planos nivel 5 54
Figura 3.4.2.6 Planos nivel 6 55
Figura 3.4.2.7 Maqueta digital Design Builder 56
3.4.3 Definición material 56
Figura 3.4.3.1 Configuración de muro 57
Figura 3.4.3.2 Configuración de muro 57
Figura 3.4.3.3 Configuración de muro exterior 58
Figura 3.4.3.5 Valores de transmitancia 59
Figura 3.4.3.6 Valores de transmitancia 59
Figura 3.4.3.7 Configuración techumbre 60
Figura 3.4.3.8 Configuración entrepiso 61
Figura 3.4.3.9 Configuración tabiquería 62
Figura 3.4.3.10 Configuración de uso 62
Figura 3.4.3.11 Medidor de temperatura y humedad 63
Tabla 3.4.3.1 Temperatura y humedad 63
Tabla 3.4.3.2 Temperatura y humedad estación meteorologica 64
Figura 3.4.3.12 Abaco psicométrico y datos obtenidos 65
Figura 3.4.3.13 Maqueta digital Pasaje Bavestrello 66
Tabla 3.4.3.3 T°promedio (°C) por mes 67
Figura 3.4.3.14 T° promedio (°C) por mes 68
3.4.4 Determinación de la demanda termo-energética 68
Tabla 3.4.4.1 Valores de energía asignados 69
Tabla 3.4.4.2 Temperatura promedio anual (°C) 69
Figura 3.4.4.1 Planos Departamento 1 71

Figura 3.4.4.2 Modelación Departamento 1 72
Figura 3.4.4.3 Modelación Departamento 1 en relación con el resto de estructuras 73
Figura 3.4.4.4 Resultados de la simulación de balance térmico 74
Figura 3.4.4.5 Resultados de la simulación de balance termico 74
3.5 Variables financieras 75
Tabla 3.5.1 Costos de mano de obra, maquinaria, herramientas y suministro. 75
Tabla 3.5.2 Costos ponderados en meses 76
Tabla 3.5.3 Costos asociados a rangos de potencia 76
Tabla 3.5.4 Costos asociados compra de combustibles fósiles. 77
Tabla 3.5.5 Ahorros mensuales 78
Tabla 3.5.6 Tiempo de retorno de inversión 78
Tabla 3.5.7 Detalle de meses de retorno de inversión 79
3.6 Conclusiones y recomendaciones 79
3.7 Propuestas para futuras investigaciones 80
4 Bibliografía 81

Capítulo I: Antecedentes Generales

1.1 Introducción

Uno de los desafíos más grandes a los que nos vemos sometidos como especie durante este siglo es el incesante aumento de la temperatura global y las consecuencias climáticas que esto conlleva. Al mismo tiempo, somos incapaces de superar un modelo de desarrollo económico y político que asuma los cambios necesarios para revertir este inevitable proceso. La relación entre los procesos de crecimiento económico focalizados en la producción de bienes de consumo y servicios consumidores de energía originada en la quema y extracción de combustibles fósiles ya fue advertida durante los ochenta, puesta en palabras formalmente en el informe Nuestro Futuro Común. A pesar de esto, el capitalismo contemporáneo insiste en un crecimiento basado en la lógica extractiva de materiales, agua y fuentes de energía fosilizada, a partir de los cuales se verifican los procesos de producción industrial en donde se reproduce el capital (Georgescu-Roegen, 1993). En este contexto ecológico, la preocupación por preservar el medio ambiente es un tema de capital importancia, entendiendo que la amenaza que sufre la biodiversidad y el peligro del cambio climático se deben al aprovechamiento irresponsable que el humano ha realizado de los recursos naturales, como sostiene Ramos (2015).

El aumento del CO2 ha mantenido un aumento directamente proporcional a la utilización creciente de combustibles fósiles como fuente de energía principal. A finales del siglo XX y principios del XXI, los combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) sumaban un aproximado de 80% de la energía primaria consumida a nivel global, mientras que la producción eléctrica procedía en dos terceras partes de la quema de estos materiales, según Gómez (2010). Los gases producidos por la quema de estos recursos son conocidos como Gases de Efecto invernadero, y el efecto mediante el cual su presencia produce un calentamiento adicional a la temperatura de la tierra es conocido como efecto invernadero. Este es un fenómeno natural, existente en la tierra desde hace millones de años, que ha mantenido estable la vida en nuestro planeta elevando la temperatura hasta niveles habitables. Sin embargo, y como fue expuesto con anterioridad, el abuso de su producción ha generado un aumento acelerado de este fenómeno, poniendo en peligro al planeta íntegramente.

Ahora bien, no basta con plantear una problemática respecto a la obtención de la energía eléctrica. Es menester principal mencionar la innegable necesidad y dependencia que como sociedad hemos generado con las décadas de esta energía, especialmente en tiempos de pandemia, en el que el consumo eléctrico residencial ha aumentado con las cuarentenas y las bajas temperaturas en invierno de las cuales el calentamiento global también es responsable (Moreno, Sanchez, Suazo, Negrete, Olivares, Alvarado, Sepúlveda, Otarola y Basso, 2020). El funcionamiento de las sociedades contemporáneas depende por completo de la disponibilidad, provisión y, por sobre todo, accesibilidad a este tipo de energía. Estos factores nos hablan, entre otras cosas, del lugar de desarrollo que ocupamos comparativamente a otros países del mundo. Según el Ministerio de Energía (2018) en su plan “+ Energía”, a la fecha, consumimos la mitad de electricidad per cápita que un país desarrollado, variable que, para cerrar esta brecha, deberemos poder producir entre 10.000 a 16.000 MW adicionales dentro de los próximos 20 años. Entendiendo los argumentos planteados con anterioridad, este crecimiento no puede construirse en base al sacrificio del medio ambiente y la integridad ecológica de las políticas de desarrollo que el estado de Chile promueva. Esto implica la descarbonización de nuestra matriz eléctrica poniendo un enfoque prioritario en las energías renovables, al mismo tiempo que se asegure una máxima eficiencia en la captación de estas. En esta línea, la generación eléctrica de la mayoría de los países es generada en base a un sistema central, en donde la lógica entre quienes suministran y quienes compran la energía se establece a través de un tendido eléctrico. El transporte se realiza por torres de alta tensión, cables, postes, y otros elementos, asegurando la distribuidora de suplir la demanda. Según Pérez (2012), la actual tecnología pierde entre un 40% y un 60% en el proceso de producción de energía eléctrica, entendiendo que las centrales no son totalmente eficientes y que, una vez generada, al estar centralizada, es necesario transportarla por cientos de kilómetros para llegar a los lugares de demanda.

En contraposición a este modelo clásico, ineficiente, sustentado en combustibles fósiles, contaminante y centralizado, surge una lógica diferente que se basa en un sistema de distribución in situ, autónomo, eficiente y que tiene como protagonista a las energías renovables. Al generar electricidad en el mismo

inmueble que la usará a través de paneles fotovoltaicos dispuestos en el tejado y superficies que reciban la luz del sol durante la mayor parte del día, la perdida por transporte se reduce totalmente.

El complejo domiciliario Pasaje Bavestrello cumple una serie de condiciones idóneas para servir como punta de lanza de la reconversión energética desde una obtención más conservadora a otra más novedosa. Si bien es una sola estructura que se separa en 12 hogares, no mantiene una lógica de condominio y la mayoría de sus accesos dan directamente a la calle, sin perder la conexión entre las viviendas. Posee una techumbre común y continua, además de una cara libre que apunta hacia el noreste sin otro inmueble que tape la luz del sol, posibilitando una alternativa para instalar aún más paneles solares. Bajo el pasaje que atraviesa la estructura se encuentra una bodega que puede alojar las baterías necesarias para la recolección de energía. Finalmente, es una muestra del uso heterogéneo que se le da a las casas del sector patrimonial de Valparaíso, existiendo hogares, un museo (Museo del Almacén), un colegio de educación especial y un hostal.

1.2 Planteamiento del problema

La obtención de la energía eléctrica, la más cotidiana de las fuentes domestico de sus días, es obtenido principalmente a través de métodos que dañan, perjudican o destruyen el medio ambiente. Además, el consumo eléctrico ha crecido de forma constante en el tiempo, en relación con la población, los artículos que hacen uso de dicha energía, el desarrollo económico, turístico, tecnológico, etc. La producción actual de esta energía está enfocada en elementos que son contaminantes para el planeta y cuyo uso acelera el proceso de aumento de temperaturas a nivel global, emanando gases de efecto invernadero.

Existe, sin embargo, la posibilidad de poder utilizar energías renovables favorecidas por las condiciones climáticas de nuestro país. Ahora, aunque su uso no es suficiente para suplir el consumo total requerido por la población, es posible mitigar un porcentaje importante de las consecuencias ecológicas que significa la obtención de esta energía. Estas pueden unirse a una micro red, definida como un grupo de cargas interconectadas y recursos energéticos distribuidos dentro de limites eléctricos claramente definidos que actúa como una entidad única controlable con respecto a la red principal.

En relación con esto, proponemos un estudio de intervención energética en el complejo residencial Pasaje Bavestrello, ubicado en Cerro alegre, en pleno casco histórico de Valparaíso, con la finalidad de demostrar la capacidad de autonomía energética en el marco del consumo eléctrico con objetivo de suplir necesidades térmicas. Esta intervención podría abrir una arista de desarrollo energético para un barrio en el que se mezclan elementos patrimoniales, turísticos y habitacionales.

Para esto, se llevará a cabo una investigación donde se estimará específicamente la demanda energética el complejo domiciliario, contemplando el gasto energético mensual de los vecinos residentes en el área, realizando a posterior una comparación con la posible energía aportada por paneles solares fotovoltaicos instalados en la techumbre, consultando indicadores energéticos que determinen el aporte que la energía renovable genera a una red autónoma para la estructura.

1.3 Estado del arte

De acuerdo con Pérez (2012), en Chile no ha existido un debate respecto a la necesidad de generar entornos más sustentables ni se cuenta con una herramienta de evaluación para medir el mérito de proyectos en términos de desarrollo sustentable. Existe, sin embargo, la certificación CES, que permite evaluar, calificar y certificar el comportamiento ambienta de edificios de uso público, los que deben cumplir un conjunto de requerimientos obligatorios y voluntarios sobre los que se entrega un puntaje que califica ciertas atribuciones. Sin embargo, es preciso que este tipo de certificación marque pauta a nivel de conjuntos de edificaciones, en tanto un barrio sustentable debe ser tratado como un ecosistema en el sentido de que este provee de elementos esenciales para mejorar la calidad de vida de sus habitantes (Blanco, 2015).

Las micro redes ofrecen una alternativa precisamente en la arista que contempla la sustentabilidad considerada como un ecosistema, siendo este concepto una herramienta fundamental para desarrollar una arquitectura lo suficientemente flexible para satisfacer variadas demandas, pero con un estricto apego a los requisitos de aplicación exigidos por la normativa técnica. Desde el 2014, la Universidad de Chile cuenta con el Laboratorio de Control de Micro-redes (LCM), publicando artículos y compartiendo un espacio de investigación dedicado a la temática, centrándose en la búsqueda de nuevas soluciones para el funcionamiento fiable y óptimo de futuras redes eléctricas.

Existen experiencias en Chile que se enmarcan en la figura de "Micro-redes" que se han desarrollado de forma exitosa. La primera corresponde al proyecto ESUSCON (Electrificación Sustentable Condor), a cargo del CE-FCFM (Centro de Energía de la Universidad de Chile), en la comunidad quechua Huatacondo, Región de Tarapacá. Esta iniciativa se encuentra en proceso de funcionamiento desde el 2010 y su objetivo inicial fue electrificar a la comunidad con un sistema inteligente con funcionamiento energético las 24 horas del día. Antes de esto, la comunidad solo contaba con un generador que funcionaba 10 horas al día. Este proyecto ha sido financiado principalmente por la empresa minera Collahuasi, pero busca revertirse después de 5 años ejecución. Ha significado, además, un incremento del consumo de energía eléctrica por parte de la comunidad, mejorando la calidad de vida de las familias. (Hernández Vargas, 2015)

Para poder realizar la instalación de una micro red que funcione a partir de energías renovables, primero es necesario comprender a cabalidad el rendimiento energético de un edificio estableciendo estrategias de planificación energética sostenible, caracterizando de forma detallada la comprensión de patrones de la demanda de los servicios de energía dependiendo del uso del espacio que se analiza. Respecto a esto, existen diferentes metodologías que permiten realizar esta identificación. Estas serán desarrolladas a cabalidad en el marco teórico.

1.4.1 Objetivo general

Proponer la reconversión energética del pasaje Bavestrello para mitigar los gastos energéticos de confort térmico, y evaluar la contribución de un sistema de distribución de energía eléctrica tipo micro-grid On-grid a partir de energía solar captada en paneles fotovoltaicos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar una propuesta para la generación de energía eléctrica obtenida a través de paneles fotovoltaicos distribuidos en la edificación del área de estudio para mitigar los gastos asociados al confort térmico.
- Realizar un análisis económico de la propuesta determinando la factibilidad y probables beneficios.

1.5 Alcances y limitaciones

El tipo de investigación que se buscará es de tipo descriptiva analítica, empleando métodos de recolección de datos de estudio sobre el tema. Al mismo tiempo, se plantea como un anteproyecto prospectivo en términos de dimensión temporal. El alcance de la investigación se corresponde con el uso de energía solar obtenida a través de paneles fotovoltaicos en la techumbre del complejo habitacional Pasaje Bavestrello, ubicada en Cerro Alegre en la calle Álvaro Besa (Figura 1, Figura 2) constituyente del espacio considerado patrimonio de la humanidad. Esta investigación se basa en la generación distribuida o Net Billing, establecida mediante la ley 20.571, la que entrega la posibilidad de autogeneración de energía en base a energías renovables no convencionales y cogeneración eficiente.

Figura 1.5.1 Ubicación geografica



Fuente: Elaboración propia, obtenida de Google Earth

Figura 1.5.2 Fachada Pasaje Bavestrello



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, el edificio en cuestión es parte del casco histórico de la ciudad declarado patrimonio de la humanidad por la UNESCO desde el año 2003. Este sector involucra la conservación de la infraestructura colonial del siglo XIX dentro de los cerros Alegre y Concepción, separadas por la calle Urriola, formando un solo barrio. La zona, ocupada principalmente por inmigrantes alemanes e ingleses, da cuenta de una pequeña colonia italiana que se asienta en el pasaje Bavestrello. Su intervención está sujeta a la aprobación del Consejo de Monumentos Nacionales, y es necesario levantar las consultas pertinentes para cambiar rasgos de la infraestructura.

1.6 Metodología de trabajo

Esta investigación se realizará en tres etapas para alcanzar los objetivos específicos; estimar la demanda anual de cada uno de los departamentos del inmueble al mismo tiempo que se evalúa el potencial de producción de energía eléctrica, estimar las condiciones materiales del edificio en tanto su resistencia térmica generando una maqueta digital del mismo, y el análisis técnico-económico del proyecto para determinar su viabilidad.

Para determinar la demanda eléctrica de cada uno de los departamentos del inmueble (kWh/año), se le pedirá a cada uno de los vecinos la facilitación de sus cuentas de energía de los últimos 12 meses, buscando generar un promedio de demanda por departamento, esto en consideración de que algunos de ellos no se corresponden con hogares. Vale comentar que los roles de cada uno de los departamentos son diferentes y sus medidores independientes los unos de los otros. El potencial de generación del inmueble en relación con la capacidad de instalación de paneles solares se realizará a partir de los datos proporcionados por la plataforma Explorador Solar, perteneciente al Ministerio de Energía, mientras que la cantidad de m2 construibles se obtendrá proyectando la superficie en Google Earth.

La estimación de la resistencia térmica del edificio se realizará relacionando los materiales de la fachada y la cantidad y condición de las ventanas, al mismo tiempo la orientación del inmueble, las estructuras colindantes y cercanas que puedan significar la proyección de sombra en el lugar, la tabiquería, entrepiso y habitabilidad del inmueble, construyendo una maqueta digital en Design Builder.

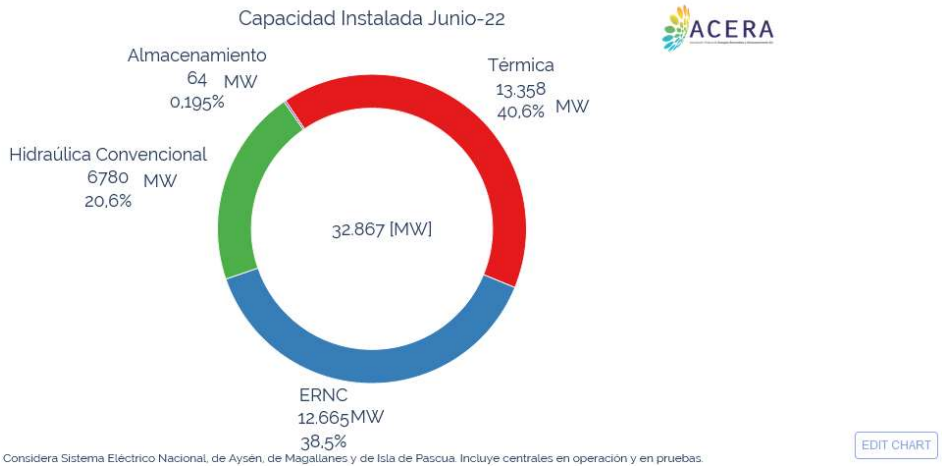
Finalmente, la evaluación económica identificará los costos de inversión, contemplando los equipos necesarios y los dos escenarios anteriormente señalados (actual y reemplazo por termo paneles). Se obtendrá el VAN y el TIR para contemplar la toma de decisión de inversión.

Capítulo II: Fundamentos Teóricos

2.1 Marco teórico

Las fuentes de energía renovable no convencionales (ERNC) juegan un papel de vital importancia para hacer frente a aquellas que generan gases de efecto invernadero. Existe un consenso generalizado entre los investigadores en que proceso de cambio climático en el que nos vemos envueltos como especie tiene directa relación con el aumento de los gases de efecto invernadero, y que la afirmación anterior es de vital importancia para hacer frente al aumento de estos (Vargas et al, 2019). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) define, en 1992, la legislación internacional relacionada a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. En su tercera conferencia (Kioto, 1997) se estableció un protocolo practico que establece una reducción en la emisión de los mencionados gases en un 5,2% para el periodo 2008-2012 en relación a los niveles observados a principios de la década de los 90s. Mas recientemente, el Acuerdo de Paris (tratado internacional sobre el cambio climático que se presenta como jurídicamente vinculante) establece, en noviembre del 2016, metas concretas respecto a los límites que se espera respetar en relación al calentamiento global. En él se decreta que el objetivo es no alcanzar los 1,5 °C de aumento de temperatura en comparación a los niveles preindustriales, y que los países firmantes de propongan alcanzar a disminuir la emanación de gases de efecto invernadero lo antes posible para lograr un planeta con clima neutro para mediados de siglo. Se espera que para el 2030, las soluciones de cero emisiones de carbono puedan ser competitivas en sectores que representan más del 70% de las emisiones mundiales (United Nations Framework Convention On Cimate Change, 2022). Las ERNC tienen como principal característica que sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía eléctrica útil no se consume ni se agota. Son diversas, abundantes, con potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, su origen es pletóricamente más diverso que las provenientes de combustibles fósiles y, por sobre todo, no generan gases de efecto invernadero. Su entrada en la escena mundial dista de estar relacionado con el medio ambiente, y se vincula con la escasez de petróleo derivado de la Guerra de Yom Kipur, conflicto bélico que enfrenta a Egipto y Siria contra Israel, y en la que los países árabes embargan la venta de petróleo a EE. UU. tras su apoyo a la nación hebrea. Entre sus fuentes de ERNC podemos encontrar a la energía eólica (obtenida a través del viento), solar (obtenida a través del sol), mareomotriz (obtenida por el movimiento de las mareas), geotérmica (obtenida mediante el calor contenido bajo la corteza terrestre), hidroeléctrica (obtenida por la corriente de los ríos) y la biomasa (obtenida por la quema de materia orgánica). Actualmente, la Asociación Chilena de Energías renovables y almacenamiento (ACERA) sostiene que el 38,5% del sistema eléctrico nacional, de Aysén, de Magallanes y de Rapa Nui es alimentado por ERNC, correspondientes a 12.665 MW.

Figura 2.1.1 ERNC



Fuente: ACERA, Estadísticas (2022)

Del total de ellas, 6.937 MW de potencia neta corresponden a energía solar fotovoltaica, representando el 21,2% del total, existiendo en la región un total de 260 MW de capacidad instalada de ERNC, principalmente energía solar fotovoltaica.

Tabla 2.1.1 ERNC

Capacidad Instalada Mayo-22

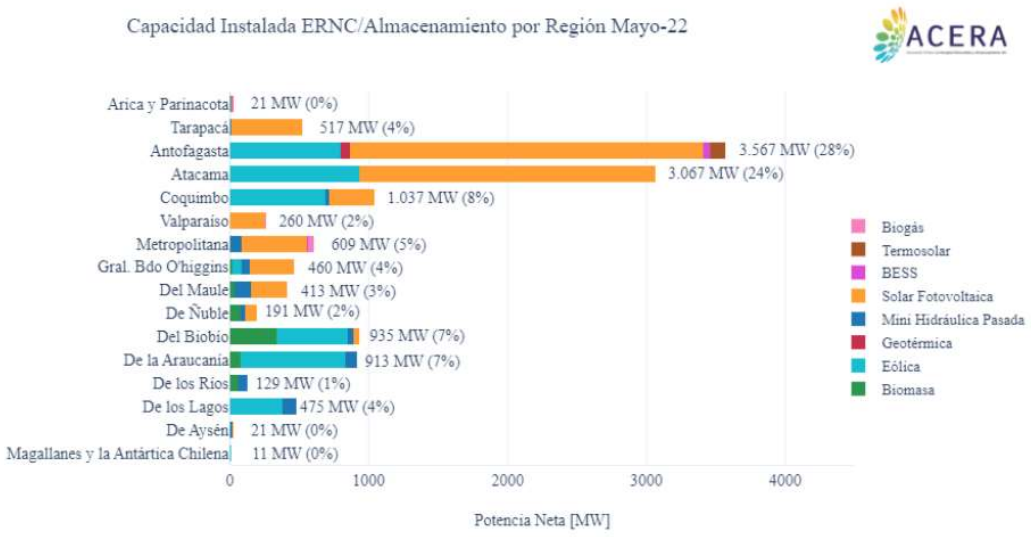
ACERA

Tecnología	Tipo de Energía	Potencia Neta [MW]	Potencia Neta [%]
Biogás	ERNC	60	0,2%
Biomasa	ERNC	601	1,8%
Eólica	ERNC	4.138	12,6%
Geotérmica	ERNC	73	0,2%
Mini Hidráulica Pasada	ERNC	646	2,0%
Solar fotovoltaica	ERNC	6.937	21,2%
Termosolar	ERNC	108	0,3%
Hidráulica Embalse	Hidraúlica Convencional	3.393	10,4%
Hidráulica Pasada	Hidraúlica Convencional	3.387	10,3%
Carbón	Térmica	4.526	13,8%
Cogeneración	Térmica	18	0,1%
Fuel Oil Nro. 6	Térmica	142	0,4%
Gas Natural	Térmica	4.904	15,0%
Petróleo Diesel	Térmica	3.628	11,1%
Propano	Térmica	14	0,0%
Petcoke	Térmica	21	0,1%

Considera Sistema Eléctrico Nacional, de Aysén, de Magallanes y de Isla de Pascua. Incluye centrales en operación y en pruebas.

Fuente: ACERA, Estadísticas (2022)

Figura 2.1.2 ERNC

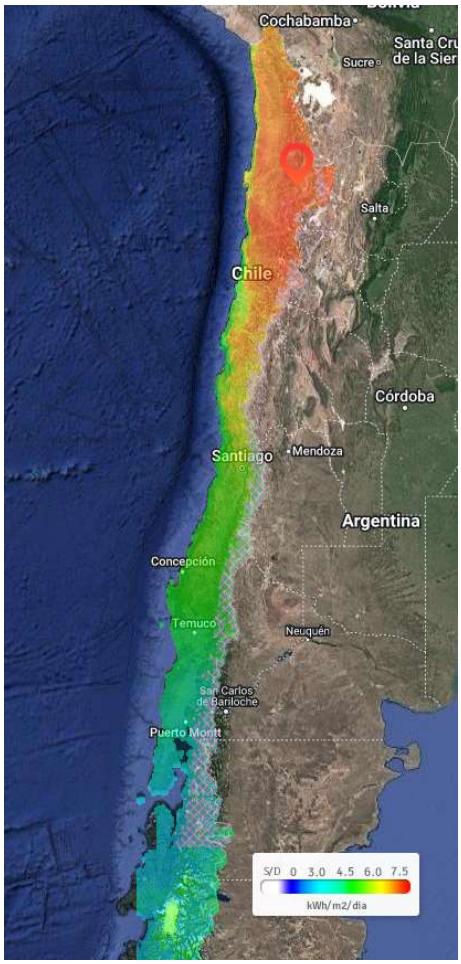


Fuente: ACERA, Estadísticas (2022)

2.1.1 Energía Solar

La energía solar es aquella que, producida por el resultado de reacciones nucleares en las que interviene la fusión de átomos de hidrogeno convertidos en helio, se aprovecha produciendo calor o electricidad. Las ondas electromagnéticas irradiadas por esta estrella son captadas por mecanismos derivados de la tecnología pudiendo transformar esta energía directamente en energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos o a través de su propia concentración, calentando agua acumulada en colectores solares para su uso sanitario. La principal característica de la primera de estas tecnologías (su uso fotovoltaico) es que se compone de elementos modulares y escalables, pudiendo utilizarse tanto en sistemas domésticos como en grandes complejos industriales (Chicaguala, 2017). Para comprender el uso de este tipo de energía es necesario entender dos conceptos relacionados al sol; Irradiancia y radiación. La irradiancia es la potencia incidente por unidad de superficie de cualquier onda electromagnética sobre la superficie en la que incide, medida en W/m2. Por otra parte, la radiación es la cantidad de irradiancia recibida en una determinada cantidad de tiempo, por lo tanto, se enuncia generalmente en Kwh/m2/día o Kwh/m2/año (Walker, 2018). La energía que llega a nuestro planeta en esta forma equivale a 35 millones de veces la energía producida por todas las centrales eléctricas de Chile (Cataldo, 2018). Esta energía es renovable, no se agota, está siempre disponible y se puede aprovechar en cualquier momento en tanto es almacenable en baterías. Las condiciones del territorio nacional para la obtención de energía solar son altamente propicias y, como se observan en la figura 6, en las condiciones más optimas alcanzan hasta los 7.5 kWh/m2/día.

Figura 2.1.1.1 Radiación solar en Chile.



Fuente: Explorador solar, solar.minenrgia.cl/exploración (2023)

Dentro de estas condiciones favorables, el desierto de atacama presenta una categoría particularmente privilegiada incluso para estándares internacionales. Como se aprecia en la tabla 2, es uno de los 5 desiertos con mayores índices de energía solar en el mundo.

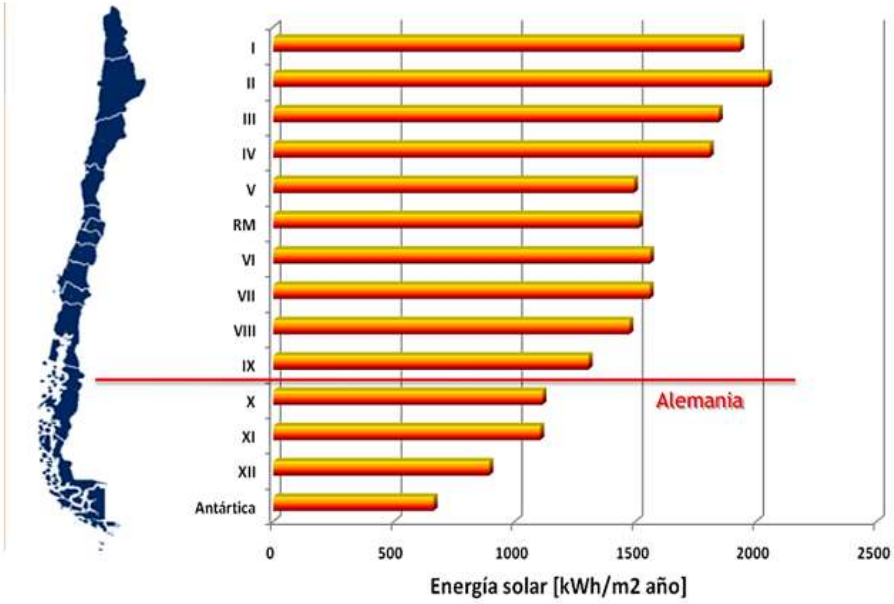
Tabla 2.1.1.1 radiación Solar

Ubicación / Desierto	Radiación (W/m2)	km2 para generar 3 TW
África, Sahara	260	144,2
Australia, Great Sandy	265	141,5
Medio oriente, Arábigo	270	138,9
Chile, Atacama	275	136,4
EE.UU, Great Basin	220	170,5

Fuentes: J. Bishop y W. Rossow, Spatial and temporal variability of global surface solar irradiance, J. Geophys. Res.96, 16839-16858 (1991)

Si bien pareciera que solo las regiones del norte grande de nuestro país se benefician de las virtudes de la radiación solar, puesto en perspectiva, incluso en la ciudad de Punta Arenas es técnicamente factible obtener energía eléctrica o térmica a partir de la radiación solar. En la figura 7 se observa cómo, a modo referencial, el nivel de radiación promedio en Alemania, país líder en el desarrollo de energía solar con más del 27% de la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en el mundo, solo cuenta con el equivalente a la Región de Aysén, explicitando de manera grafica la ventaja comparativa de nuestro territorio en esta materia.

Figura 2.1.1.2 Radiación solar



Fuente: Energía solar por Región en Chile v/s Alemania. Fundación Chile, 2010.

Sin embargo, la radiación solar puede llegar a la tierra de tres formas diferentes: directa, difusa y albedo.

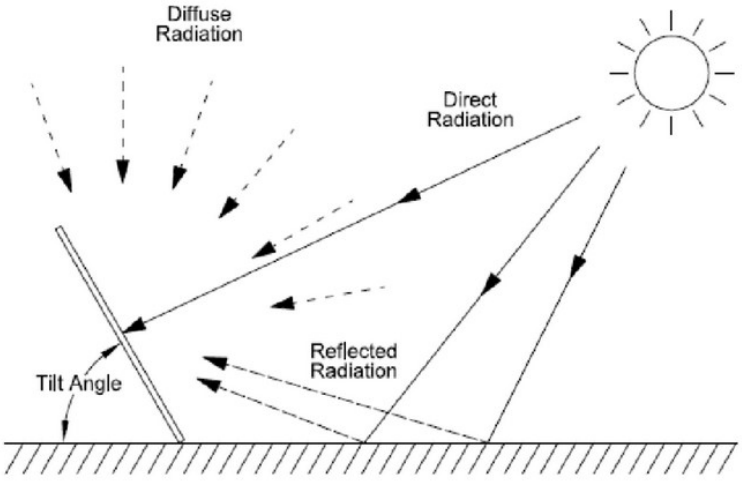
La radiación directa es la que más aprovechable y la más importante para la captación energética, en tanto no es desviada al pasar a través de la atmosfera. Esta aporta la mayor cantidad de energía y es la más importante al momento de evaluar la factibilidad de la puesta en marcha de un sistema que se alimente de energía solar.

La radiación difusa es la reflejada o absorbida por las nubes antes de llegar a la superficie. Además, el cielo diurno emite radiación difusa debido a fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmosfera, nubes y otros elementos. No posee una dirección especifica (es multidireccional) como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no produce sombra y en ella se involucran las partículas de agua, polvo en suspensión, entre otros.

El albedo es una medida respecto a la tendencia de una superficie a reflejar la radiación incidente. Esto es, la radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que recibe. Por lo tanto, las superficies claras tienen valores de albedo mayores a las oscuras y las brillantes más que las mate.

La suma de estas radiaciones es conocido como radiación global, variable que depende del momento del día, las condiciones atmosféricas, la latitud y la estación del año.

Figura 2.1.1.3 radiación Solar



Fuente: Types of Solar Radiation (Mallon et al. 2017)

El ministerio de energía, en conjunto con la Universidad de Chile, ha desarrollado una plataforma llamada “Explorador Solar”, interfaz que posee datos a los que se pueden acceder de manera pública sobre la irradiancia solar superficial en el territorio nacional que incluye mediciones horarias desde el año 2004 al 2016. Los resultados se basan en datos de análisis globales de donde obtienen la irradiación solar a cielo despejado y a través de un modelo empírico basado en datos satelitales pueden brindar información para condiciones más desfavorables (Molina et al, 2017).

Los datos pueden ser descargados en un archivo CSV y son capaces de entregar la radiación anual global horizontal, global inclinada 33°, directa normal y difusa horizontal, además de datos meteorológicos en tiempo real y los promedios mensuales. En su apartado de gráficos permite elegir entre ciclos diarios, mensuales y anuales.

Figura 2.1.1.4 Explorador Solar



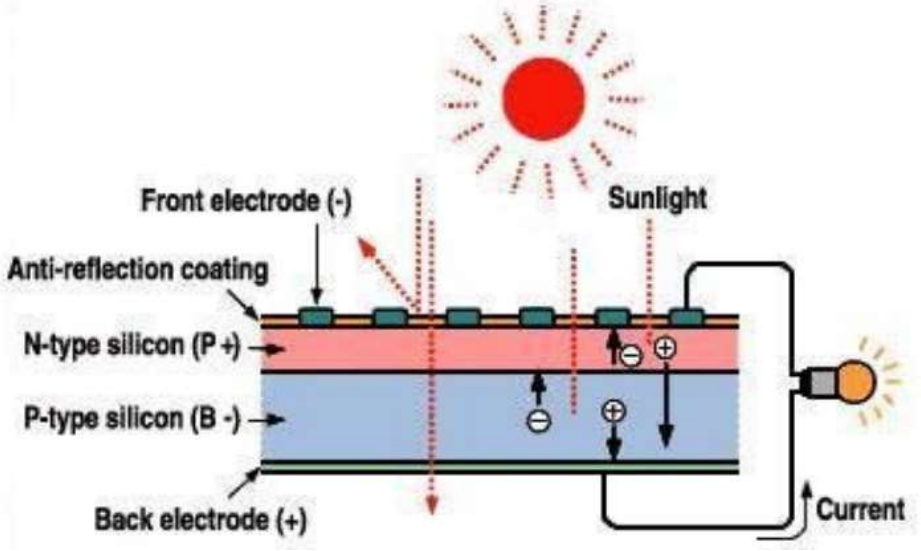
Fuente: Solar.minenergia.cl/exploración. 2022

Esto permite calcular el potencial fotovoltaico del inmueble de manera precisa.

2.1.2 Sistema Fotovoltaico

La energía solar fotovoltaica es aquella que genera electricidad teniendo como origen la luz solar empleando tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Este proceso se realiza con materiales cuyas propiedades permiten absorber los fotones de la luz y emitir electrones que generan una corriente eléctrica que luego es encausada a través de elementos conductores.

Figura 2.1.2.1 Panel Fotovoltaico



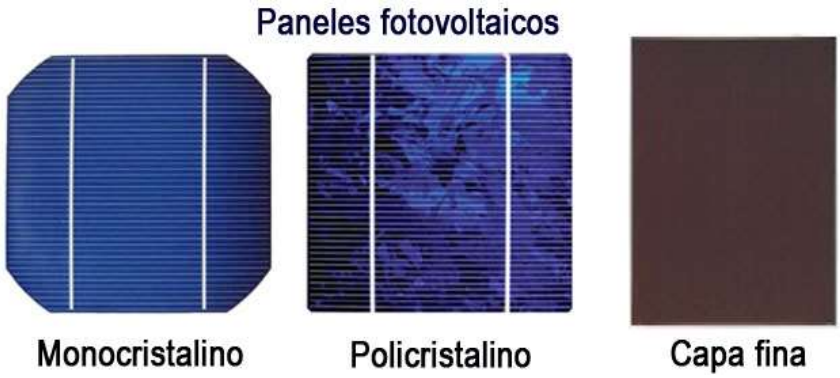
Fuente: Green Solar Electric Vehicle Changing the Future Lifestyle of Human, Zhang et al, Shenzhen, China, 2010.

El panel, al recibir la luz producirá, al mismo tiempo, voltaje y corriente para generar poder eléctrico. Un diagrama típico de un panel solar de silicio se expone en la figura 9. La conversión de energía solar en energía eléctrica consiste en dos pasos esenciales. Primero, se necesita un material que al absorber la luz genere un agujero de electrón en pares. El electrón y el agujero son separados por la estructura del dispositivo, traspasando electrones al electrodo negativo y los agujeros al electrodo positivo, generando de esta forma energía eléctrica. Existe una variedad de materiales y procesos que pueden satisfacer estos requerimientos, pero en la realidad, prácticamente todos los procesos de conversión energética fotovoltaica usan semiconductores en la forma de aleación P-N (Zhang et al, 2010). Estos materiales, al igual que todos, están formados por bandas de energía, es decir, una banda externa de conducción, una de valencia y entre ellas la banda prohibida. En un conductor, los electrones están ligados de forma débil con la banda de valencia, por lo que circulan con facilidad a la banda de conducción, donde los electrones se mueven libremente cuando se aplica una tensión externa. En el caso de un material aislante ocurre diametralmente lo opuesto, la banda de valencia no libera a los electrones con tanta facilidad. En un semiconductor, la banda de conducción está vacía y la de valencia ocupada, al tiempo que sus electrones forman enlaces no tan fuertes como en un aislante. Con una diferencia de tensión, pueden pasar de la banda de valencia a la de conducción, generando la relación agujero-electrón expuesta anteriormente. Los materiales P-N son una clase de semiconductor compuesto por una red cristalina de silicio “dopada” con otros átomos. Los átomos con un electrón más de valencia que el silicio es utilizado para producir un material “de tipo N”, entregándole un electrón más de valencia, lo que le permite participar en la conducción cuando los dos átomos se enlazan. Esto es, se añaden más electrones a la banda de conducción y por lo tanto aumenta el número de electrones presentes. Por otra parte, los materiales tipo P poseen átomos que carecen de un electrón. El resultado es un “agujero” que permite la captación del electrón extra dopado al material tipo N, fomentando así el tránsito de electrones de un material a otro al momento de ser expuesto a los fotones de la luz solar. Cuando la luz incide en el material tipo N, los electrones de la banda de valencia pasan a la conducción y avanzan hacia el material tipo P, lo que crea una corriente eléctrica captada por filamentos de cobre u otro conductor asociado a las celdas fotovoltaicas.

Existen 3 tipos de paneles fotovoltaicos dependiendo del método de fabricación:

1. Células de silicio monocristalino, en la que cada célula se corta en un cristal de silicio. El silicio presenta una alta pureza y una estructura cristalina perfecta. Su rendimiento alcanza entre el 15% al 21%.
2. Células de silicio policristalino, formado por conjuntos de cristales de silicio fundido y vertidos en un molde. El bloque, al enfriarse, se cristaliza de manera imperfecta, formando tonalidades de diferentes colores en la superficie. Su rendimiento ronda entre los 14% y 20%.
3. Células de silicio amorfo o película delgada. Son menos eficientes, más económicos y forman parte de los relojes o calculadoras más coloquiales.

Figura 2.1.2.2 Paneles fotovoltaicos



Fuente: https://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/ (2014)

En proyectos domiciliarios, los paneles pueden configurar dos tipos de ecosistemas: Off grid y On grid. Lo que diferencia principalmente a un sistema de otro es que el On grid sigue dependiendo de la red eléctrica para funcionar, en cambio el sistema Off grid es independiente gracias a una red de baterías que se incorporan en su instalación, en donde se puede almacenar la energía generada durante el día sin la necesidad de recurrir a la red central de energía. De buenas a primera, los sistemas On grid parecieran menos útiles y robustos, pero la interacción entre la energía generada por los paneles fotovoltaicos y la red central da paso a interacciones con la red central que resultan interesantes para este caso de estudio. En concreto, es posible que la energía producida y que no es consumida se pueda inyectar a la red, y en caso contrario, cuando la demanda no alcanza a ser cubierta por la producción del sistema, se puede utilizar la electricidad distribuida por la red central, complementando así ambas formas de oferta energética. Para poder hacer uso de esta forma complementaria de energía, es necesario poseer tres equipos:

1. Panel Fotovoltaico: Capta la irradiación solar y la transforma en energía eléctrica. Su detalle ya se ha expuesto con anterioridad en este texto.
2. Inversor: Transforma la corriente continua obtenida a través del panel solar en corriente alterna, que es la utilizada de forma domiciliaria.
3. Medidor bidireccional: Equipo encargado de cumplir la labor de medir la electricidad consumida desde la red eléctrica y los excedentes producidos e inyectados a la red central desde el sistema fotovoltaico.

Figura 2.1.2.3 sistema On Grid



Fuente: Acesol, 2022

2.1.3 Net Billing

La ley 20.571 (Ley de facturación neta) entre en vigencia durante el año 2014, y tiene como principal objetivo regular las tarifas eléctricas de la generación residencial. Se fundamenta en que las empresas distribuidoras puedan cobrar a los clientes los consumos descontando la valorización de sus excedentes de energía eléctrica inyectada a la red. Esta ley se presentó como restrictiva en tanto limitaba la potencia de los proyectos a 100kW, y no fue hasta el 2018 que fue reemplazada por la ley 21.118 (Ministerio de energía, 2018) denominada Net Billing, permitiendo que quienes opten por sistemas de autogeneración con energías renovables puedan instalar proyectos de hasta 300 kW, traspasar el saldo de excedentes favorables a otra dirección (asociada al mismo RUT del cliente y dentro de la misma zona de concesión) y descontar desde los excedentes todos los cargos aplicados por la distribuidora. Además, hasta la potencia de 20 kW las empresas distribuidoras siempre estarán obligadas a pagar por toda la energía inyectada, hasta la potencia de 50 kW todas las fundaciones sin fines de lucro tendrán el derecho a percibir el dinero generado por la inyección de energía.

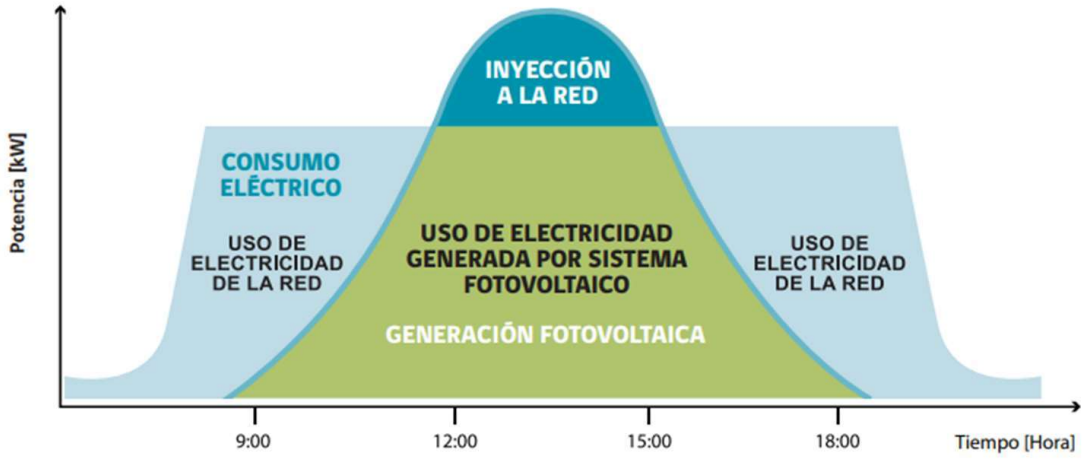
Figura 2.1.3.1 Sistema Net Billing



Fuente: CGE (Compañía general de electricidad industrial S.A.) (2022)

El principio de Net Billing o de generación distribuida propone que la conexión de un sistema fotovoltaico al tablero eléctrico pueda trabajar en conjunto con la red central, permitiendo que los usuarios pasen de ser consumidores a prosumidores, es decir, que consuman y produzcan de manera conjunta. Esto es posible gracias al medidor bidireccional que registra el consumo y la inyección de energía desde la red centralizada. Los principales beneficios de este formato es que se puede cubrir la parcialidad del consumo eléctrico y, cuando la generación del sistema fotovoltaico sobrepase lo consumido, se recibe una disminución en la facturación mensual producto de la inyección de energía.

Figura 2.1.3.2 Sistema On-Grid

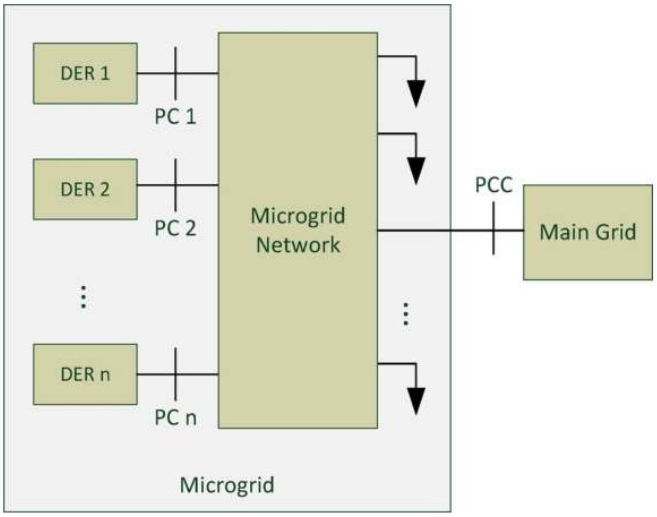


Fuente: Ministerio de energía (2022)

2.1.4 Microred

Una micro-red es un conjunto de inmuebles cercanos que poseen sistemas de generación propia de electricidad, pudiendo vender sus excedentes o compartirlos con otros integrantes de la comunidad que no cuentan con la infraestructura o la capacidad para poseer su instalación propia. En general, una micro-red puede ser cualquier configuración arbitraria como la representada en la figura 14, en donde las DER (Recursos energéticos distribuidos, por sus siglas en ingles), entregan energía a una red que está conectado a PCC (punto de copla común), el cual puede estar o no en conexión con la red centralizada de energía.

Figura 2.1.4.1 Modelo de microgrid



Fuente: Daniel E. Olivares, Trends in Microgrid Control, 2014

Este tipo de comunidades presentan un objetivo cooperativo que por un lado busca reducir la dependencia energética de la red central, y por otro lado los edificios intercambian la electricidad generada se reparte en diversas demandas y patrones de consumo, fijando las propias condiciones de los usuarios (Vardakas et al, 2018). También podemos definirla como un grupo de distribución de recursos energéticos y cargas interconectadas dentro de limites eléctricos bien definidos, que actúan como una única entidad controlable respecto a la red. Una micro red puede estar conectada o desconectada de la red de manera de permitir la operación en ambos casos, en modo conectado y en modo isla. (Glenwright, 2012). Valencia et al (2021) define la micro red como un conjunto de unidades de generación y sistemas ed almacenamiento de energía que interactúan para proporcionar la energía entre sus usuarios (vivienda, comercio y servicio público). En la instalación tecnológica que se genera en la comunidad, se da lugar a una relación simbiótica en la que el comportamiento de la comunidad afecta a la micro red y viceversa. El éxito y sostenibilidad de la aplicación de la micro red dependerá de las interacciones y relaciones que se establezcan entre los instrumentos técnicos, el medio ambiente, los usuarios, las actividades económicas y la evolución de todas estas.

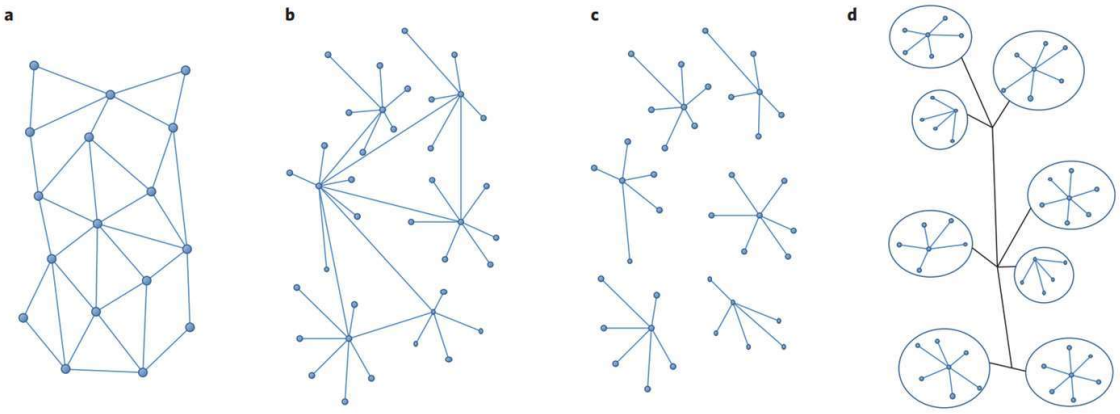
Se establecen 3 beneficios principales a la hora de hablar de micro redes (Alcarruz, 2021):

1. Seguridad, resiliencia y confiabilidad
2. Reducción de costos y sustentabilidad
3. Implementación de un modelo de negocios más competitivo.

Ahora bien, aunque la promulgación del reglamento de Net Billing aclara que los usuarios podrán agruparse y acreditar la propiedad conjunta de un sistema, con todos los derechos de inyección de energía anteriormente detallados, y que en función de su porcentaje de participación estarán acreditados por la SEC a recibir descuentos en las boletas respectivas, se restringe la venta de los excedentes a usuarios finales que no sean la empresa distribuidora del área concesionada. Esto limita el principio cooperativo de las micro redes, no pudiendo liberarse del uso de la compañía de distribución centralizada, no existiendo un intercambio de energía entre los usuarios que tienen excedentes y los que no cuentan con cubiertas para instalar un sistema fotovoltaico. Un intercambio P2P (Peer to Peer) sin intermediarios solo podría darse, bajo esta legislación, en propiedades sujetas a copropiedad inmobiliaria.

Parag y Sovacool (2016) proponen cuatro modelos diferentes dentro del mercado eléctrico de las micro redes a la hora de adoptar modelos de negocios en función de los intereses de sus miembros, en donde los prosumidores participan con diferentes formas de vinculación entre ellos.

Figura 2.1.4.2 Estructura de prosumidores



Fuente: Parag y Sovacool (2016)

A. Peer-to-Peer (P2P): Los prosumidores se interconectan y pueden vender sus excedentes o energía producida de igual a igual sin intermediarios. Es posible generar una trazabilidad de la energía en transacción utilizando tecnología Blockchain para fijar precios y condiciones diferentes a las de la distribuidora.
B. Prosumidor-a-Micro-redes interconectadas: Las micro redes interconectadas que inyectan energía a la red de distribución comparten energía entre ellas, pudiendo también funcionar en modo isla.
C. Prosumidor-a-isla micro red: Los prosumidores son parte de micro redes que funcionan en modo isla, sin interactuar con otras micro redes.
D. Grupos organizados de prosumidores: Los prosumidores agrupan sus micro redes y actúan de forma organizada.

El uso de microrredes en el sistema eléctrico conlleva varios beneficios, entre los que se incluye la reducción o eludir los costos relacionados con la expansión de la infraestructura de generación, transmisión y distribución, como la construcción de nuevas centrales eléctricas, líneas de transmisión o transformadores de mayor capacidad. Además, estas microrredes ofrecen ventajas en términos de cumplimiento de objetivos de energía renovable, que varían según cada país. Esto se debe principalmente a que las microrredes contribuyen a reducir la generación de electricidad mediante fuentes fósiles.

Por otro lado, las microrredes también posibilitan la disminución de las pérdidas de potencia y las fluctuaciones de voltaje en el sistema de distribución. Esto se logra al utilizar almacenamiento de energía o recursos en el lado de la demanda para mitigar las variaciones de voltaje. La reducción de las pérdidas de potencia del sistema, desde la perspectiva del distribuidor, se refiere a la disminución de las pérdidas anuales de energía que se producen con la implementación de microrredes en comparación con las pérdidas anuales de energía en un sistema tradicional.

Los beneficios sociales de una microrred se pueden resumir en la generación de nuevas oportunidades de investigación y empleo, tanto directo como indirecto. Además, incluyen la electrificación de áreas remotas y no interconectadas, la promoción de incentivos para el ahorro de energía y la reducción de emisiones. Al aumentar la generación distribuida, se logra una disminución de las emisiones, lo que a su vez mejora la calidad de vida de las personas. Es importante destacar que, aunque estos beneficios son significativos, no se incluyen en este estudio debido a la falta de una metodología clara para cuantificarlos en la literatura existente.

Entre las principales ventajas de las micro red, encontramos:

- Diversificación de la matriz energética: Reducen la dependencia de combustibles fósiles.
- Generación comunitaria de la energía: Vinculan a la comunidad con la producción y consumo de energía (consumidor vs prosumidor).
- Resiliencia: Mantienen suministro energético en caso de emergencia.
- Reducción de costos
- Sustentabilidad: generación energética a través de ERNC.

2.1.5 Design Builder

Design Builder es el software utilizado para modelar el inmueble a intervenir. Es una interfaz que combina la simulación energética avanzada con tecnología de modelado usado por ingenieros, arquitectos y consultores energéticos. Es capaz de diseñar edificios de manera sencilla para lograr metas de inversión que optimicen el uso ed la energía reduciendo su impacto ambiental. Cuenta con 9 módulos que trabajan en conjunto para proveer análisis energético y térmico del edificio. A continuación, se describen los 9 módulos del programa actual y su uso en el análisis integral del desempeño energético:

1. Visualización: Este módulo permite la representación visual de modelos virtuales de edificios. También facilita el estudio del impacto de la radiación solar en el edificio mediante diagramas tridimensionales que muestran la trayectoria solar según la ubicación del proyecto.

2. Simulación: En este módulo, se realizan simulaciones dinámicas avanzadas utilizando Design Builder como una interfaz gráfica de usuario para EnergyPlus, que es el motor de cálculo de la simulación. Esto permite evaluar el rendimiento energético del edificio.

3. Optimización: El módulo de optimización utiliza algoritmos para identificar las mejores alternativas de diseño que maximizan los beneficios económicos, energéticos y de confort. Se tienen en cuenta una variedad de variables, objetivos y restricciones de diseño.

4. Iluminación: Este módulo se enfoca en la evaluación y optimización del uso de la luz natural en edificios, mejorando las condiciones de iluminación y reduciendo las cargas térmicas y el consumo energético asociado a la iluminación artificial. Utiliza el motor de cálculo Radiance para calcular parámetros de desempeño lumínico.

5. Costos: En este módulo, se evalúa el impacto económico del rendimiento energético y medioambiental del edificio. Se consideran los costos de construcción, energía y ciclo de vida del edificio.

6. CFD: El análisis CFD (Dinámica Computacional de Fluidos) se basa en la dinámica de fluidos y permite una evaluación detallada de las condiciones interiores de los edificios, incluyendo el movimiento y distribución del aire y la temperatura.

7. HVAC: Este módulo proporciona acceso a funciones avanzadas de análisis de sistemas HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado) utilizando EnergyPlus. Permite simular una

amplia gama de sistemas HVAC, especificando cada uno de sus componentes de manera detallada.

8. LEED: Este módulo está diseñado para cumplir con los requisitos de energía del sistema de certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental). Se basa en el estándar ASHRAE 90.1 de 2007 y 2010 para modelar el edificio y sus sistemas.

9. EMS: El Sistema de Gestión de Energía (Energy Management System) utiliza secuencias de comandos para realizar simulaciones sobre el comportamiento del edificio y sus sistemas, como climatización, ventilación natural, iluminación y acristalamiento. Amplía las funcionalidades de EnergyPlus.

Estos módulos proporcionan herramientas integrales para analizar y optimizar el desempeño energético de edificios, abordando aspectos que van desde la simulación y la iluminación hasta la evaluación económica y medioambiental.

Algunos de los aportes que DesignBuilder puede ofrecer son:

1. Identificación de problemas de eficiencia energética: DesignBuilder permite a los usuarios identificar problemas de eficiencia energética en los edificios, como pérdidas de calor o ganancias de calor excesivas, lo que puede ayudar a los diseñadores y propietarios de edificios a tomar medidas para mejorar la eficiencia energética y reducir los costos de energía.

2. Evaluación de estrategias de diseño: DesignBuilder permite a los usuarios evaluar diferentes estrategias de diseño, como la selección de materiales de construcción, la orientación del edificio, la eficiencia de los sistemas de climatización, entre otros, para optimizar el rendimiento energético y el confort térmico del edificio.

3. Análisis de la demanda energética: DesignBuilder permite a los usuarios analizar la demanda energética del edificio, lo que puede ayudar a los diseñadores y propietarios de edificios a tomar medidas para reducir el consumo de energía y los costos asociados.

4. Evaluación de la iluminación natural: DesignBuilder permite a los usuarios evaluar la iluminación natural en los edificios, lo que puede ayudar a los diseñadores y propietarios de edificios a tomar medidas para mejorar la eficiencia energética y el confort visual.

En resumen, DesignBuilder puede ofrecer una amplia gama de aportes para el análisis y diseño de edificios con un enfoque en la eficiencia energética y el confort térmico, lo que puede ayudar a los diseñadores y propietarios de edificios a tomar decisiones informadas y mejorar el rendimiento energético de los edificios.

2.1.6 Monumentos nacionales

De acuerdo con la página web de la UNESCO, “La ciudad colonial de Valparaíso constituye un ejemplo notable del desarrollo urbano y arquitectónico de América Latina a finales del siglo XIX. (…) En su paisaje urbano, dotado de unidad formal, se yergue una gran variedad de campanarios de iglesias. La ciudad ha conservado interesantes estructuras de los inicios de la era industrial, por ejemplo, los múltiples funiculares que recorren las escarpadas laderas de las colinas.”. Es por esto por lo que parte del área histórica de la ciudad puerto, correspondiente al Barrio puerto, Plaza Sotomayor – Plaza de justicia, Calle Prat – área de edificio del Reloj Turri y los cerros Concepción y Alegre fueron declarados, en el año 2003, como patrimonio de la humanidad. El nombramiento por parte de la UNESCO viene acompañado de una “normativa específica con criterios y normas básicas para la conservación y gestión

del patrimonio inmueble de Valparaíso, inserto en los límites protegidos por la Ley N.º 17.288 de Monumentos Nacionales" (Instructivo de intervención "Zona típica área histórica de Valparaíso", 2001). Este documento oficial tiene como propósito establecer y comunicar de manera pública las intervenciones planeadas. Proporciona información precisa a las autoridades involucradas en los procesos de aprobación, así como a los arquitectos encargados de los proyectos, planificadores urbanos, revisores independientes, empresarios inmobiliarios y, especialmente, a los propietarios de los inmuebles ubicados en los barrios patrimoniales de Valparaíso. Está destinado a aquellos que residen, visitan o tienen interés en el desarrollo de estos barrios históricos. En el mencionado instructivo, se especifica lo siguiente:

"La techumbre, en los inmuebles de Valparaíso, constituye lo que se ha denominado quinta fachada, siendo un elemento característico que trasciende los inmuebles de interés patrimonial. La quinta fachada es un elemento presente e importante que percibir desde diferentes puntos del anfiteatro urbano, por lo que debe conformar una propuesta integral. La quinta fachada no podrá constituirse en bodega o recintos de almacenaje, conjunto de ductos a la vista y de cualquier tipo que resulten colocados espontáneamente, sin una visión de conjunto. No se podrá usar la quinta fachada con motivos publicitarios.

La materialidad de la quinta fachada no podrá ser discordante con el conjunto y se mantendrá en buen estado de conservación, libre de elementos agregados que no correspondan a la tipología tradicional. Todo elemento agregado que ha distorsionado la imagen del conjunto deberá ser retirado." (Instructivo de intervención "Zona típica área histórica de Valparaíso", 2001).

Sin embargo, y atendiendo a estos antecedentes, se le consultó a la Dra. Marcela Hurtado, presidenta del Comité Chileno del International Council on Monuments and sites (ICOMOS) respecto a la posible intervención de la techumbre del pasaje Bavestrello. Su respuesta se detalla a continuación:

"La pregunta es compleja, porque, si bien hay un instructivo de intervención, finalmente el CMN decide. Yo creo que en ese caso habría que procurar modificar lo menos posible la morfología de la cubierta. Sé de un caso en el paseo Dimalow (un edificio que era hostal). Las placas eran MUY visibles. En tu caso, están mucho menos visibles. Creo que es cosa de presentar bien el proyecto, y fundamentar desde el confort y la habitabilidad."

De esta forma, se abre la puerta a la posibilidad de intervención de la techumbre del pasaje.

2.1.7 Medidas financieras

Para asegurarnos de que la intervención energética al inmueble es una medida financieramente sostenible, se utilizarán los indicadores de bondad financiera VAN y TIR.

- VAN (Valor Actual Neto): El Valor Actual Neto es una medida financiera utilizada para evaluar la rentabilidad de una inversión o proyecto. Representa la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo futuros generados por la inversión y el costo inicial de la inversión. En otras palabras, el VAN ayuda a determinar si un proyecto o inversión generará más dinero del que se invierte en él. Si el VAN es positivo, generalmente se considera una inversión favorable, mientras que si es negativo, la inversión podría no ser rentable.
  Para calcular el VAN, se siguen estos pasos:
  - Se proyectan los flujos de efectivo futuros que se espera que genere el proyecto durante su vida útil.
  - Se descuentan esos flujos de efectivo al valor presente, utilizando una tasa de descuento apropiada (por lo general, una tasa de costo de capital o una tasa de interés).
  - Se resta el costo inicial de la inversión.

  Un VAN positivo indica que la inversión generará más dinero del que se invierte en ella, lo que generalmente se considera una inversión favorable. Un VAN negativo indica que la inversión no generará suficientes flujos de efectivo para cubrir su costo inicial, lo que podría hacer que sea una inversión no rentable.

Su fórmula está definida por:

$$\mathrm{VAN} = \sum_{t=1}^{n} \frac{\mathrm{CF}_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Donde CFt es el flujo de caja en el tiempo, I0 es la inversión inicial, t es el tiempo (años) y r la tasa de descuento.

- TIR (Tasa Interna de Retorno): La Tasa Interna de Retorno es otra medida financiera utilizada para evaluar proyectos de inversión. Representa la tasa de interés a la cual el VAN de un proyecto se iguala a cero, es decir, cuando los flujos de efectivo futuros generados por la inversión son iguales a su costo inicial. La TIR se utiliza para determinar la rentabilidad de un proyecto y compararla con otras oportunidades de inversión. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento requerida (o costo de oportunidad), el proyecto se considera rentable.

  Para calcular la TIR, se busca la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero mediante métodos de prueba y error o utilizando software financiero. La TIR es la tasa a la que los flujos de efectivo futuros se descuentan para igualar el costo inicial. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento requerida (tasa de costo de capital o tasa de oportunidad), el proyecto se considera rentable, ya que está generando un retorno mayor que la tasa de oportunidad. Si la TIR es menor que la tasa de descuento requerida, el proyecto podría no ser rentable.

  Su fórmula viene dada por:

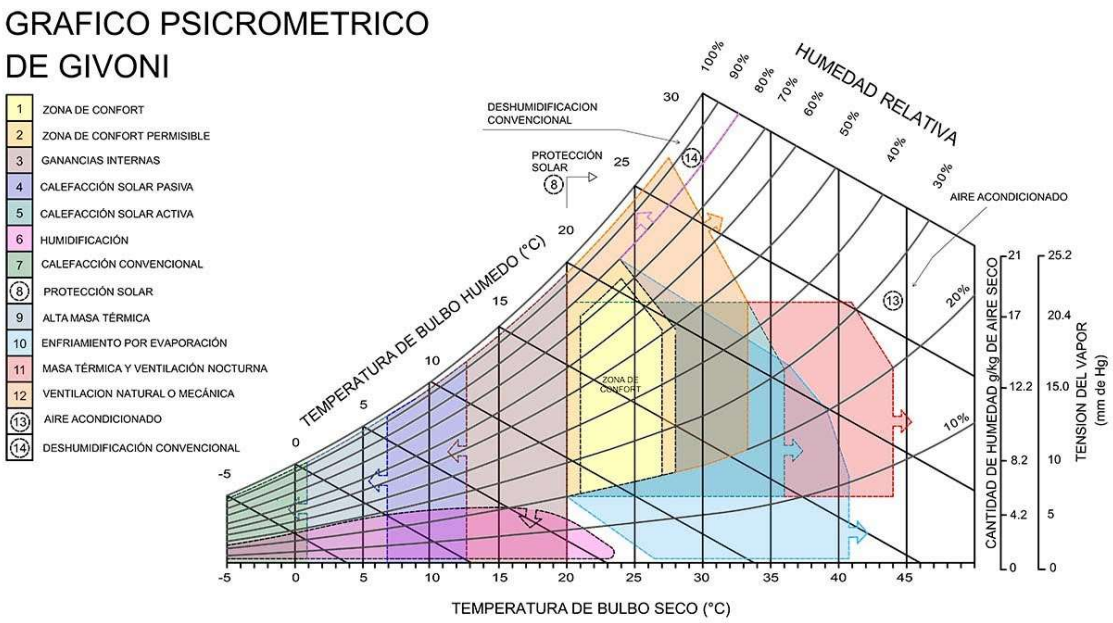
$$\mathrm{VAN}_{\mathrm{TIR}} = 0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{\mathrm{CF}_t}{(1+\mathrm{TIR})^t} - I_0$$

2.1.8 Confort Térmico

Las condiciones ambientales dentro de edificaciones o viviendas juegan un papel fundamental en la creación de un entorno confortable. Esta sensación de comodidad está intrínsecamente ligada a la interacción térmica entre las personas y su entorno, influenciada por diversas variables que impactan en el ambiente interior. La humedad es una de estas variables, y por ende, la percepción térmica se vincula estrechamente con el concepto de "confort higrotérmico". “La interacción térmica entre el entorno y las personas se genera debido a que el cuerpo humano se encuentra en un intervalo de temperatura de 36 ° C a 37 °C” (Florian et al., 2016) generando pérdidas continuas de calor, así que, si nuestro cuerpo disipa calor a un ritmo apropiado, nos encontraríamos en una condición de confort térmico.

Para establecer condiciones de confort térmico, Givoni (1969) propone un ábaco psicométrico que muestra una relación entre la temperatura y la humedad. En esta grafica el autor propone una zona deconfort para el ser humano y también propone zonas con condiciones soportables, las cuales conducen evidentemente a recomendaciones de diseño a tener en cuenta, su propuesta mejorada data de 1981.

Figura 2.1.8.1 Abaco psicometrico



Fuente: Givoni (1969)

2.1.9 Eficiencia Energética

La eficiencia energética se refiere al uso eficaz de la energía para realizar una tarea específica, con el objetivo de minimizar el desperdicio y maximizar los resultados deseados. Este concepto se aplica en varios contextos, desde la producción industrial hasta la vida cotidiana y el diseño de políticas energéticas. Algunos puntos clave sobre la eficiencia energética:

Conservación de Energía: La eficiencia energética implica la conservación de energía al reducir el consumo sin sacrificar la calidad del servicio o producto. Esto puede lograrse mediante tecnologías más eficientes, prácticas de gestión inteligente de la energía y cambios en el comportamiento humano.

Beneficios Ambientales: Mejorar la eficiencia energética tiene beneficios significativos para el medio ambiente. Al reducir el consumo de energía, se disminuye la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes asociados con la generación de energía.

Economía de Costos: La eficiencia energética a menudo conduce a ahorros económicos. Aunque puede requerir inversiones iniciales, las tecnologías y prácticas eficientes a menudo generan ahorros a largo plazo a través de la reducción de costos operativos y de energía.

Tecnologías Eficientes: Se desarrollan constantemente nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia energética. Esto incluye dispositivos electrónicos más eficientes, sistemas de iluminación de bajo consumo, electrodomésticos con certificación energética y tecnologías renovables.

Normativas y Políticas: Muchos gobiernos implementan normativas y políticas para promover la eficiencia energética. Estas pueden incluir estándares de eficiencia para productos, incentivos fiscales para tecnologías eficientes y programas de concientización.

Eficiencia en Edificaciones: El diseño y la construcción de edificaciones eficientes desde el punto de vista energético son fundamentales. Esto implica el uso de materiales y técnicas que reduzcan la demanda de energía, así como sistemas eficientes de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) y una mejor aislación.

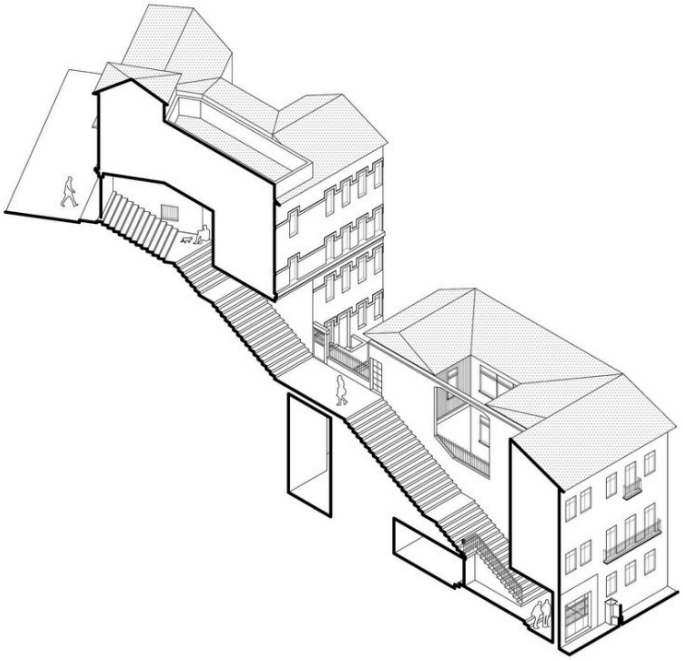
Educación y Conciencia: La eficiencia energética también depende en gran medida de la educación y la conciencia pública. Las personas pueden contribuir adoptando prácticas más eficientes, como apagar dispositivos cuando no están en uso, usar electrodomésticos eficientes y adoptar medidas para mejorar la eficiencia en sus hogares y lugares de trabajo.

Capítulo III: Desarrollo de la Investigación

3.1 Descripción del área de estudio

El pasaje Bavestrello se encuentra en el Cerro Alegre de la ciudad de Valparaíso, rodeado en tres cuartos de su perímetro por la calle Álvaro Besa, la cuarta fachada apunta hacia el mar en una quebrada en dirección a la calle Urriola. Sus coordenadas geográficas son 33°02'29.27''S71°37'45.49''W, y corresponde a un inmueble hibrido que hace las veces tanto de escalera como de edificio habitacional.

Figura 3.1.1 Esquema inmueble



Fuente: Valparaíso Público (2017)

De acuerdo con la Isabel Lagos Gomez (1999) se origina ante el desafío que impone la geografía, cuando las características topográficas propias de Valparaíso se transforman en la única vía determinante arquitectónica relevante, intentando salvar una condición geográfica adversa: Excesiva pendiente y escasez de terreno. El resultado entrelaza el espacio público (la escalera) y el espacio privado (el edificio), sin que se distinga con claridad cuál de los dos mantiene el protagonismo. El trazado de la calle Álvaro Besa, que abraza por todos lados el inmueble, resulta ser la componente principal para la ubicación, construcción e imagen característica del Pasaje Bavestrello, ya que es la manera de las condiciones geográficas donde se emplaza esta calle.

3.2 Condiciones de consumo y generación eléctrica

Para comenzar a desarrollar el caso de estudio se realizó, en primer lugar y en concordancia con la metodología de trabajo propuesta, la recolección de cuentas de electricidad de los vecinos del pasaje, con el objetivo de conocer sus gastos energéticos y poder generar una comparativa en relación con la electricidad obtenible a través de paneles solares fotovoltaicos. Para tal efecto, se les pidió a los vecinos del inmueble facilitar sus facturas electrónicas asociadas al consumo de electricidad, en tanto este documento se el consumo obtenido para los últimos 13 meses (Ver fig.).

Figura 3.2.1 Ejemplo consumo anual



Fuente: Elaboración propia, casa Bavestrello 32 (2023)

De los 14 departamentos pertenecientes al inmueble, 10 entregaron las facturas de consumo eléctrico, las faltantes fueron extrapoladas rellenando los datos con el promedio de consumo de los hogares que si quisieron hacerse parte del estudio. Existe, sin embargo, el caso de un hotel en el que no se obtuvo respuesta, y del cual, entendiendo que su consumo es mayor que el de una casa unifamiliar, fue aumentado solo un 10% en relación con el promedio obtenido, considerando un consumo mayor por la capacidad de albergar una gran cantidad de personas, pero también contemplando que los electrodomésticos que más energía consumen (De acuerdo a la página web de Endesa) son el refrigerador, el televisor y la lavadora, dos de los cuales no abundan en los hoteles. De esta forma, los consumos eléctricos mensuales de los departamentos del inmueble arrojan el siguiente comportamiento

Tabla 3.2.1 Consumo mensual

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
1	266	282	272	287	283	292
2	252	260	244	290	320	263
3	203	201	156	266	239	309
4	150	155	330	341	308	386
5	210	217	196	246	246	252
6	240	248	224	281	281	288
7	180	186	168	211	211	120
8	192	198	179	225	225	230
9	300	310	280	351	351	360
10	481	495	448	562	561	576
11*	285	293	287	352	348	354
12*	251	259	253	310	306	312
13*	251	259	253	310	306	312
14*	251	259	253	310	306	312

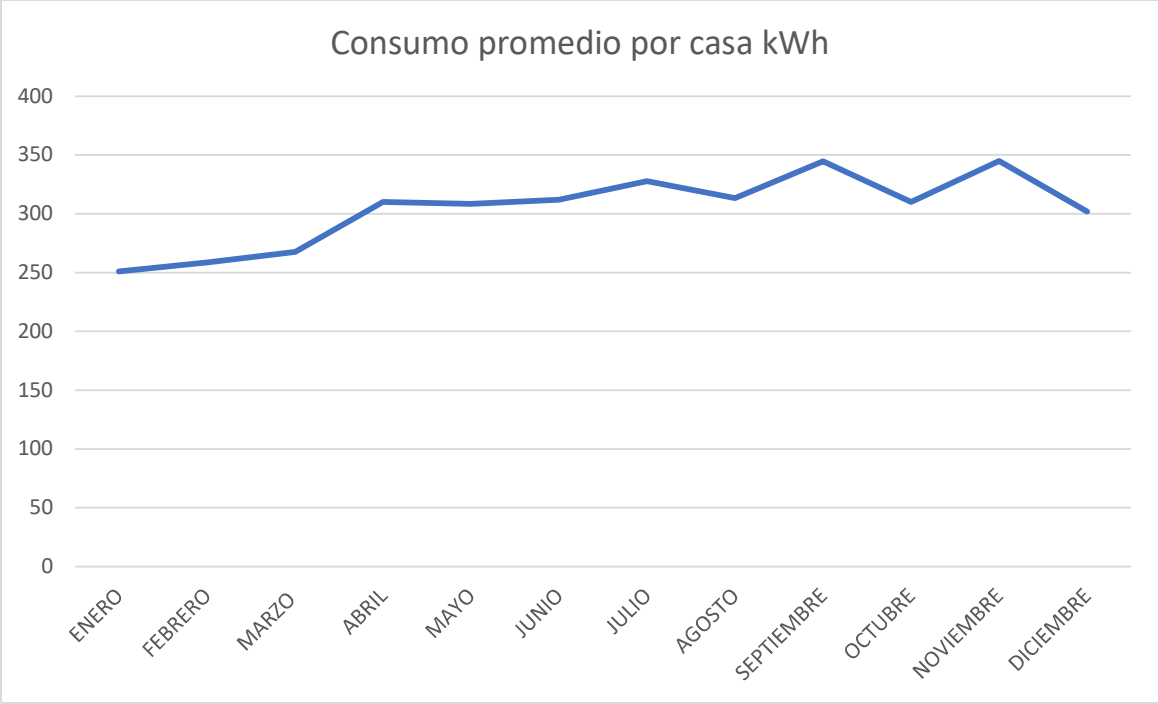
	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	327	289	313	288	321	339
2	242	285	273	310	292	292
3	347	292	369	250	300	246
4	386	396	420	397	438	183
5	267	253	279	247	266	256
6	305	289	318	283	304	292
7	124	121	141	140	180	186
8	244	230	255	226	243	234
9	382	361	398	353	380	365
10	611	577	637	565	609	585
11*	372	356	391	352	383	342
12*	328	313	345	310	338	302
13*	328	313	345	310	386	302
14*	328	313	345	310	386	302

Elaboración propia (2023)

Los valores acompañados por un asterisco (*) en sus números fueron extrapolados dadas las condiciones comentadas con anterioridad.

Al promediar estos valores de manera mensual, se obtiene el siguiente grafico:

Figura 3.2.2 Consumo promedio kWh



Fuente: Elaboración propia (2023)

Estos valores denotan un leve consumo menor durante los meses de enero y febrero, y un consumo levemente superior durante los meses de marzo a diciembre. Esto se explica ya que uno de los departamentos del inmueble, y que muy amablemente facilitó sus cuentas, es un colegio de educación básica con educación personalizada, manteniendo una matrícula aproximada de 20 estudiantes, y que durante los meses de enero y febrero funciona como galería de venta de artículos turísticos, manteniendo una tendencia a un uso más exhaustivo de la energía eléctrica durante el año escolar.

Por otra parte, usando la herramienta del explorador solar, buscamos las coordenadas relacionadas al inmueble elegido, obtenemos la radiación en kWh/m2/día. Para esto, utilizaremos datos conservadores, que nos permitan obtener una cota inferior de la posible energía solar fotovoltaica alcanzable por el área de la techumbre. Por lo tanto, los parámetros de cálculo quedarán de la siguiente forma:

Figura 3.2.3 Calculadora Explorador Solar



Fuente: Elaboración propia, Explorador solar (2023)

Los datos introducidos se explican a continuación:

1- El área total estimada fue obtenida gracias a Google Earth, sumando el contorno más exterior del inmueble y descontando patios y tragaluces. Esto nos entrega un área total de 907.88 m2, con un descuento de 171.3 m2, lo que equivale a un área real de techumbre de 736.58 m2. A este total se le ha descontado un 5% por margen de error de las imágenes satelitales, obteniendo así 699.75 m2 de techumbre, redondeadas a 700 m2. Al mismo tiempo, la fracción del área ocupada por paneles fue disminuida a un 90%, considerando posibles pérdidas de espacio por el tamaño de los paneles. Finalmente, se consideró una eficiencia nominal del 15% de cada panel. De acuerdo con los datos de Enel x en cuanto a la eficiencia de paneles solares, la media varía entre un 15% y un 20% de eficiencia, llegando a 23% en los paneles de alta eficiencia actuales.

Figura 3.2.4 Area según google earth



Fuente: Elaboración propia (2023)

2- El tipo de arreglo fue fijado como fijo horizontal. Esto no es del todo preciso, pues la techumbre tiene aguas en diferentes sentidos, otorgando una cierta inclinación. Sin embargo, dadas las recomendaciones mencionadas por la Dra. Marcela Hurtado, los paneles fotovoltaicos no pueden instalarse en un ángulo diferente al paralelo del edificio, y el cálculo del explorador solar solo permite integrar un ángulo perpendicular a la trayectoria solar, por lo que una buena aproximación es la elegida.
3- Ya que la capacidad instalada según los datos del Explorador solar alcanza los 94.5 kW, se elige una capacidad de inversor de 100 kW. La eficiencia se ha considerado la del modelo SUN2000-100KTL-M1 Smart String Inverter de la empresa Huawei, que alcanza un 96%.
4- Las perdidas operacionales, que se calculan de acuerdo con las especificaciones del explorador solar de la siguiente forma:
    a. Suciedad: 2%
    b. Sombras del entorno: 3%
    c. Imperfecciones de fabricación: 2%
    d. Cableado: 2%
    e. Conectores: 0.5%

f. Degradación de las celdas por luz incidente: 1.5%
g. Tiempo apagado: 3%
h. Diferencias entre los valores de laboratorio y la realidad de las EETT: 1%
i. Pérdida total (PT): 14,08%

Ya que las sombras del volumen de la estructura superior ejercen sombras sobre la techumbre de la estructura inferior del inmueble, el porcentaje de perdidas por sombra será aumentado a un 8%, dando una pérdida total de 19.08%.

De esta forma, los datos entregados por la plataforma se detallan a continuación:

Tabla 3.2.2 Generación Fotovoltaica

Generación Fotovoltaica
kWh

	00:00 a 23:00	**0:00**	**1:00**	**2:00**	**3:00**	**4:00**	**5:00**	**6:00**
Enero a Diciembre	11.85736073	0	0	0	0	0	0	0.142607
Enero	18.21360811	0	0	0	0	0	0	0.045378
Febrero	15.98204145	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	12.74736292	0	0	0	0	0	0	0
Abril	8.911394598	0	0	0	0	0	0	0
Mayo	5.685889114	0	0	0	0	0	0	0
Junio	4.947856116	0	0	0	0	0	0	0
Julio	5.328489552	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	7.446364037	0	0	0	0	0	0	0
Septiembre	11.17511253	0	0	0	0	0	0	0
Octubre	15.11729884	0	0	0	0	0	0	0
Noviembre	17.71108624	0	0	0	0	0	0	0.68015
Diciembre	19.02182527	0	0	0	0	0	0	0.985751

	7:00	**8:00**	**9:00**	**10:00**	**11:00**	**12:00**	**13:00**	**14:00**
Enero a Diciembre	2.761413602	8.929975	17.64597	24.99992	31.5372	35.83643	37.72835	37.12208
Enero	5.843115066	15.45993	25.28419	35.18786	43.84955	49.91737	53.40279	53.541
Febrero	2.332337234	11.66853	21.45277	30.45105	39.0445	45.00112	49.15654	49.67923
Marzo	0.255618219	7.415757	16.99648	25.22265	33.67065	38.51698	41.19018	42.16868
Abril	0	4.047556	12.93587	19.61529	24.90235	28.06261	30.42092	30.7494
Mayo	0	1.042323	7.409954	11.99192	16.50678	20.07567	20.99309	20.26879
Junio	0	0.063496	5.456773	10.4372	14.75892	17.90517	19.21198	18.1152
Julio	0	0.142299	6.089229	11.01059	15.73615	18.6469	19.90516	18.89822
Agosto	0	2.351924	10.37276	16.58742	21.91667	25.14914	25.88615	25.03833
Septiembre	0.549585192	8.354377	18.16617	26.54785	32.35933	35.8694	37.37574	36.64905
Octubre	5.129307335	15.95083	26.46695	34.94375	41.98164	47.03797	47.74323	45.19937
Noviembre	9.30962507	20.16652	30.444	38.62543	46.75013	51.57079	52.56741	50.94561

Diciembre	9.71737511	20.49617	30.67647	39.37806	46.96967	52.28409	54.88702	54.21209

	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Enero a Diciembre	34.46241529	27.62213	17.6673	7.271271	0.849589	0	0	0	0
Enero	50.46385203	43.97959	33.4648	20.79813	5.889037	0	0	0	0
Febrero	46.58305629	40.63375	29.6833	16.72456	1.15826	0	0	0	0
Marzo	38.87993028	32.23822	21.43174	7.863329	0.086498	0	0	0	0
Abril	28.84209322	22.20964	11.50405	0.583686	0	0	0	0	0
Mayo	19.6561804	13.01867	5.49796	0	0	0	0	0	0
Junio	17.80863028	11.28969	3.701478	0	0	0	0	0	0
Julio	18.65199619	12.90544	5.897763	0	0	0	0	0	0
Agosto	24.10677174	18.16464	8.824356	0.31458	0	0	0	0	0
Septiembre	32.26670342	24.83161	14.03438	1.198512	0	0	0	0	0
Octubre	39.87895716	31.32414	19.52356	7.635321	0.000147	0	0	0	0
Noviembre	45.97202232	37.79627	26.28703	13.2422	0.708878	0	0	0	0
Diciembre	50.43879021	43.07394	32.1572	18.89494	2.352247	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia (2023)

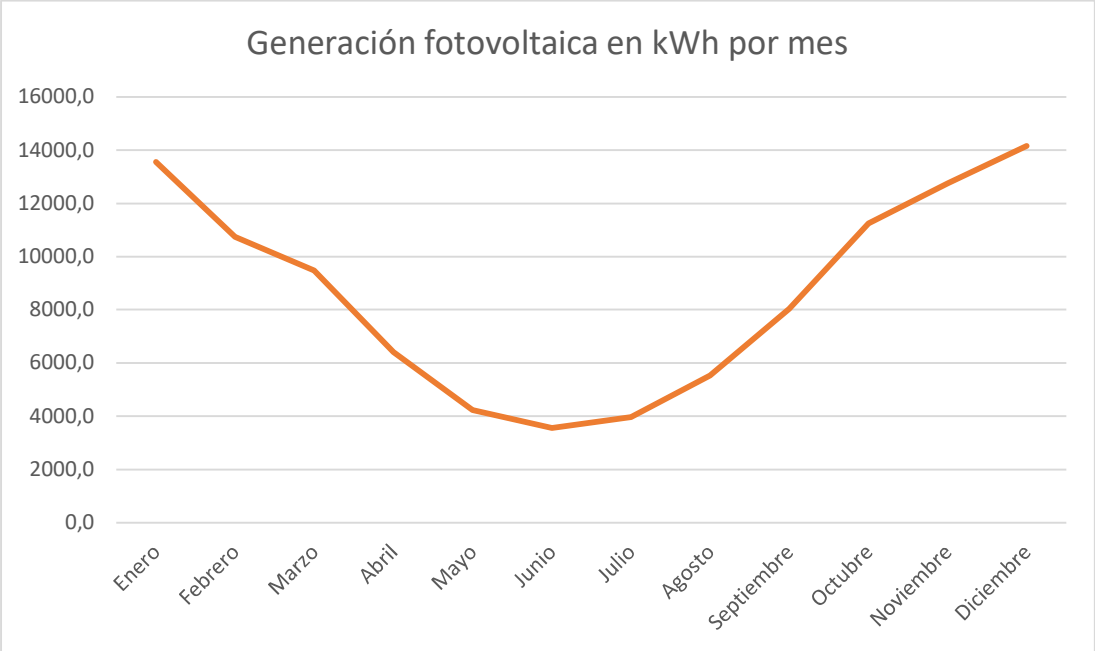
Estos datos, entregados por hora y por día, deben ser sumados para obtener la cantidad de kWh diario y luego multiplicados por la cantidad de días de cada mes para poder generar una comparación acorde a los valores obtenidos del consumo de electricidad de los departamentos del inmueble. Si estos valores son divididos en la cantidad de departamentos, estos pueden ser comparados con el consumo mensual promedio del inmueble. Entonces, ponderando los datos obtenidos, la generación de kWh mensual dadas las condiciones inicialmente planteadas entrega que

Tabla 3.2.3 Consumo y generación

	kWh diario	kWh mensual	kWh mes hogar
Enero	437.1	13550.9	967.9
Febrero	383.6	10739.9	767.1
Marzo	305.9	9484.0	677.4
Abril	213.9	6416.2	458.3
Mayo	136.5	4230.3	302.2
Junio	118.7	3562.5	254.5
Julio	127.9	3964.4	283.2
Agosto	178.7	5540.1	395.7
Septiembre	268.2	8046.1	574.7
Octubre	362.8	11247.3	803.4
Noviembre	425.1	12752.0	910.9
Diciembre	456.5	14152.2	1010.9

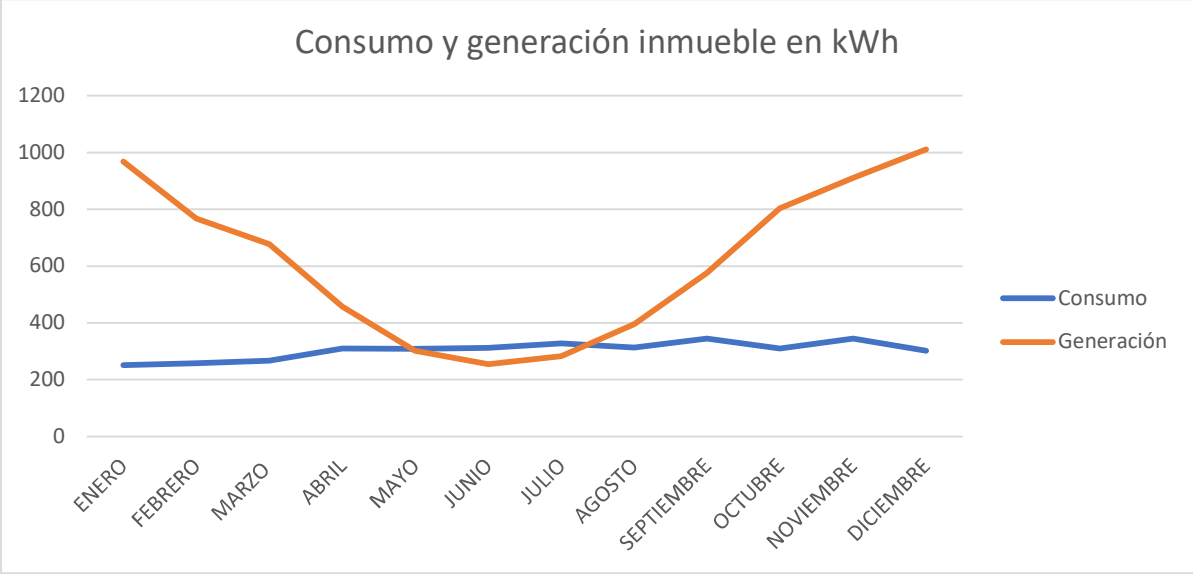
Fuente: Elaboración propia (2023)

Figura 3.2.5 Generación fotovoltaica



Fuente: Elaboración propia (2023)

Figura 3.2.6 Comparativa consumo / generación

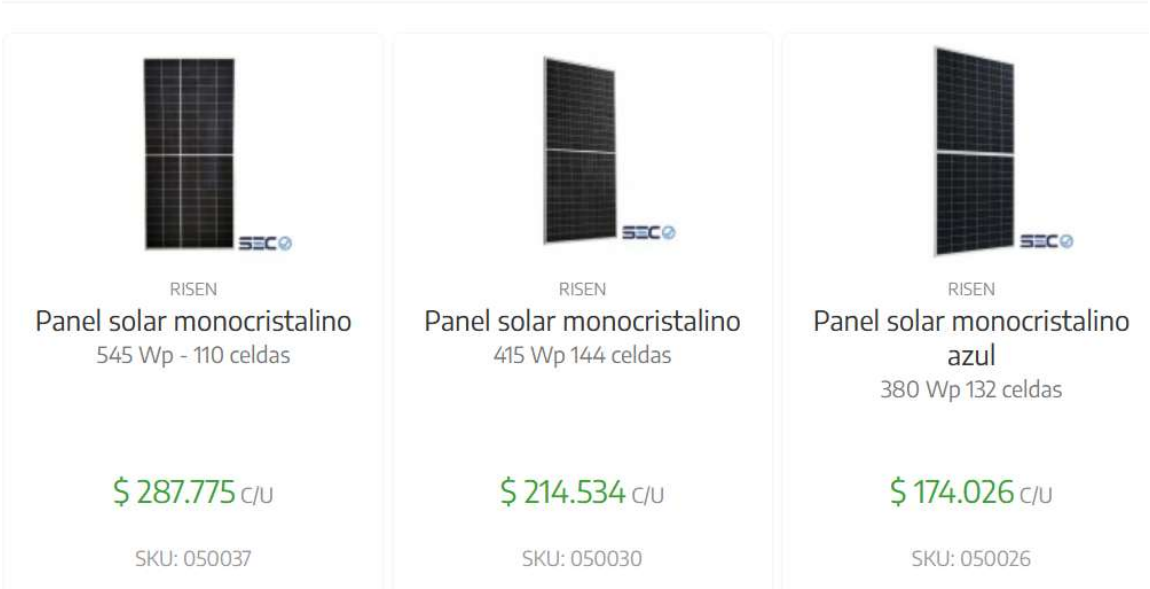


Fuente: Elaboración propia (2023)

Podemos apreciar que la generación eléctrica expuesta en el explorador solar supera ampliamente el consumo planteado por la investigación. Por lo mismo, y para acotar la cantidad de superficie de

techumbre utilizada, en concordancia con el compromiso de mantener un perfil estético que no interfiera con las indicaciones patrimoniales, se estimará otro caso en el que solo se hará uso de la techumbre del volumen superior, considerando que es el área de techumbre que recibe menor sombra. Para poder vincular directamente la generación de electricidad y los costos asociados que serán utilizados en las variables financieras, se presumirá un escenario que abarque el teselado de la techumbre directamente. Para esto, se tomarán los paneles fotovoltaicos del catálogo de la empresa Rhona, en su variante monocristalino, los cuales vienen en tres tamaños distinto; 2,61 m2, 2 m2 y 1,84 m2.

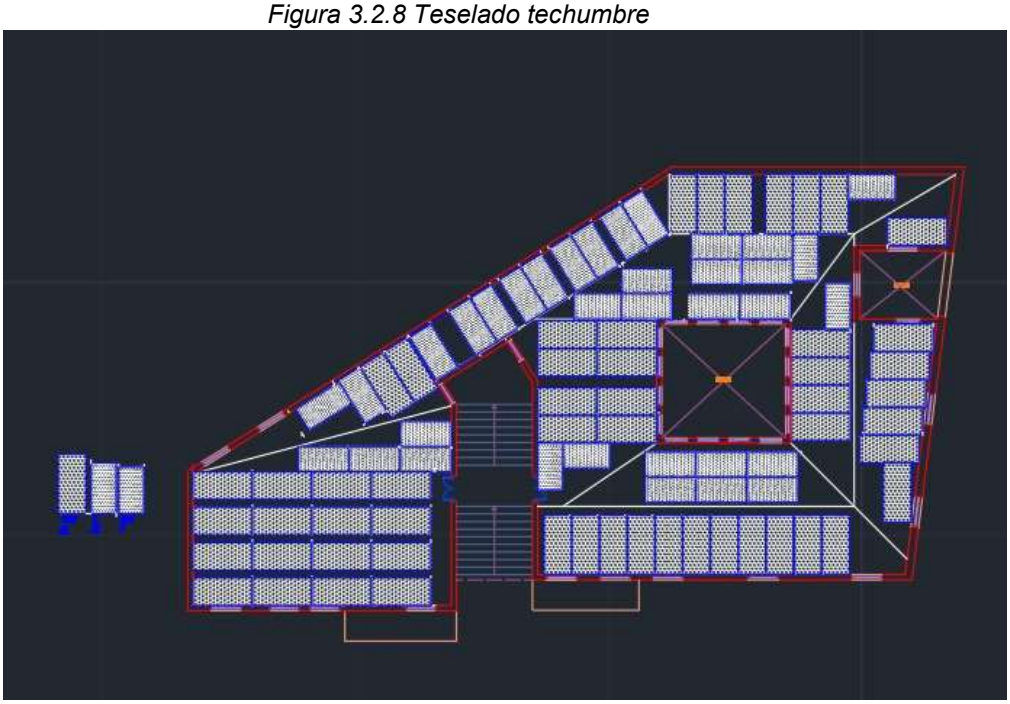
Figura 3.2.7 Catalogo Paneles FV



Fuente: Rhona.cl (2023)

La teselación de la techumbre se hará en paralelo a las aguas presentadas, maximizando el espacio usable en relación con las áreas de los paneles presentados. Este ejercicio proporcionará el área total que será introducido al Explorador Solar.

Figura 3.2.8 Teselado techumbre



Fuente: Elaboración propia (2023)

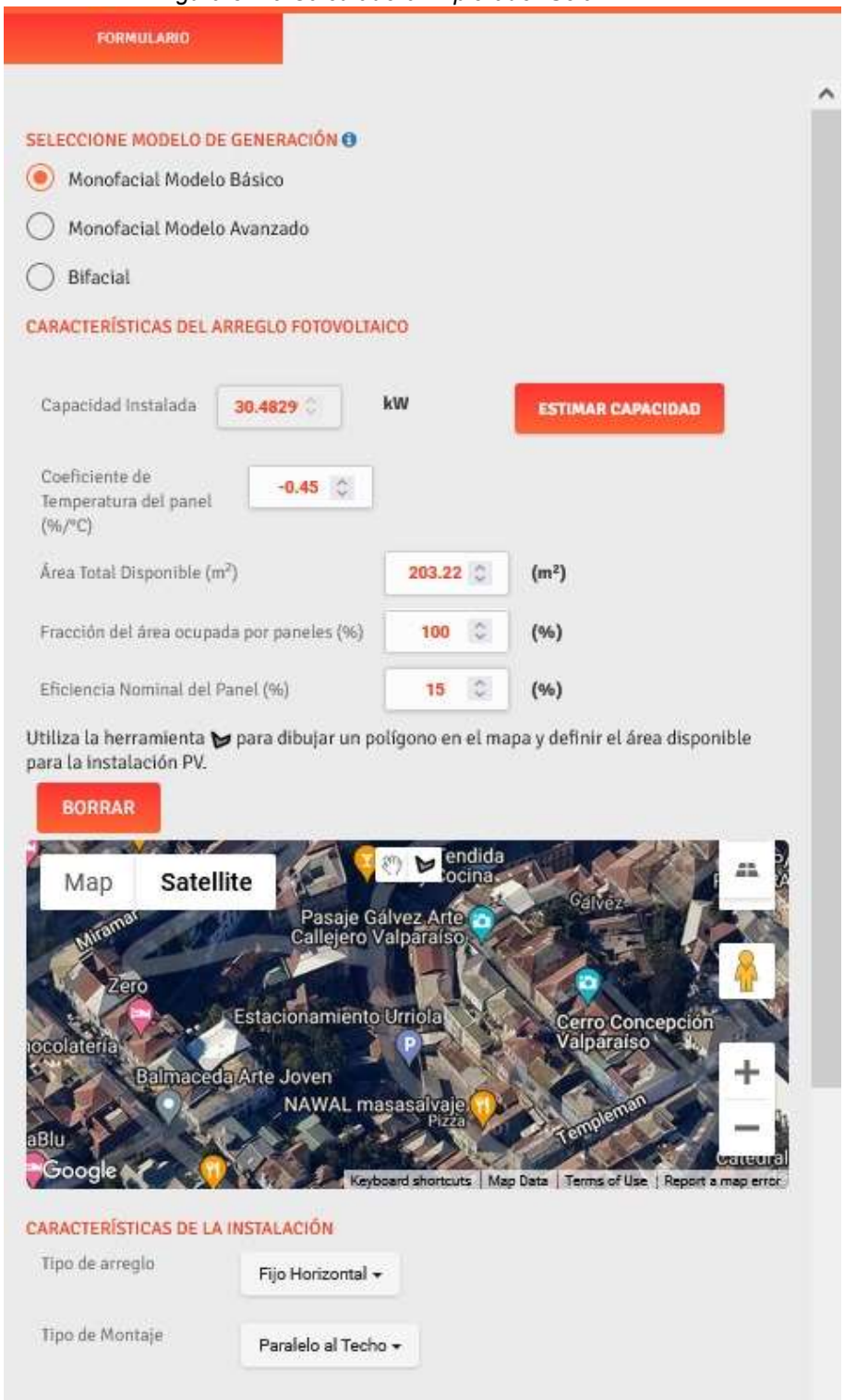
El teselado se realizó de tal forma que existiesen rutas de al menos 40 cm de ancho por las que pudiese transitar personal de mantención y limpieza de los paneles fotovoltaicos. Esta debe realizarse por lo menos una vez al año, y el espaciamiento permitirá un tránsito expedito que no necesite del apoyo de andamios.

De esta forma, la cantidad de paneles utilizados fue la siguiente:

PANELES SOLARES			
	AREA m2	CANTIDAD	TOTAL M2
T1	2.63	54	142.02
T2	2	26	52
T3	1.84	5	9.2
TOTAL m2	**203.22**		

Este dato fue introducido en la calculadora del Explorador Solar bajo los mismos parámetros anteriormente comentados, con excepción de la consideración de las sombras, dejando una pérdida total del 14%.

Figura 3.2.9 Calculadora Explorador Solar



Fuente: Explorador Solar (2023)

Los datos obtenidos, bajo el mismo tratamiento que se hizo con el caso anterior de transformar las ganancias diarios en mensuales, son los siguientes:

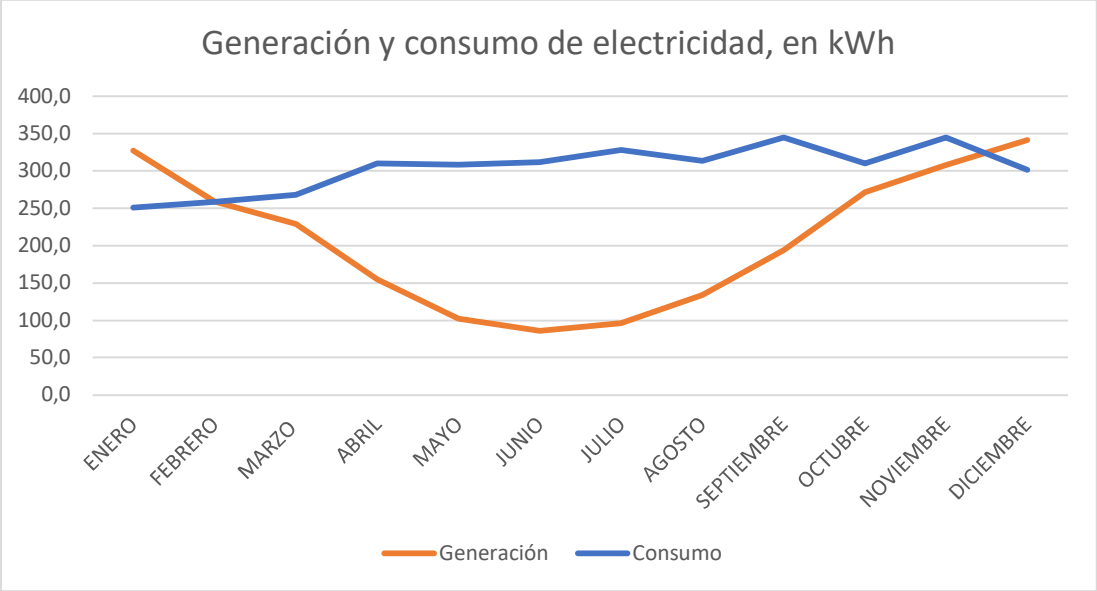
Tabla 3.2.4 Consumo y generación

	kWh generado	kWh consumo	Generado vs consumido
ENERO	327.0	250.9	1.3
FEBRERO	259.2	258.6	1.0
MARZO	229.0	267.7	0.9
ABRIL	155.0	310.1	0.5
MAYO	102.3	308.5	0.3
JUNIO	86.1	311.8	0.3
JULIO	95.9	327.9	0.3
AGOSTO	133.9	313.3	0.4
SEPTIEMBRE	194.3	344.8	0.6
OCTUBRE	271.5	310.2	0.9
NOVIEMBRE	307.8	344.9	0.9
DICIEMBRE	341.6	301.8	1.1

Fuente: Elaboración propia (2023)

Y la comparativa con los consumos mensuales obtenidos se refleja en el siguiente grafico:

Figura 3.2.10 Generación vs consumo



Fuente: Elaboración propia (2023)

Si bien este caso entrega menos energía que el anterior, se adecua a las condiciones de consumo energético para confort térmico estipulados por la Eurostat, que establece que los hogares españoles consumen cerca de un 7.4% en calefacción para confort térmico (Consumo del sector residencial en España (2020-2019)). Dada que la situación satisface el uso energético con creces para la estimación de calefacción mes a mes de las viviendas, que interviene significativamente menos la techumbre del

inmueble y, al mismo tiempo, rebaja los precios de los elementos como el conversor eléctrico al mismo tiempo que entrega un surplus significativo en verano, este será considerado el caso de estudio.

3.3 Condiciones estructurales

El complejo habitacional Pasaje Bavestrello fue construido en 1927, por lo que resulta sensato preguntarse por las condiciones estructurales para el montaje de los paneles fotovoltaicos que propone esta tesis. Afortunadamente, al momento del desarrollo de este trabajo, el departamento ubicado en Alvaro Besa 626 se encontraba en reacondicionamiento, existiendo la posibilidad de hablar con el personal encargado de aquello, recabando información importante para determinar la posibilidad de que la techumbre sostenga los paneles fotovoltaicos. En primer lugar, podemos observar la condición de las planchas de la techumbre en las siguientes imágenes:

Figura 1.3.1 Techumbre Alvaro Besa 626



Fuente: Elaboración propia (2023)

Figura 2.3.2 Techumbre Alvaro Besa 626



Fuente: Elaboración propia (2023)

Estas se encuentran en condiciones óptimas en consecuencia de las recientes renovaciones, permitiendo la integración de perfiles C que sostengan los paneles solares sin dificultad.

En segundo lugar, se consultó a los obreros sobre las cerchas que sostienen dicha techumbre. Este equipo es el encargado de la mantención de todos los departamentos del complejo habitacional, y bajo sus propios comentarios la cercha que sostiene la techumbre del departamento del volumen superior lado norte, correspondiente al Hostal Newka, fue cambiado totalmente y reemplazado por una estructura de Metalcom. En el caso del departamento de Álvaro Besa 626, la cercha de madera original fue mantenida, construida con materiales de mucha antigüedad. Sin embargo, no se obtuvo información sobre la configuración de la cercha, solo de su materialidad, cuartones de madera noble de aproximadamente 4''x4''. Para analizar la capacidad estructural de la techumbre se optó por la condición mas desfavorable, una cercha simple de 5,32 m de ancho y 0,76 m de alto, espaciada a un metro. Estas medidas se obtuvieron a partir de los planos facilitados por Iconstruye, y si bien las aguas del edificio tienen una configuración engorrosa, se optó por elegir una sección de la techumbre que fuese de fácil analisis y generar sobrecargas que permitan determinar si la capacidad estructural es suficiente. De esta forma, las consideraciones son, en un principio, el peso propio de la estructura, determinada en 20 kgf/m2:

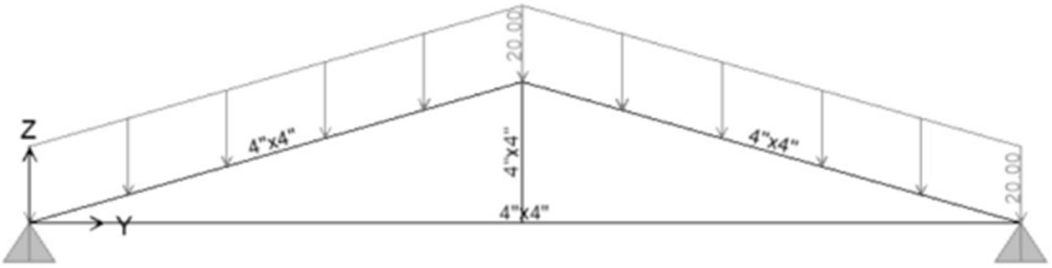
Figura 3.3.3 Calculo estructural

1.1) Peso propio de techumbre (Carga considerada por elementos sobre cercha)

$PP := 20\ \frac{kgf}{m^2}$ Peso Propio (Planchas, elementos secundarios)

$L_{cercha} := 1\ m$ Distancia entre cerchas

$q_{pp} := PP \cdot L_{cercha} = 20\ \frac{kgf}{m}$ Peso propio (carga lineal)

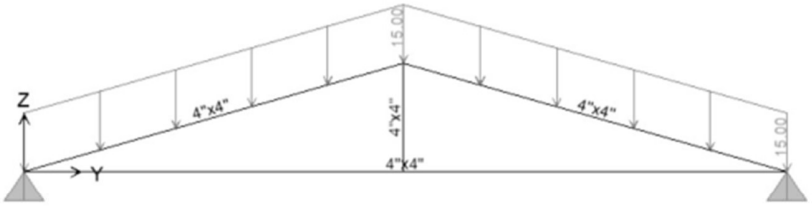


Fuente: Elaboración propia (2023)

Luego, se consideró el peso de los paneles solares. De acuerdo a la pagina de Rhona, los paneles fotovoltaicos de 2,38 x 1.09 m tienen un peso de 29kg, lo que entrega una carga de 11,2 kg/m2. Este valor se mayorará a 15 kg/m2, considerando que eventualmente no será este el proveedor elegido para adquirir los suministros. De esta forma, tenemos que:

Figura 4.3.4 Techumbre Alvaro Besa 626

1.3) Peso propio (Paneles solares)



$$PP_{psolar} := 15\ \frac{kgf}{m^2}$$

$$q_{psolar} := 15\ \frac{kgf}{m^2} \cdot L_{cercha} = 15\ \frac{kgf}{m}$$

Fuente: Elaboración propia (2023)

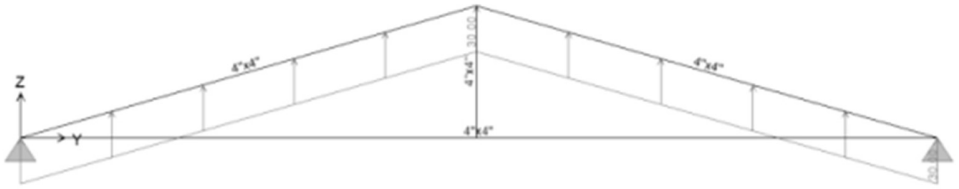
Se consideró también una carga de viento tal como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 5.3.5 Calculo estructural

1.4) Carga de viento (W)

Se considera un carga aplicada por viento de:

$$W := 30\ \frac{kgf}{m^2} \qquad q_W := W \cdot L_{cercha} = 30\ \frac{kgf}{m}$$



Fuente: Elaboración propia (2023)

Para las tensiones admisibles de la madera, y de acuerdo a las medidas entregadas anteriormente, tenemos que:

3.1) Tensiones admisibles de madera

$$\sigma_{flexión} := 95\ \frac{kgf}{cm^2} \qquad \sigma_{comp_paralela} := 78\ \frac{kgf}{cm^2} \qquad \sigma_{tracción} := 55\ \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\sigma_{comp_normal} := 25\ \frac{kgf}{cm^2} \qquad \sigma_{cizalle} := 25\ \frac{kgf}{cm^2}$$

3.2) Parámetros de la madera

$$b := 4\ in = 10.16\ cm$$
$$d := 4\ in = 10.16\ cm$$
$$A := b \cdot d = 103.226\ cm^2$$
$$I := \frac{b \cdot d^3}{12} = 887.96\ cm^4 \qquad i := \sqrt{\frac{I}{A}} = 2.933\ cm \qquad W := \frac{b \cdot d^2}{6} = 174.795\ cm^3$$

El análisis de flexo compresión se desarrolló de la siguiente forma:

3.2) Análisis de flexo-compresión

$$K_h := 1 \qquad K_d := 1 \qquad K_c := 1 \qquad K_{hf} := 0.82$$

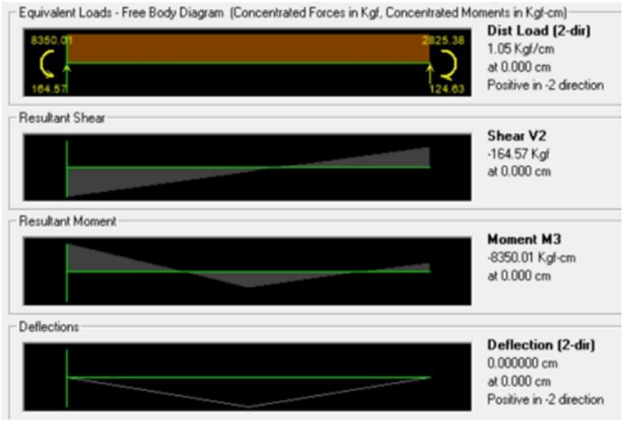
$$F_{fv} := K_h \cdot K_d \cdot K_c \cdot K_{hf} \cdot \sigma_{flexión} = 77.9\ \frac{kgf}{cm^2}$$

$$M := 8350\ kgf \cdot cm$$

$$\sigma_u := \frac{M}{W} = 47.77\ \frac{kgf}{cm^2}$$

$$Ffv_{check} := \text{if } \sigma_u < F_{fv} \text{ “¡OK Cumple!” else “No Cunple”}$$

$$Ffv_{check} = \text{“¡OK Cumple!”} \qquad \frac{\sigma_u}{F_{fv}} = 0.613$$



Por lo que estructuralmente es admisible en una relación de 0.613.

3.4 Determinación demanda termo-energética

3.4.1 Registros climatológicos

Los datos climáticos para el caso de estudio fueron obtenidos a través del sitio web del programa mencionado en el marco teórico Design Builder. Dicho registro fue creado por Meteonorm, programa que interpola datos climáticos de cualquier parte del mundo obtenidos por la estación meteorológica más próxima al lugar de estudio. Estos datos representan la temperatura de cada una de las horas del año, y son cargados en el programa cambiando la “Hourly weather data” en la pestaña “Localización”. La estación meteorológica más cercana al área de estudio corresponde a “El Belloto”, ubicada en la región, siendo esta zona 4 central litoral (4CL).

Figura 3.4.1.1 Temperaturas anuales

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Maximum	31.5	31.9	30.3	29.8	27.7	25.3	27.4	26.8	26.0	27.5	29.3	29.8	
Day:Hour	3:16	21:16	2:16	8:15	3:15	19:15	29:14	18:15	3:15	10:15	23:16	3:16	
Minimum	6.6	6.2	4.1	4.3	3.0	1.3	1.8	2.1	1.1	2.6	3.7	5.3	
Day:Hour	25:06	14:07	9:07	30:07	18:08	9:08	17:08	23:07	11:07	29:06	4:06	26:06	
Daily Avg	18.0	17.9	16.9	15.2	13.8	12.2	12.0	12.4	12.7	14.4	15.8	17.1	

Fuente: Archivos climáticos, Design Builder (2023)

Figura 3.4.1.2 Configuración climática



Fuente: Elaboración propia (2023)

Figura 3.4.1.3 Ubicación central metereologica

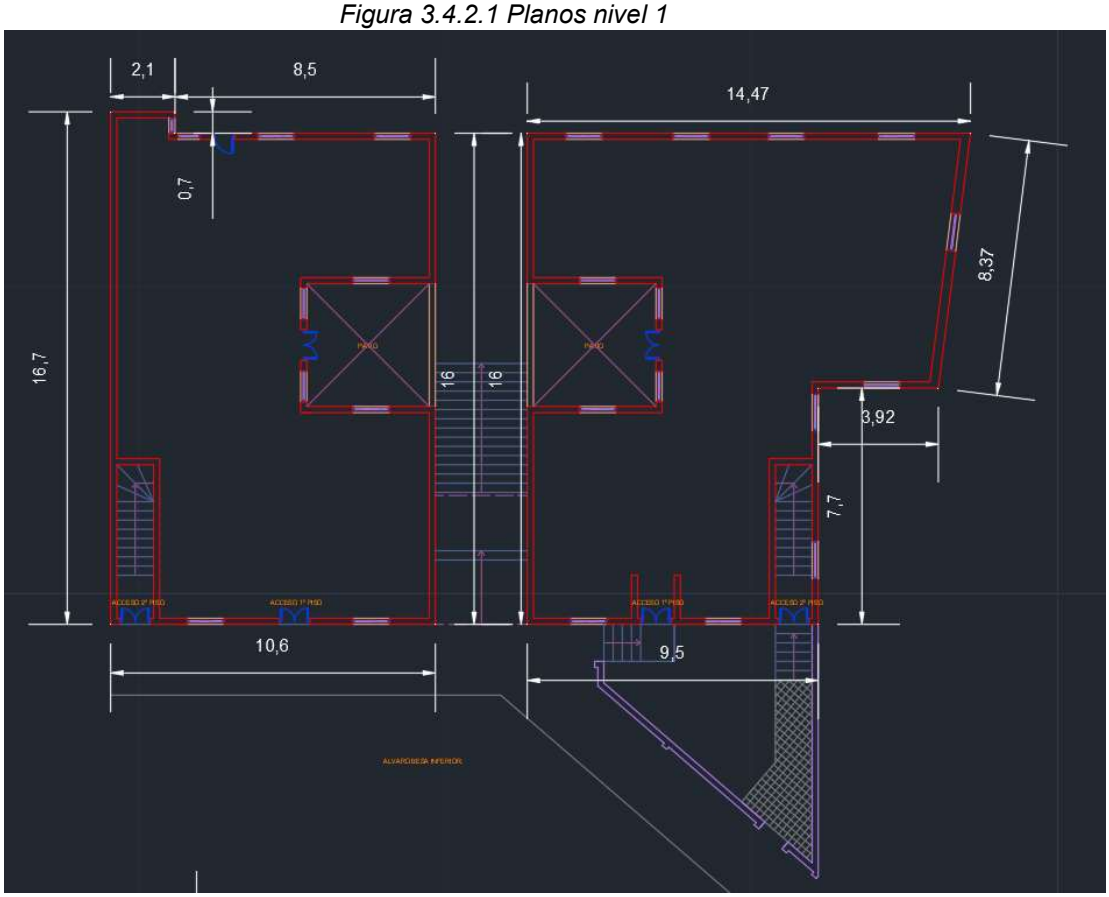


Fuente: Dirección general de aeronáutica civil (2023)

3.4.2 Modelación del edificio

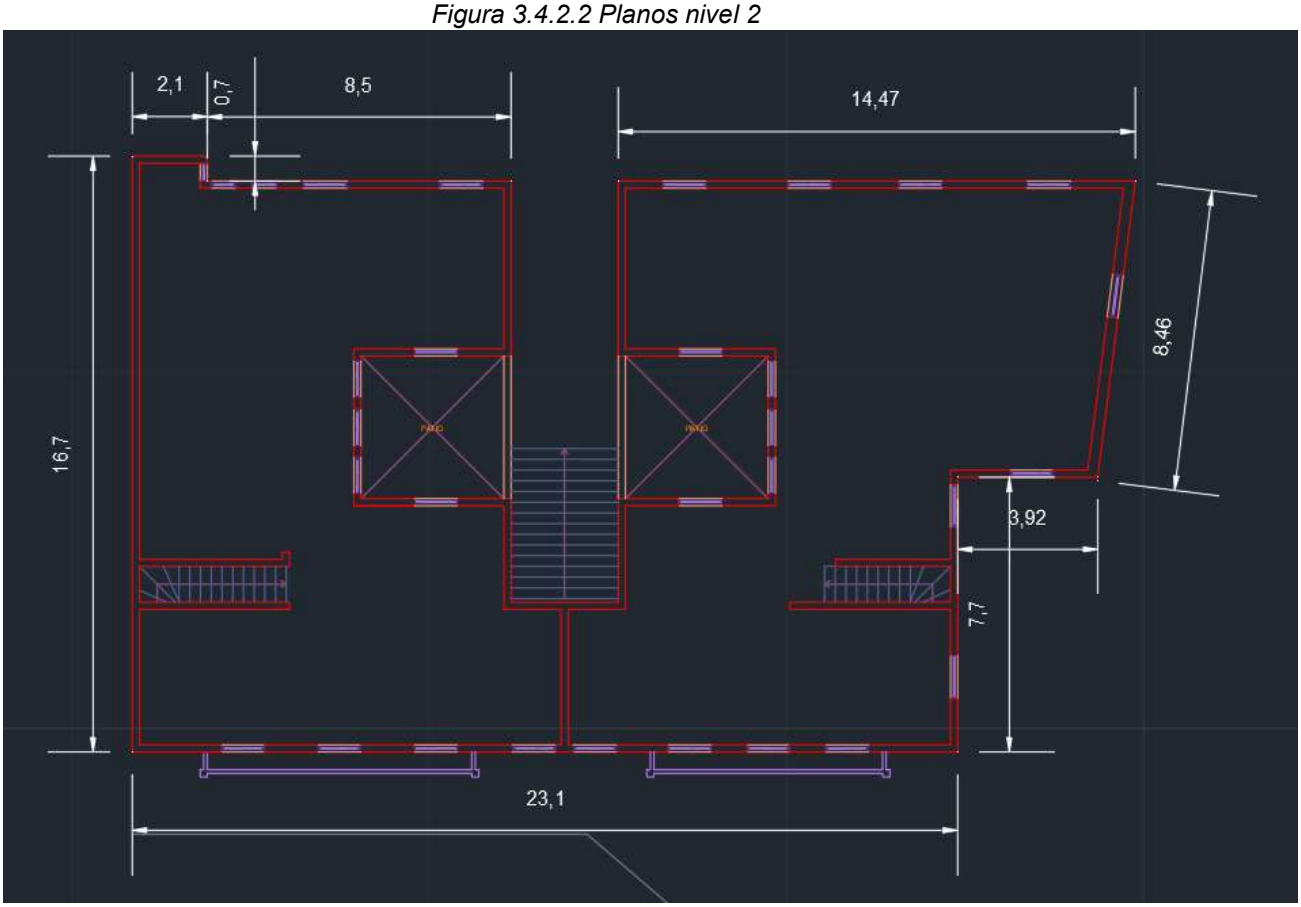
Para la modelación del inmueble en Design Builder, se usarán las planimetrías otorgadas por Econstruye, empresa a cargo de la remodelación de la fachada completa del edificio durante el año 2019. A continuación, se detallarán los planos utilizados:

Figura 3.4.2.1 Planos nivel 1



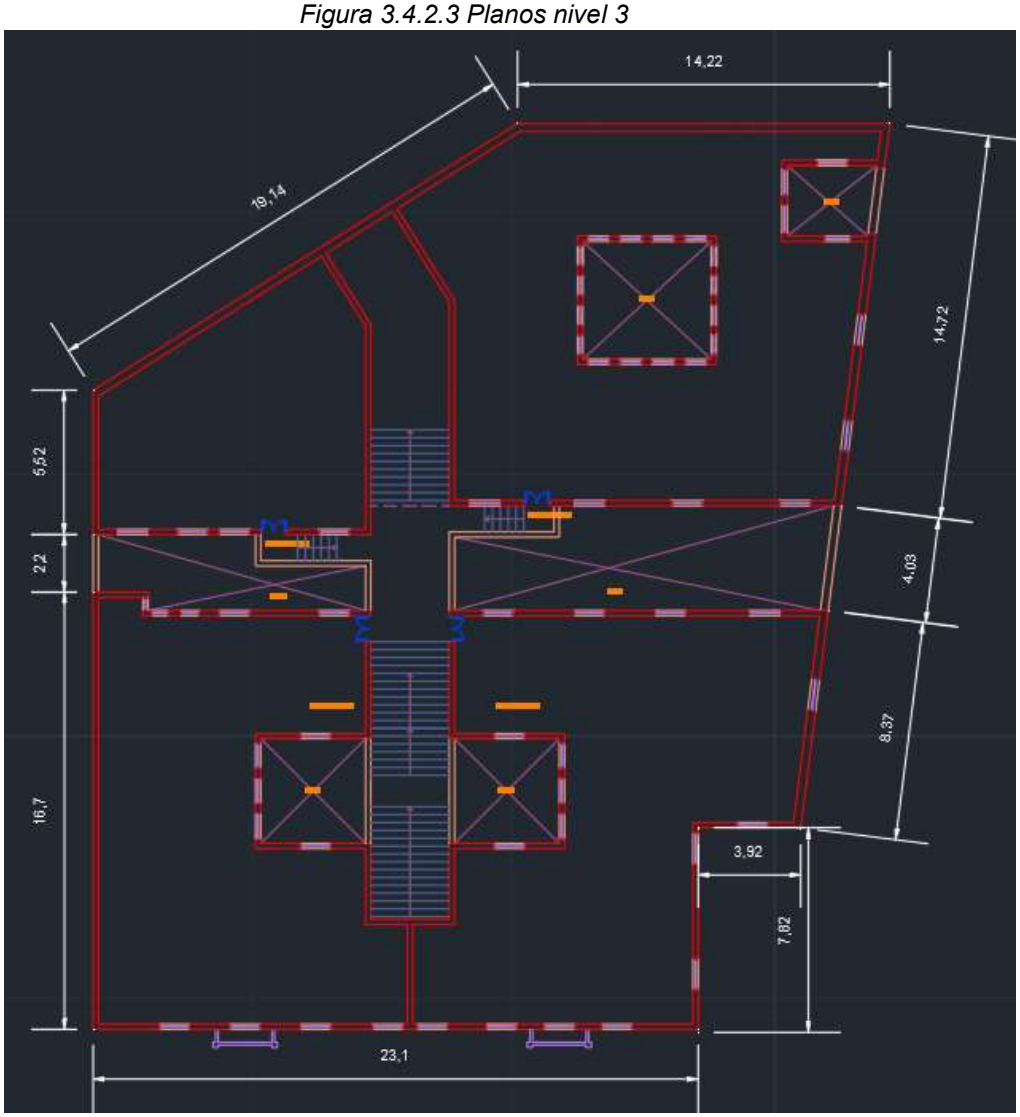
Fuente: Econstruye (2019)

Figura 3.4.2.2 Planos nivel 2



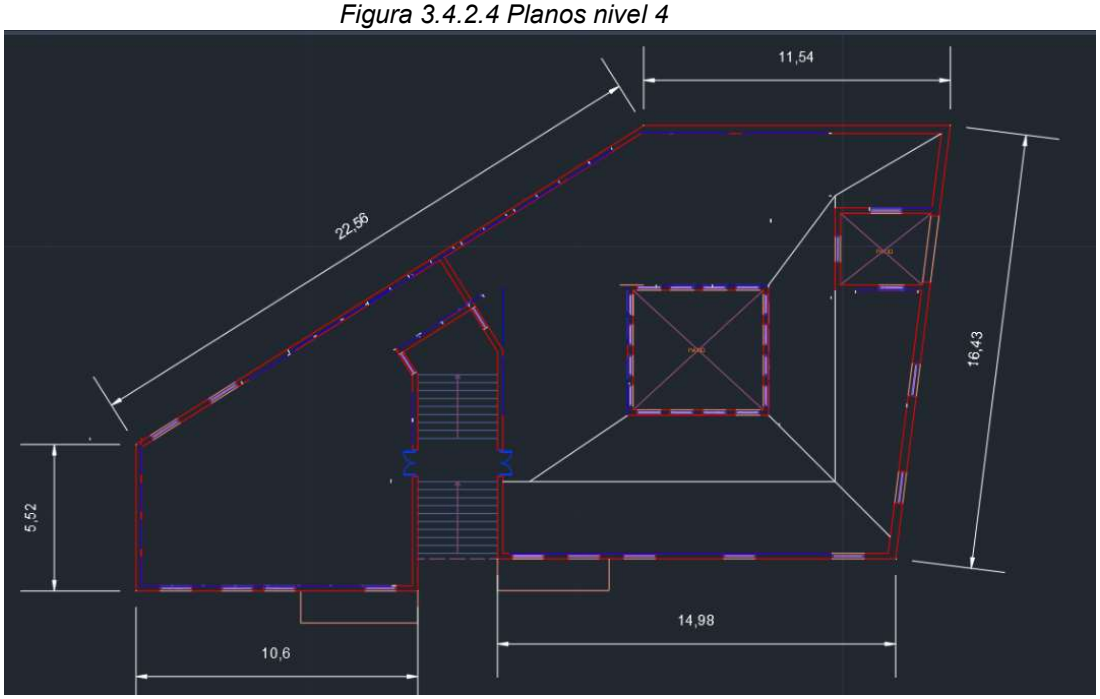
Fuente: Econstruye (2019)

Figura 3.4.2.3 Planos nivel 3



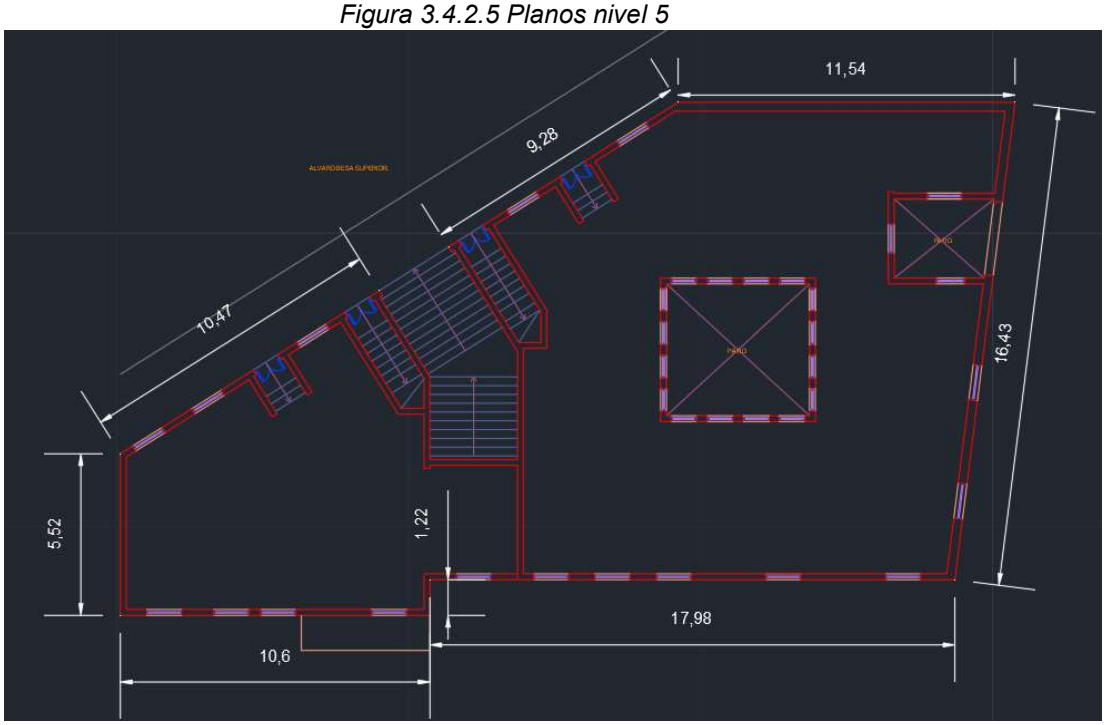
Fuente: Econstruye (2019)

Figura 3.4.2.4 Planos nivel 4



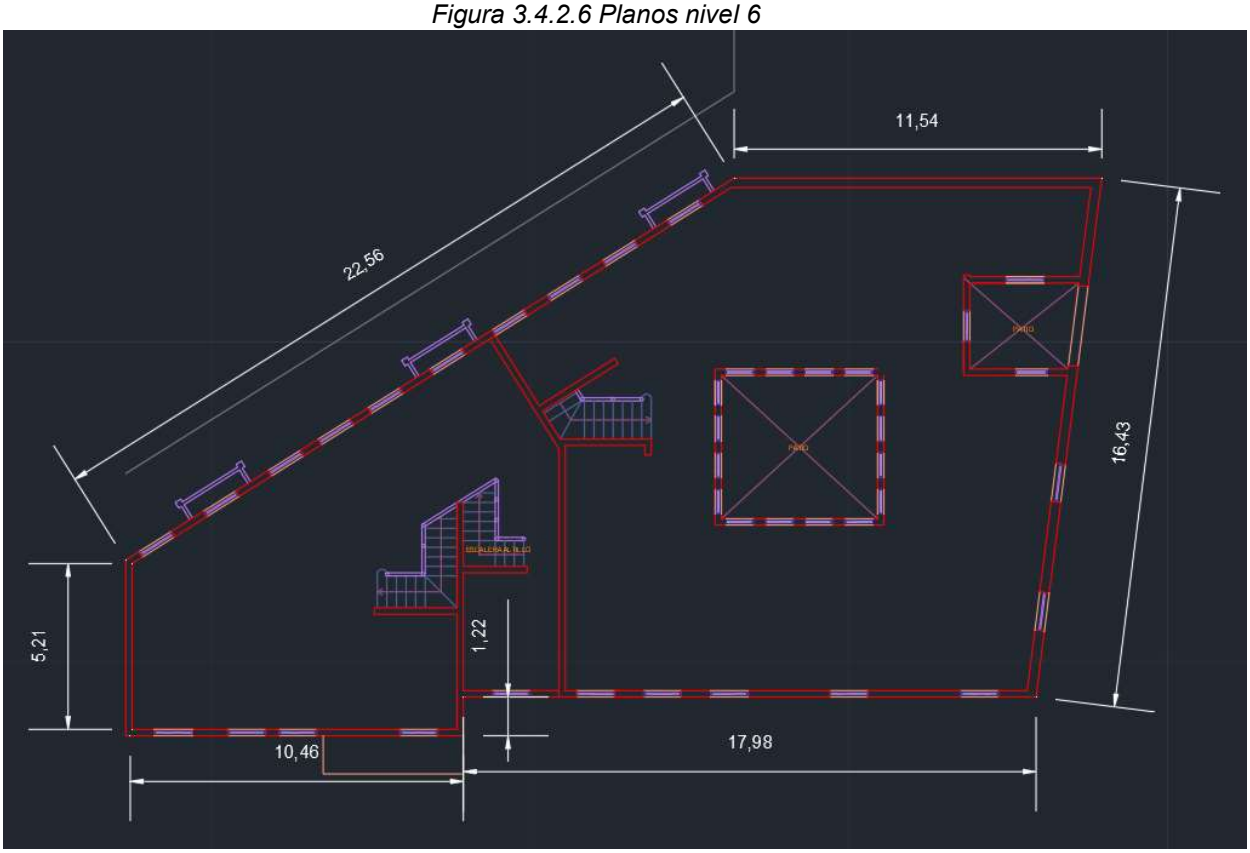
Fuente: Econstruye (2019)

Figura 3.4.2.5 Planos nivel 5



Fuente: Econstruye (2019)

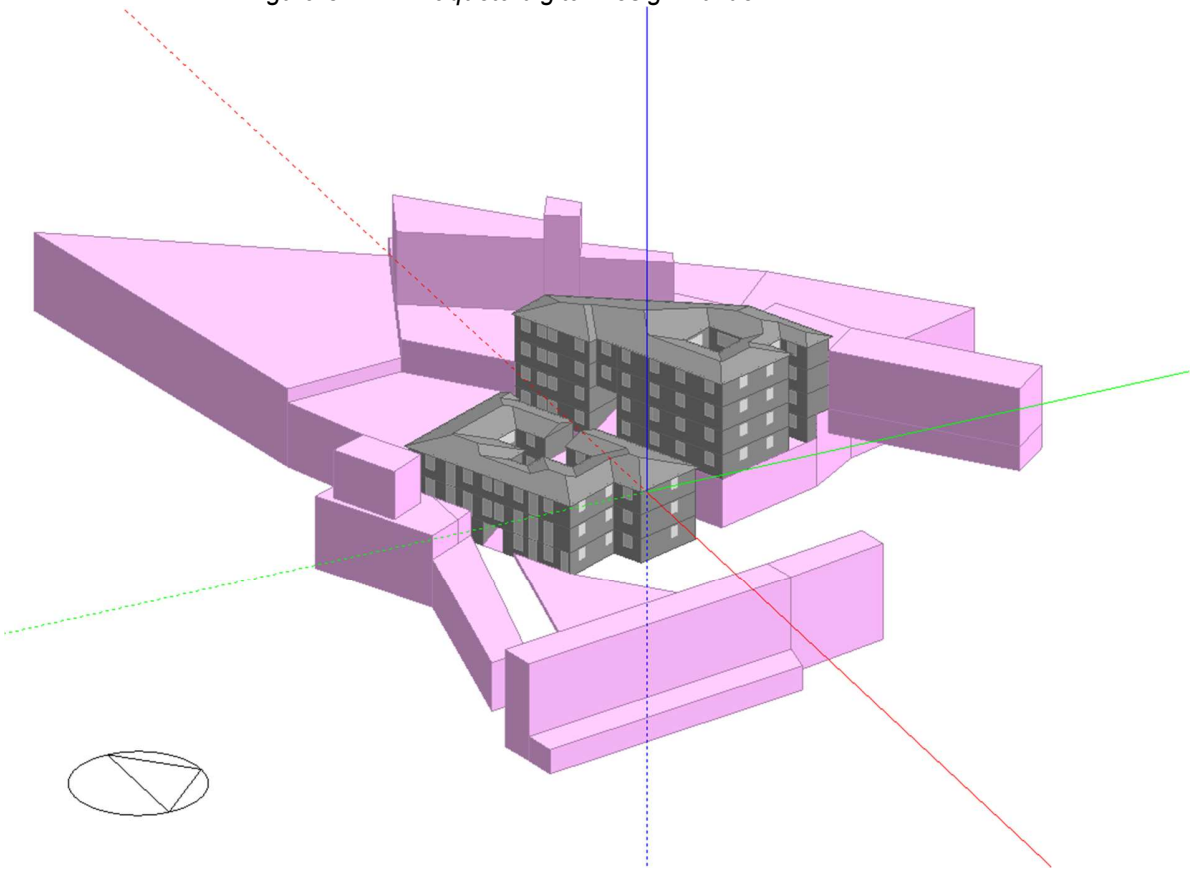
Figura 3.4.2.6 Planos nivel 6



Fuente: Econstruye (2019)

El modelo creado representa no solo la planimetría facilitada, sino también la orientación y la condición del terreno, entendiendo que el inmueble consta de dos volúmenes separados por una pendiente. Finalmente, fueron agregados cubos que simulan los edificios colindantes lo que permite una mayor verosimilitud en cuanto a las sombras a lo largo del día.

Figura 3.4.2.7 Maqueta digital Design Builder



Fuente: Elaboración propia (2019)

3.4.3 Definición material

Los elementos constructivos de los que está compuesto el inmueble debieron ser revisados in situ y en conversación con los vecinos del lugar, en tanto los planos facilitados solo especificaban las medidas de los muros exteriores y no su materialidad. La estructura está formada principalmente por muros gruesos de adobe de aproximadamente 17 cm con un esqueleto de madera, el cual está revestido por una capa de hormigón de aproximadamente 2.5 cm. Los datos de los materiales fueron entregados por el mismo repositorio del programa, como se detalla a continuación:

Figura 3.4.3.1 Configuración de muro



Fuente: Design Builder (2023)

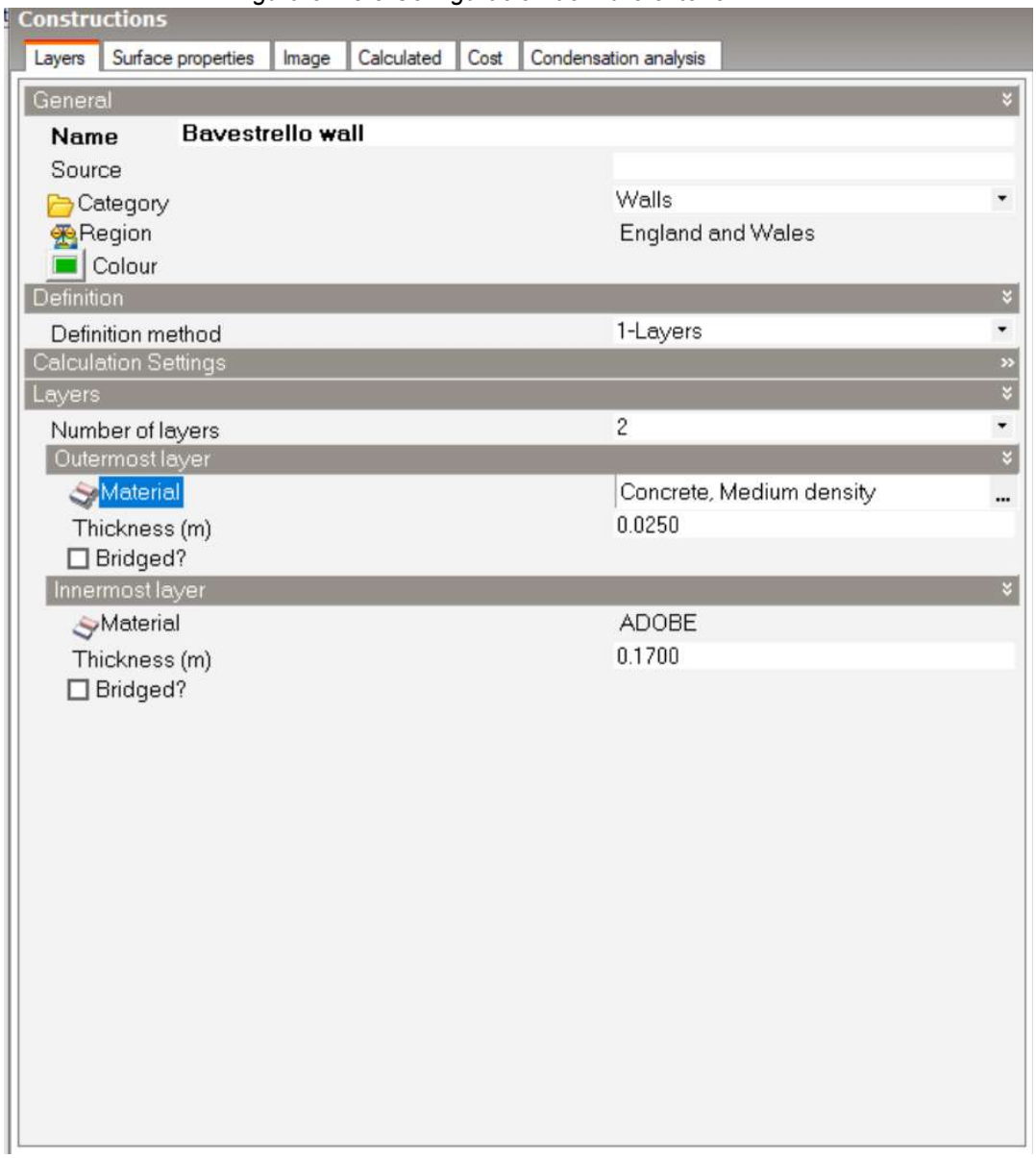
Figura 3.4.3.2 Configuración de muro



Fuente: Design Builder (2023)

De esta forma, la configuración constructiva de los muros queda de la siguiente forma:

Figura 3.4.3.3 Configuración de muro exterior



Fuente: Design Builder (2023)

Para las ventanas se usó una forma más elaborada de estimar su transmitancia térmica. De acuerdo con la Nch 853, Of. 2007, el cálculo por transmitancia para las ventanas se calcula como:

$$\boldsymbol{U}ventana = \frac{U\ vidrio\ x\ Avidrio + U\ marco\ x\ A\ marco}{A\ vidrio + A\ marco}$$

En donde:

Uvidrio: Transmitancia térmica del vidrio en W/m2K

Umarco: Transmitancia térmica del marco en W/m2K

Avidrio: área del vidrio en m2

Amarco: área del marco en m2

Uventana: Transmitancia térmica de la ventana en su totalidad, en W/m2K

El U de vidrio será considerado como Vidrio monolítico sin espaciador, sugerido por el "Manual de procedimientos Calificación Energética de viviendas en Chile", donde se especifica que, en caso de conocer el valor de transmitancia, se podrá utilizar un valor de la siguiente tabla:

Figura 3.4.3.5 Valores de transmitancia

ANCHO DEL ESPACIADOR	U VIDRIO [W/m²K]
Vidrio monolítico (VM). Sin espaciador	5,80
DVH con espaciador de 6 mm	3,28
DVH con espaciador de 9 mm	3,01
DVH con espaciador de 12 mm	2,85
DVH con espaciador de 15 mm o mayor	2,80

Fuente: Manual de procedimientos Calificación Energética de viviendas en Chile (2018)

El valor del Umarco será obtenido de la misma fuente, esta vez eligiendo un tipo de marco de madera, como se especifica a continuación:

Figura 3.4.3.6 Valores de transmitancia

TIPO DE MARCO	U MARCO [W/m²K]
Metal sin RPT	5,80
Al con RPT	3,30
PVC	2,80
Madera	2,60

Fuente: Manual de procedimientos Calificación Energética de viviendas en Chile (2018)

De esta manera, los cálculos quedan así:

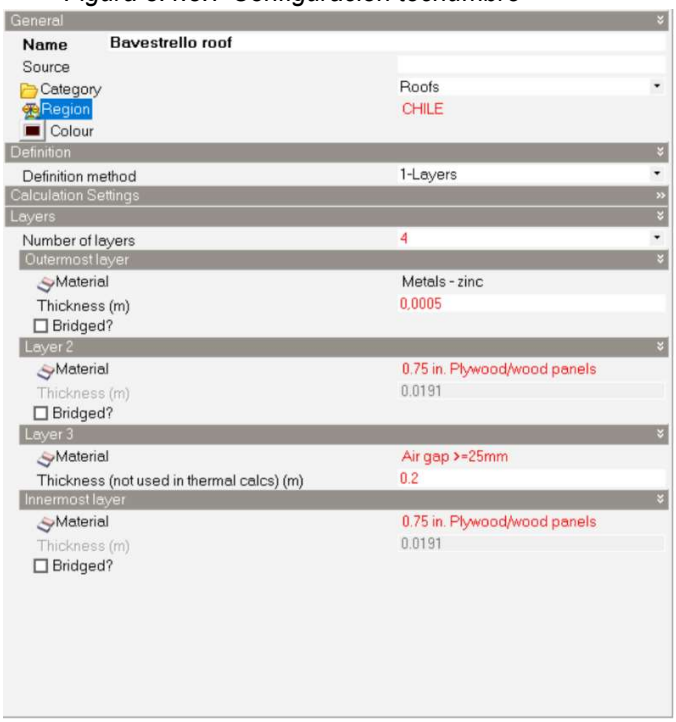
Area vidrio	Area marco	U vidrio	U marco
1.84	0.56	5.8	2.6

U ventana	5.0533333	W/m2K

El complejo de techumbre supone suposiciones importantes basadas en la visual y en la experiencia comentada por los vecinos. Se consideró una capa externa de zinc de 0,5 mm sobre una superficie de madera de 1,9 cm. Luego una capa de aire de 20 cm y finalmente otra capa de madera de 1.9 cm.

Existían indicios de la existencia de ensordinado en la capa de aire, sin embargo por comentarios del personal que remodeló el lugar se descarta que permanezca en el volumen superior. La techumbre del volumen inferior fue remodelada hace unos años pero no se tienen antecedentes de que aun exista el ensordinado. La techumbre no se calculó como ventilada, en tanto el personal de remodelación comentó sobre la necesidad de aislar lo más posible esta estructura en miras a evitar el hospedaje de palomas en la techumbre. Los datos fueron, al igual que en los muros, entregados por el repositorio del programa.

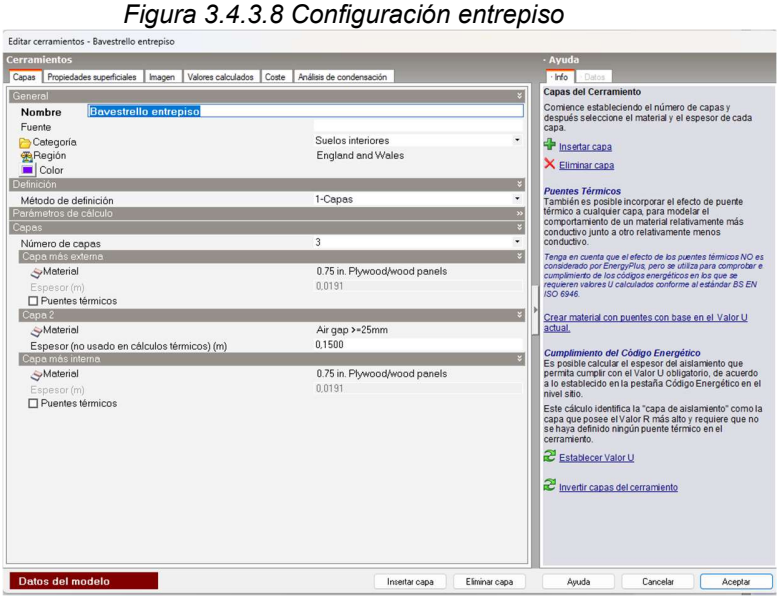
Figura 3.4.3.7 Configuración techumbre



Fuente: Elaboración propia

Los entrepisos fueron considerados como dos capas de madera de 2 cm de espesor, separadas por una capa de aire de 15 cm, tal como se detalla en la siguiente figura:

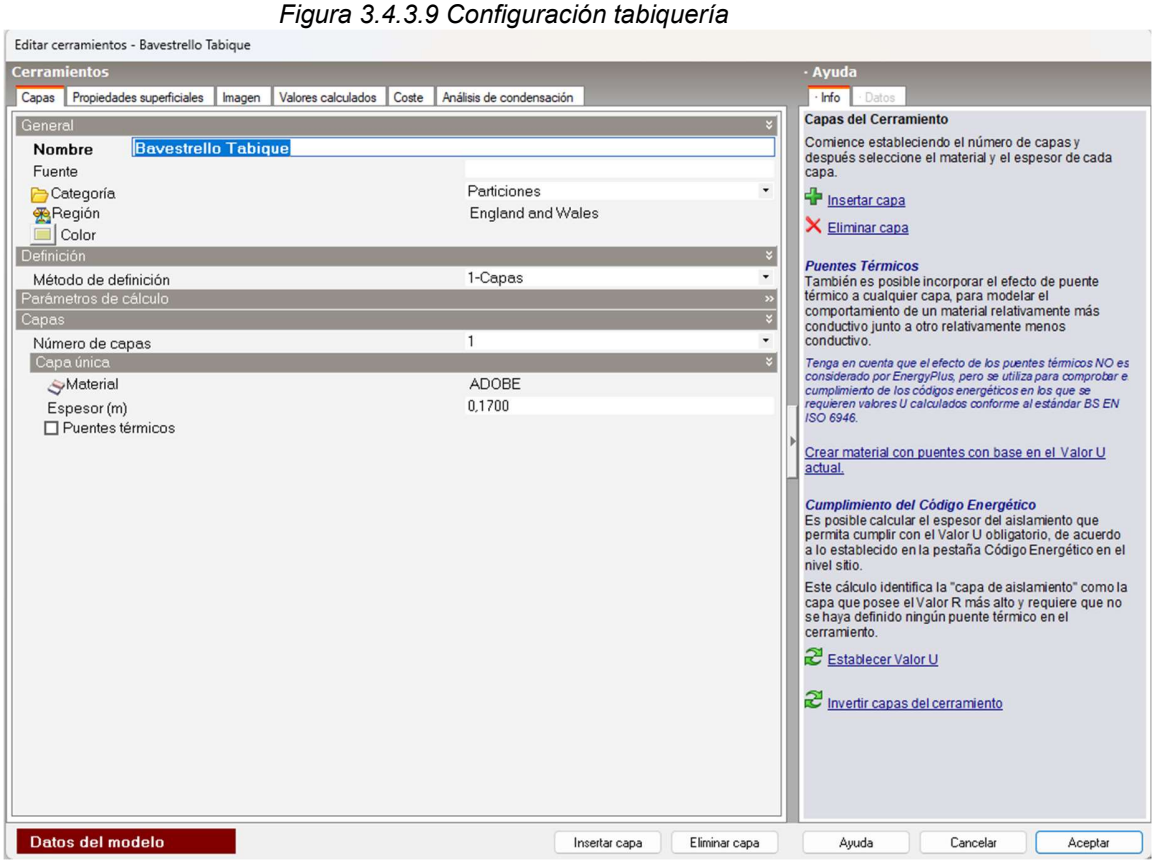
Figura 3.4.3.8 Configuración entrepiso



Fuente: Elaboración propia (2023)

Además, para la tabiquería, y de acuerdo con lo observado en los departamentos, se consideraron muros de 17 cm de espesor de adobe. Esto no es del todo preciso, en tanto existe un armazón de madera que, según lo comentado por vecinos, aparece cuando el adobe se descascara. Sin embargo, y bajo sus propias palabras, este armazón no alcanza a formar un caneo considerable a la hora de evaluar la transmitancia de los materiales en relación con el área que cubren. Por lo tanto, se consideró los muros de tabiquería como la siguiente:

Figura 3.4.3.9 Configuración tabiquería



Fuente: Elaboración propia (2023)

La actividad de los recintos fue considerada, en términos metabólicos, como “Dormitorio”, mientras que la densidad ocupacional fue considerada 0.03. Este número fue obtenido a propósito de la cantidad de habitantes promedio dividido por el área promedio de los departamentos. El hotel fue considerado con 6 habitantes, mientras que el colegio con 15.

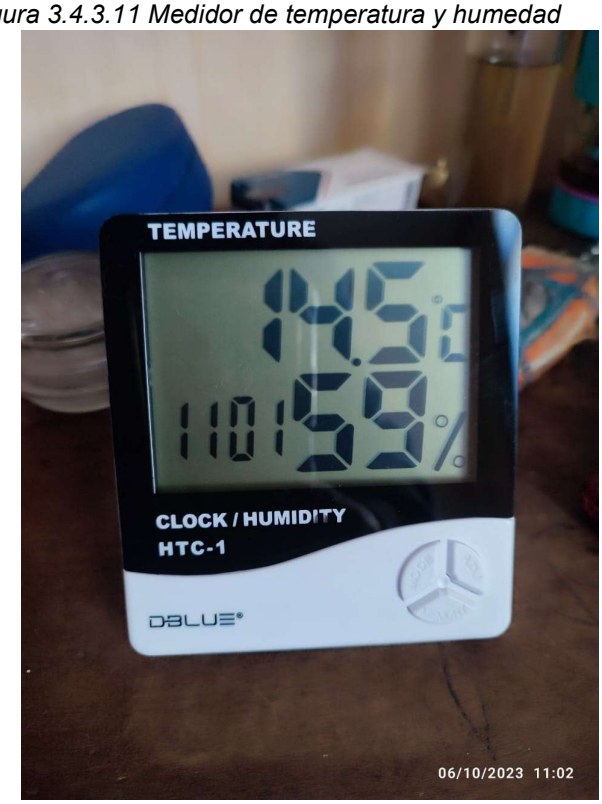
Figura 3.4.3.10 Configuración de uso



Fuente: Elaboración propia (2023)

Para corroborar que los datos obtenidos de la configuración del programa son los correctos, se instaló un medidor de temperatura y humedad en la casa de Alvaro Besa 530, la que cuenta con la menor cantidad de exposición al sol por encontrarse en la esquina sur y ser del primer piso.

Figura 3.4.3.11 Medidor de temperatura y humedad



Fuente: Elaboración propia

Se les pidió a los vecinos que tomaran fotografías de los datos obtenidos por lo máximo cada 8 horas, para así configurar una aproximación del comportamiento térmico y ver si la configuración del programa era un reflejo verosímil de las temperaturas obtenidas. Esto con fecha 6 de octubre del 2023.

Tabla 3.4.3.1 Temperatura y humedad

Medicion		
Horario	**Temperatura °C**	**Humedad %**
1:03:00	15,3	64
8:54:00	14,7	67
9:17:00	14,5	62
10:13:00	14,5	66
11:01:00	14,5	59
15:47:00	15,3	68
16:12:00	15,4	62
17:30:00	15,6	62
18:22:00	15,1	66
19:05:00	15,9	58
19:31:00	16,3	59
23:28:00	15,3	62

Fuente: Elaboración propia (2023)

Los datos recopilados son escasos en esta materia, y hubiese resultado optimo contar con un medidor de temperatura programado. Sin embargo, en relación con los datos obtenidos por la estación cerrillos, se aprecia que:

Tabla 3.4.3.2 Temperatura y humedad estación meteorologica

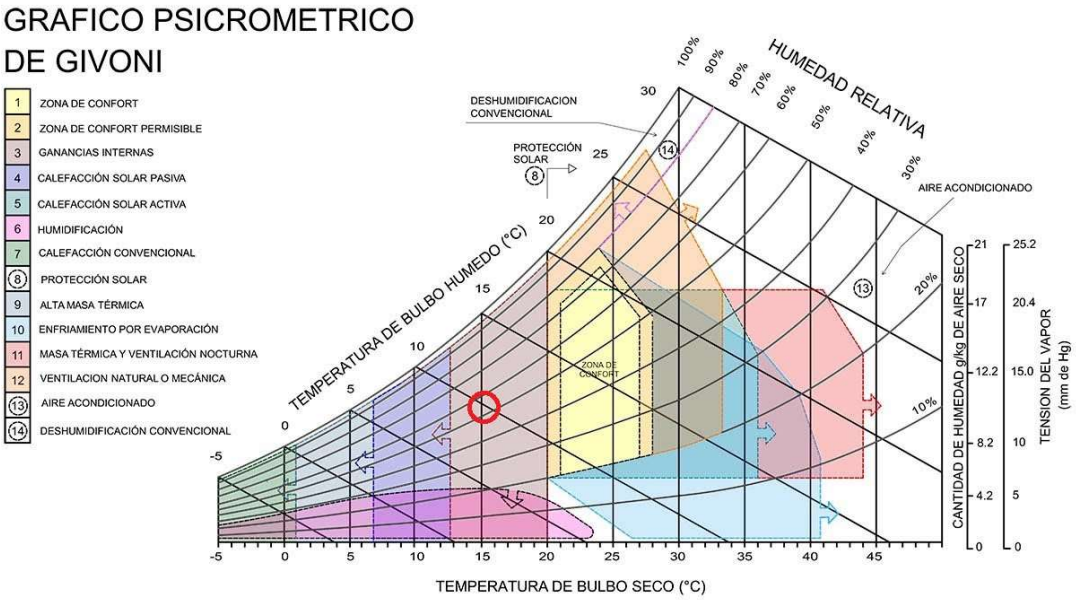
Estación meterologica		
Horario	**Temperatura °C**	**Humedad %**
1:03:00	8,60	87,40
8:54:00	9,10	79,30
9:17:00	8,40	78,70
10:13:00	7,00	86,90
11:01:00	8,10	84,20
15:47:00	14,8	59,50
16:12:00	15,00	58,50
17:30:00	15,40	59,60
18:22:00	17,40	55,30
19:05:00	17,50	50,30
19:31:00	16,90	52,40
23:28:00	10,70	73,90

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Estación meteorológica Rodelillo 6 de octubre 2023

Los resultados nos demuestran que la materialidad de los departamentos actúa como un microclima que mantiene una temperatura relativamente uniforme, sin datos que marquen una distancia significativa de los 15°C. Algo similar ocurre con la humedad.

Si analizamos los datos obtenidos a través de los termómetros y los comparamos con el ábaco psicométrico de Givoni, que establece los criterios necesarios para alcanzar la temperatura de confort, obtenemos que:

Figura 3.4.3.12 Abaco psicométrico y datos obtenidos



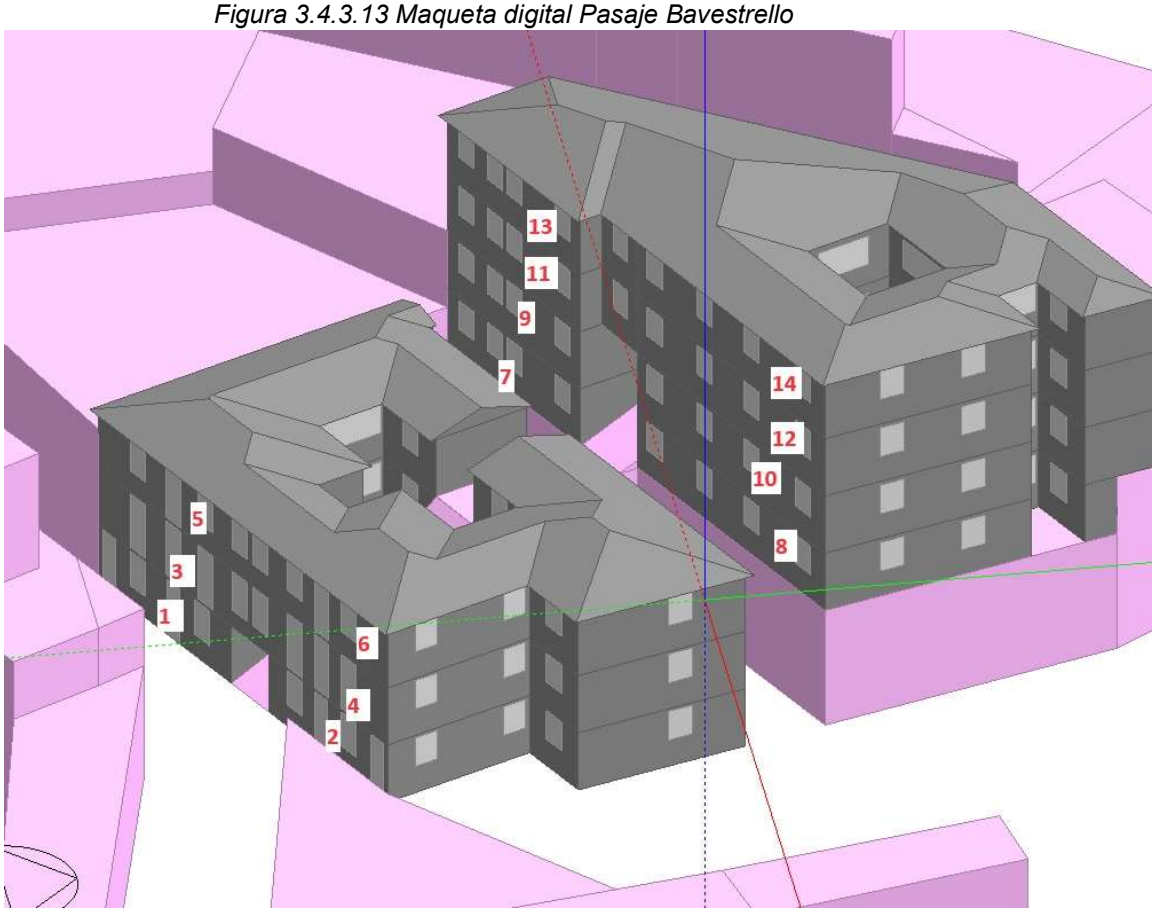
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Estación meteorológica Rodelillo 6 de octubre 2023

Por lo tanto, para la vivienda más desfavorable en la fecha establecida no se cumplen los criterios de confort. Para la humedad relativa del departamento, en el vecindario del 50%, la zona de confort oscila entre temperaturas que van desde los 21°C hasta los 27°C. El bienestar térmico de los ocupantes está determinado por diversas condiciones ambientales, arquitectónicas, personales y socioculturales que componen el concepto de confort. Además de la temperatura del aire y la humedad relativa, es crucial evaluar el movimiento del aire y las temperaturas de las superficies de la edificación. Estas variables no solo impactan en las condiciones atmosféricas, sino que también tienen un efecto directo en los habitantes. Su influencia se extiende a diferentes aspectos del confort, afectando las sensaciones térmicas, lumínicas, visuales y acústicas de las personas. Por lo tanto, el análisis de estas condiciones se vuelve fundamental en el diseño y acondicionamiento de edificaciones.

Para el día analizado, 6 de octubre, la modelación realizada en el programa DesignBuilder entregó una temperatura del aire de 16.2 °C, una variación poco significativa de los datos obtenidos empíricamente.

Para el análisis de cada departamento del complejo habitacional, se le asignó un numero que pueda establecer un criterio geográfico. De esta forma, los departamentos orientados al suroeste se les asignó los números impares y los orientados al noreste un numero par, aquellos entre el uno y el seis corresponden al volumen inferior, mientras que del siete al catorce corresponden al volumen superior. Esto facilitará la identificación de las temperaturas obtenidas a través de la modelación por el programa. De esta forma, definimos como se observa en la siguiente figura:

Figura 3.4.3.13 Maqueta digital Pasaje Bavestrello



Fuente: Elaboración propia DesignBuilder (2023)

De acuerdo con los datos obtenidos por la modelación, las temperaturas promedio de los departamentos por mes durante el año son las siguientes:

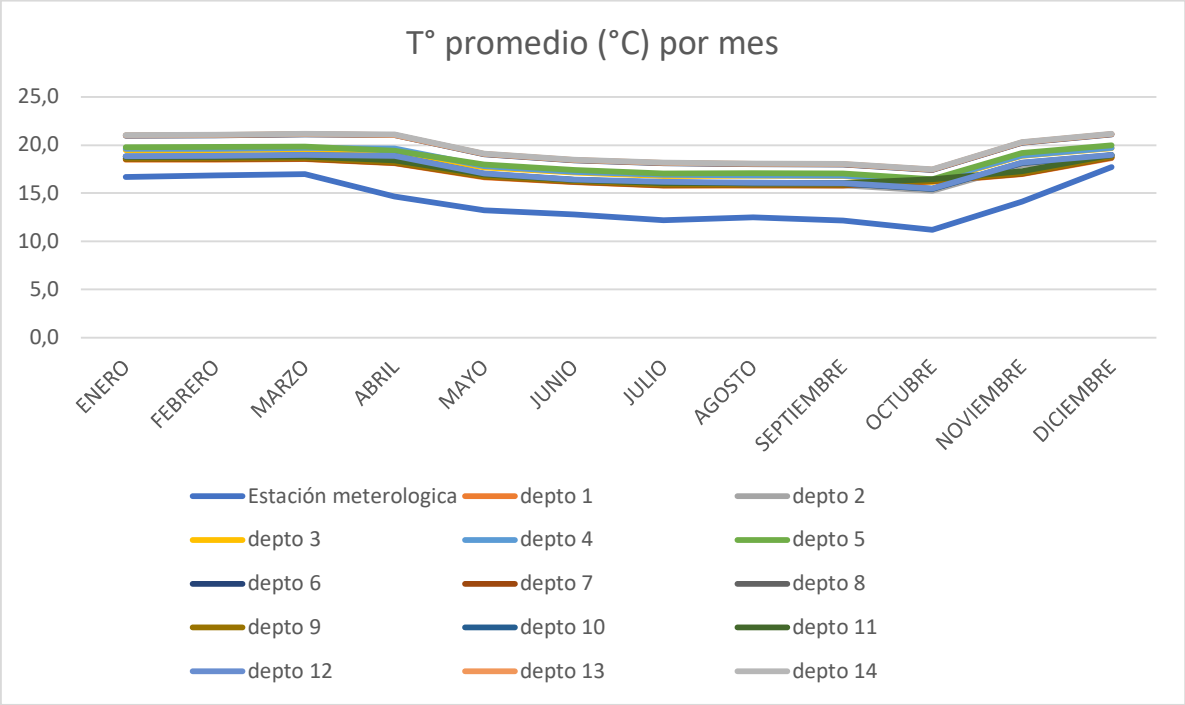
Tabla 3.4.3.3 T°promedio (°C) por mes

T° promedio (°C) / Mes	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Estación meterologica	16,7	16,85	16,98	14,65	13,24	12,82
depto 1	18,47	18,48	18,52	18,10	16,66	16,13
depto 2	18,59	18,61	18,71	18,62	16,81	16,19
depto 3	19,47	19,49	19,52	19,11	17,7	17,14
depto 4	19,59	19,61	19,71	19,63	17,81	17,2
depto 5	19,78	19,80	19,83	19,41	17,98	17,41
depto 6	20,97	20,99	21,10	21,01	19,07	18,41
depto 7	18,53	18,54	18,58	18,15	16,71	16,18
depto 8	18,79	18,81	18,92	18,82	16,99	16,37
depto 9	18,58	18,59	18,63	18,21	16,76	16,23
depto 10	18,81	18,83	18,93	18,84	17,01	16,38
depto 11	18,79	18,80	18,84	18,41	16,94	16,41
depto 12	18,87	18,89	18,99	18,90	17,06	16,43
depto 13	20,99	21,01	21,12	21,03	19,08	18,43
depto 14	21,03	21,06	21,16	21,08	19,12	18,47

T° promedio (°C) / Mes	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Estación meterologica	12,20	12,49	12,17	11,20	14,14	17,71
depto 1	15,78	15,8	15,78	16,18	16,97	18,66
depto 2	15,92	15,83	15,81	15,27	17,92	18,71
depto 3	16,78	16,81	16,79	16,19	18,89	19,67
depto 4	16,93	16,84	16,81	16,27	18,93	19,72
depto 5	17,04	17,07	17,05	16,45	19,19	19,98
depto 6	18,12	18,03	17,99	17,42	20,26	21,11
depto 7	15,83	15,85	15,83	16,23	17,02	18,72
depto 8	16,10	16,00	15,98	15,44	18,12	18,92
depto 9	15,87	15,89	15,87	16,28	17,07	18,77
depto 10	16,11	16,02	16,00	15,45	18,14	18,93
depto 11	16,05	16,07	16,05	16,46	17,26	18,98
depto 12	16,16	16,07	16,05	15,50	18,19	18,99
depto 13	18,14	18,05	18,01	17,43	20,28	21,13
depto 14	18,18	18,08	18,05	17,47	20,33	21,17

Fuente: Elaboración propia (2023)

Figura 3.4.3.14 T° promedio (°C) por mes



Acá se observa que las temperaturas promedio de los meses varían razonablemente en relación con la ubicación geográfica de los departamentos. Los impares mantienen temperaturas levemente menores a los pares dada su ubicación al suroeste, a excepción del departamento 11, cuya fachada se orienta hacia el noreste, alcanzando una buena cantidad de luz solar durante el día. Los departamentos 6, 13 y 14 mantienen temperaturas notablemente superiores, dada su condición de piso superior de los volúmenes en los que se encuentran, alcanzando una cantidad de radiación solar directa en las techumbres que entrega esta temperatura. El departamento 5, si bien comparte esta condición, no mantiene aumentos tan notables, probablemente dadas las condiciones de sombra que el volumen superior ejerce sobre su techumbre.

3.4.4 Determinación de la demanda termo-energética

Lo primero, es necesario establecer cuanta energía le será asignada a cada uno de los departamentos a través de la configuración microgrid. Esta no puede ser estimada de la misma forma que el ahorro financiero que se estableció antes en este mismo documento, ya que no tiene relación directa con aquellas condicionantes, sino que se relaciona estrechamente con la cantidad de metros cuadrados de cada uno de los departamentos, en tanto mientras mayor sea esta, mayor será la necesidad energética para alcanzar un confort térmico. Para establecer este criterio se consideró un factor de ponderación donde se dividió el área de cada uno de los departamentos en el total de la sumatoria de las áreas. Este factor se aplicó sobre la generación de electricidad a través de los paneles solares fotovoltaicos para los meses de junio, julio y agosto, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 3.4.4.1 Valores de energía asignados

			Ponderaciones kWh		
Depto	Area (M2)	Factor de ponderacion	junio	julio	agosto
depto 1	134,5	0,065	77,78	86,64	120,97
depto 2	150,51	0,072	87,04	96,95	135,37
depto 3	147,9	0,071	85,53	95,27	133,02
depto 4	163,87	0,079	94,77	105,56	147,38
depto 5	147,9	0,071	85,53	95,27	133,02
depto 6	163,87	0,079	94,77	105,56	147,38
depto 7	81,46	0,039	47,11	52,47	73,26
depto 8	183,86	0,088	106,33	118,43	165,36
depto 9	89,07	0,043	51,51	57,37	80,11
depto 10	205,19	0,098	118,67	132,17	184,54
depto 11	88,84	0,043	51,38	57,23	79,90
depto 12	205,19	0,098	118,67	132,17	184,54
depto 13	117,04	0,056	67,69	75,39	105,26
depto 14	205,12	0,098	118,62	132,13	184,48

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, el criterio que se utilizará para saber si la demanda termo-energética es capaz de ser satisfecha por la energía solar fotovoltaica inyectada a los hogares, bajo las condiciones limitadas de modelación impuestas por la licencia del programa, será evaluar cual es el departamento que cuenta con las condiciones mas desfavorables. En relación con las temperaturas alcanzadas y representadas anteriormente, podemos obtener un promedio para apreciar cual cuenta con la temperatura mas baja. Así observamos que:

Tabla 3.4.4.2 Temperatura promedio anual (°C)

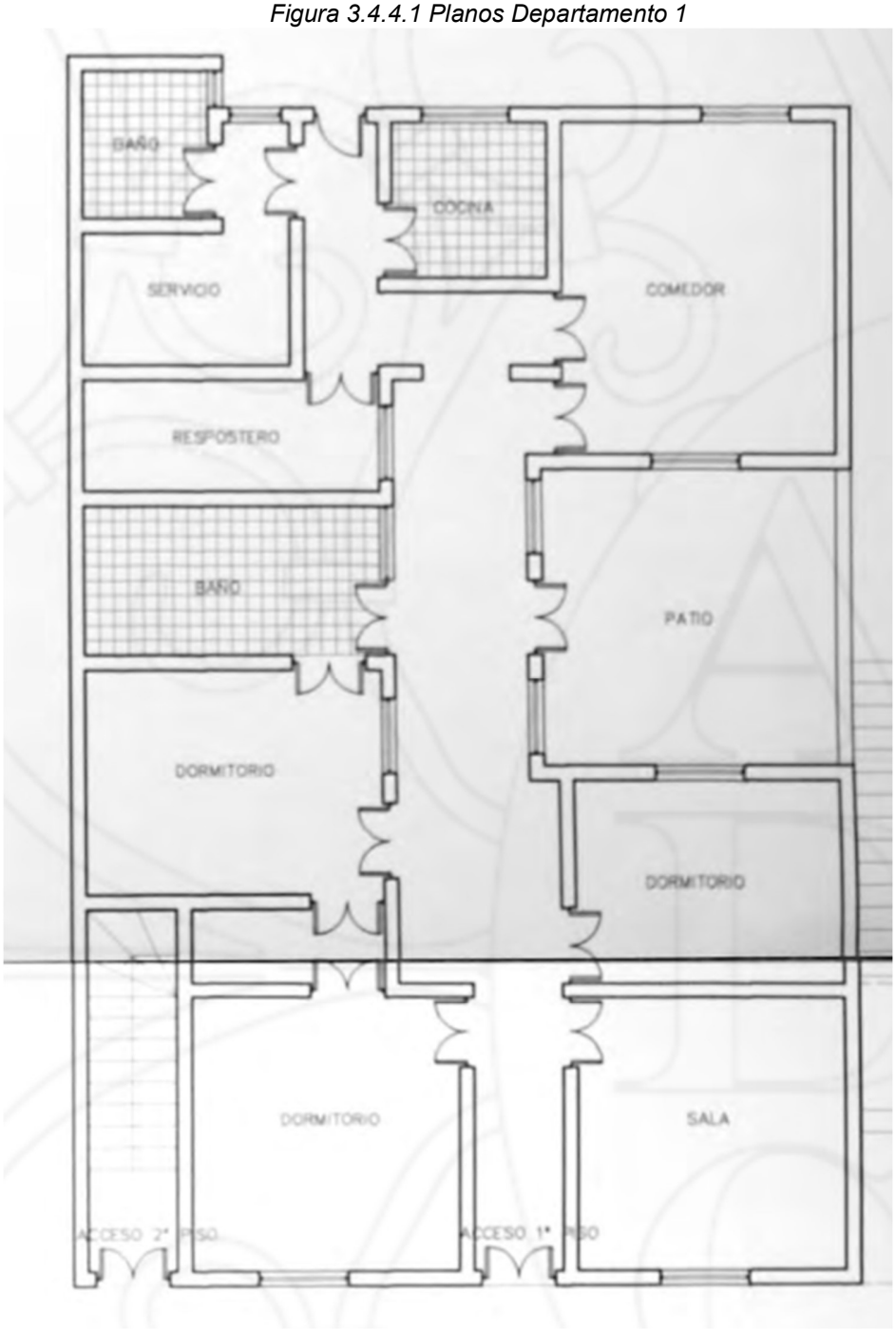
Depto	T° prom anual en C°
depto 1	17,13
depto 2	17,25
depto 3	18,13
depto 4	18,25
depto 5	18,42
depto 6	19,54
depto 7	17,18
depto 8	17,44
depto 9	17,23
depto 10	17,46
depto 11	17,42
depto 12	17,51
depto 13	19,56
depto 14	19,60

Fuente: Elaboración propia

De esta forma, los departamentos 1 y 7 son los que cuentan con la temperatura más baja. Ambos coinciden en una baja incidencia de luz solar, siento el departamento 1 el primer piso del volumen inferior en su lado suroeste, mientras que el departamento 7 es el primer piso del volumen superior del lado suroeste. Sin embargo, este ultimo cuenta con la mayoría de sus muros exterior embebidos en el terreno de forma directa, en la estructura del pasaje o en la casa colindante, lo que le entrega una aislación térmica superior. El departamento 1 cuenta con un patio interior que circunda con muros que cuentan con una gran cantidad de cristaleria, además de una cara que da directo a la calle y otra a un patio que comparte con los demás departamentos, volviéndolo el caso que a clara vista posee la mayor cantidad perdidas energéticas. Bajo estos criterios, será este el hogar que se usará como caso más desfavorable.

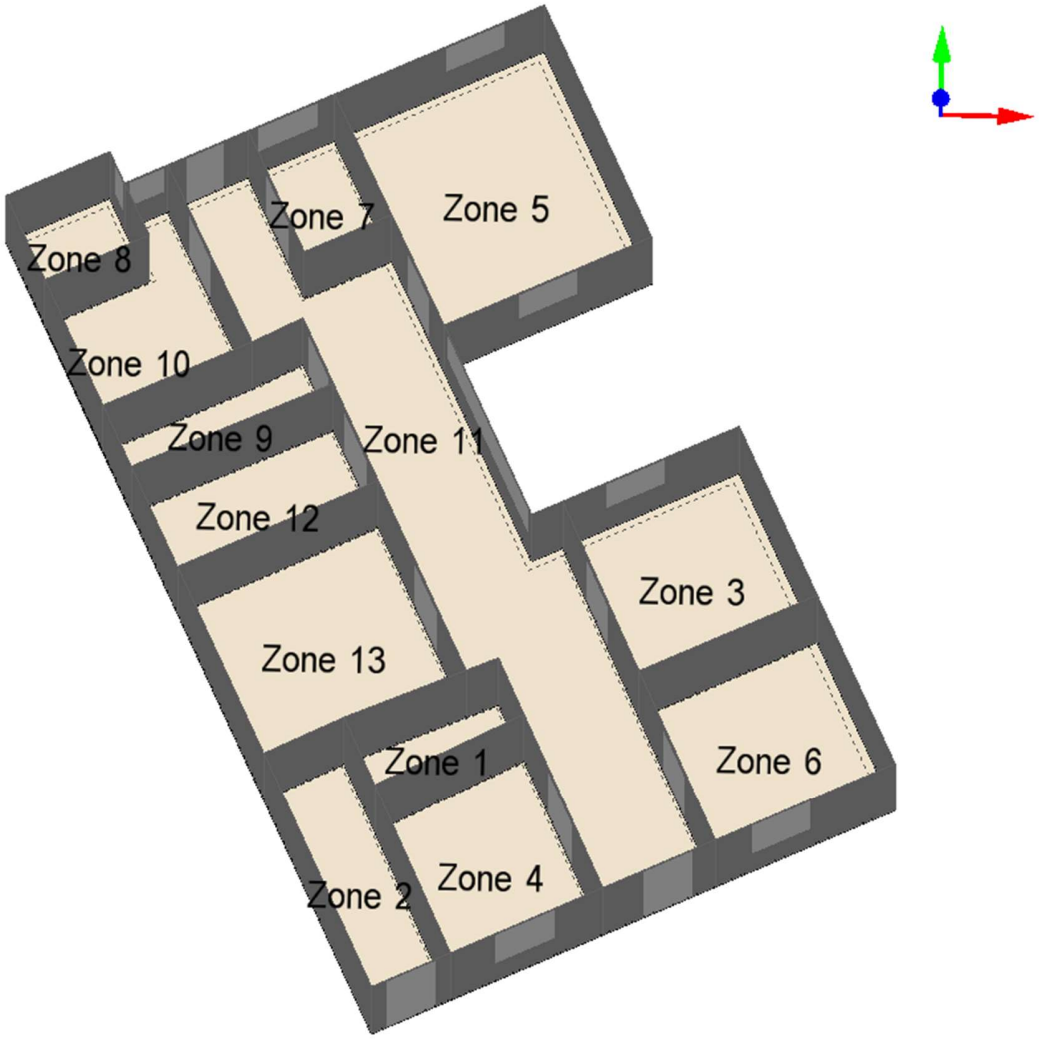
La modelación de la tabiquería del Departamento 1 se realizará a partir de los planos expuestos en la tesis Pasaje Bavestrello, de I. Lagos Gomez (1999), que muestra planos verosímiles en relación a las visitas realizadas a los hogares estudiados, pero que presenta leves diferencias con los planos entregados por Iconstruye.

Figura 3.4.4.1 Planos Departamento 1



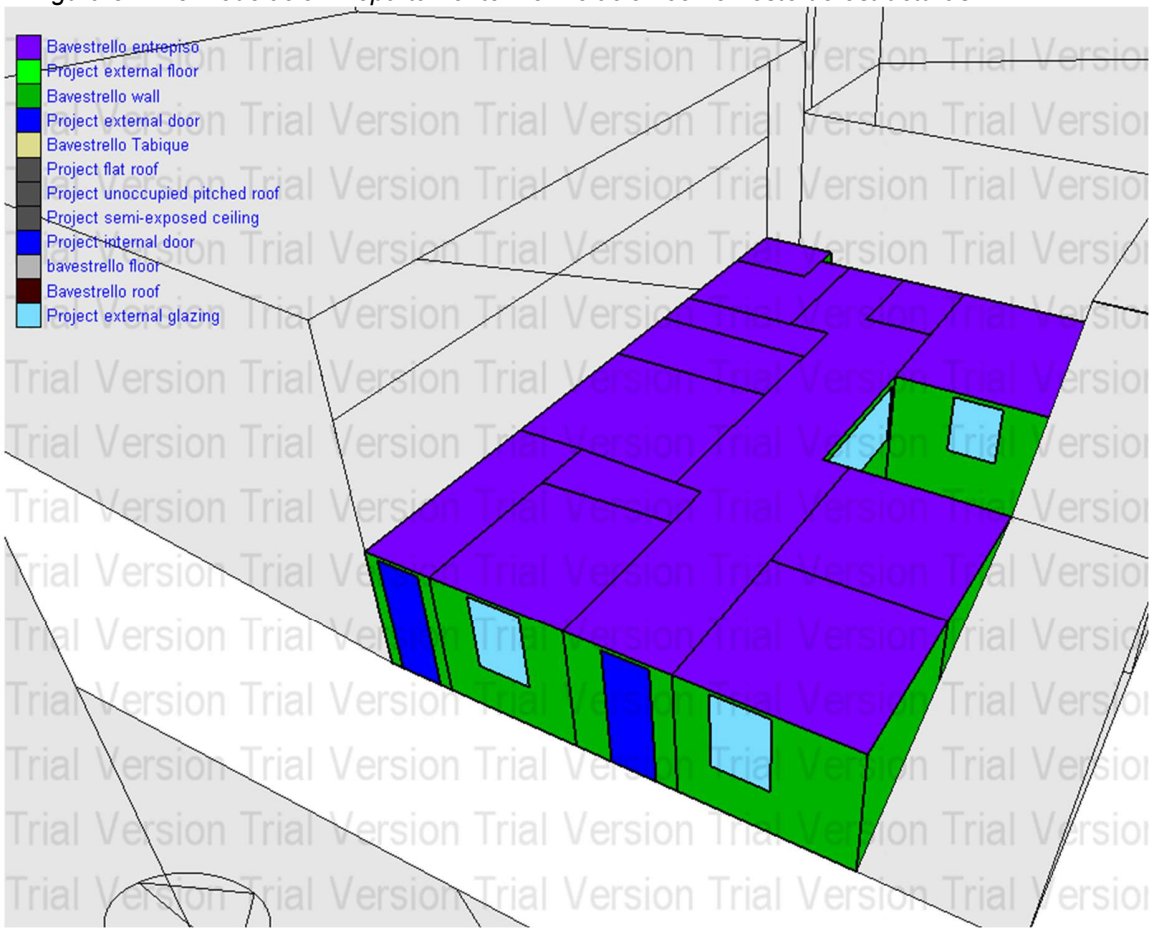
Fuente: I. Lagos Gomez, Universidad de Chile, 1999.

Figura 3.4.4.2 Modelación Departamento 1



Fuente: Elaboración propia, DesignBuilder.

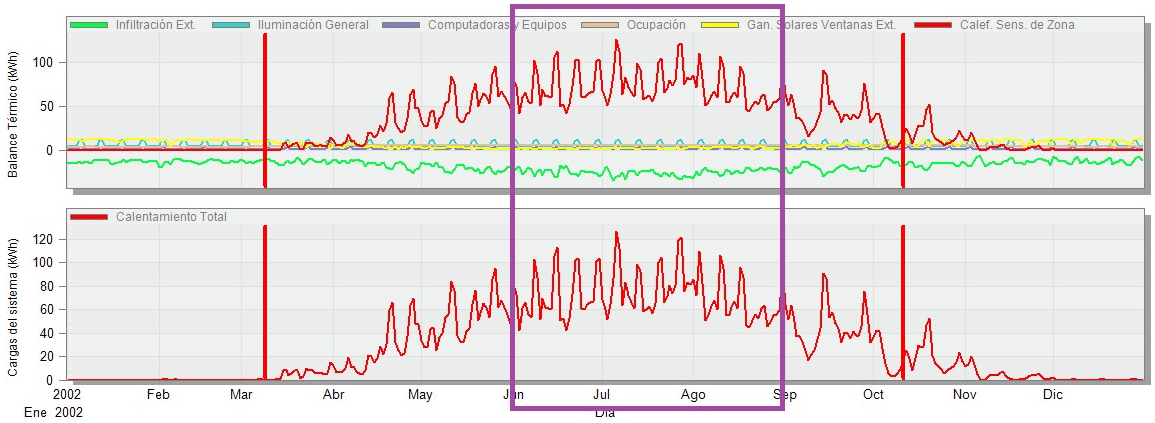
Figura 3.4.4.3 Modelación Departamento 1 en relación con el resto de estructuras



Fuente: Elaboración propia, DesignBuilder.

La simulación realizada entrega los siguientes resultados para el Departamento 1

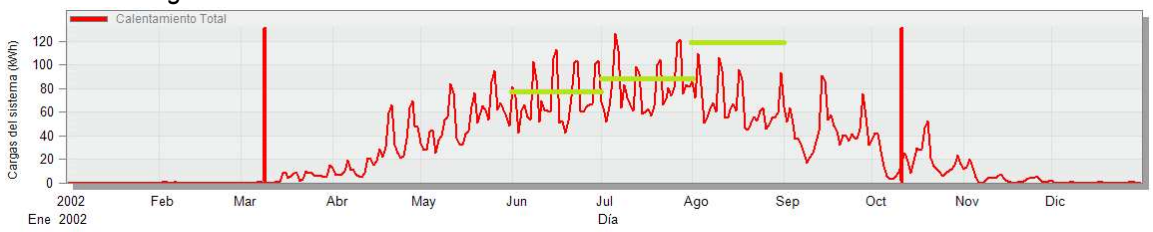
Figura 3.4.4.4 Resultados de la simulación de balance térmico



Fuente: Elaboración propia, DesignBuilder.

En la figura podemos observar el balance térmico obtenido a partir de la simulación del departamento 1. En ella se observan, en diferentes colores los elementos que suman o restan al balance. Al ser el hogar muy grande y estar habitado solamente por 4 personas, las contribuciones calóricas por ocupación son casi nulas. Ocurre algo similar, pero en menor medida, con las ganancias solares y la iluminación general. La principal perdida ocurre en relación con la infiltración exterior. La línea roja, rotulada como calefacción sensorial de zona, corresponde a la calefacción necesaria para alcanzar la temperatura de confort considerada por el programa en relación con los datos entregados en la simulación. Esta variable se repite en el segundo gráfico, pudiendo ser observada con más detalle en tanto el eje de las ordenadas no contiene valores negativos. El cuadro morado indica los meses en los que transcurre el invierno, en donde se ve reflejado los mayores valores de carga del sistema para alcanzar la temperatura de confort térmico. Ahora bien, los valores asignados al Departamento 1 en relación con la generación eléctrica de los paneles fotovoltaicos son 77,78 kWh en junio, 86,64 kWh en julio y 120,97 kWh en agosto**,** por lo que es posible distinguir los días en los que la carga energética será mayor que la capacidad de generación eléctrica, tal como se ve en la siguiente figura:

Figura 3.4.4.5 Resultados de la simulación de balance termico



Fuente: Elaboración propia, DesignBuilder.

En la figura, la línea verde marca el limite superior de generación eléctrica propuesto para el departamento 1. Se observa que en 14 días de los 3 meses de invierno la carga supera la generación. Sin embargo, esto no significa que la temperatura de confort sea inalcanzable, ya que el planteamiento de la modelación propone esa cantidad de kWh para mantener un confort térmico durante las 24 horas del día. En los casos en que la carga sea mayor a la generación eléctrica, y en tanto la conexión de la microgrid ha sido considerada on-grid, los habitantes de los departamentos pueden optar a mantener a

dos opciones: Mantener el confort térmico por una menor cantidad de horas al día o correr con los costos asociados a la empresa de distribución centralizada para mantenerlo las 24 horas. Sobre la primera alternativa, es interesante el ejercicio de saber que ocurre durante los dos días mas adversos planteados por la modelación; el 5 julio con una cargade 126 kWh, y el 29 de julio, con una carga de 120 kWh.

3.5 Variables financieras

Para obtener las variables financieras que establezcan el tiempo necesario para que el proyecto sea económicamente viable es necesario fijar un monto inicial de gasto para el proyecto. A continuación, se especificarán los gastos estimados en mano de obra, maquinaria, materiales y rango de tiempo para la obra:

Tabla 3.5.1 Costos de mano de obra, maquinaria, herramientas y suministro.

DESCRIPCION DEL TRABAJO		UNID.	CANT.	P.UNIT.	SUBTOT.
a.)	**Mano de Obra Directa**				
	Maestro segunda	HH	1.440	2.083	3.000.000
	Maestro primera	HH	1.440	2.500	3.600.000
	Supervisor	HH	480	3.958	1.900.000
	Conductor pluma	HH	480	3.750	1.800.000
	Rigger	HH	480	2.917	1.400.000
				0	
					11.699.999
b.)	**Mano de Obra Indirecta**				
	Prevencionista	GL	2,00	250.000	500.000
	Oficina tecnica	GL	2,00	300.000	600.000
					1.100.000

c.)	**Materiales**					
	EPP	GL	8,00	120.000		960.000
	Martillo trinquete	un	2,00	$	6.500,00	13.000
	Carraca	un	2,00	$	12.000,00	24.000
	Paneles FV T1	un	54,00	$	287.775,00	15.539.850
	Paneles FV T2	un	26,00	$	214.534,00	5.577.884
	Paneles FV T3	un	5,00	$	174.026,00	870.130
	Perfil canal 50X25X2 mm 6 m	un	80,00	$	18.300,00	1.464.000
	Medidor bidireccional monofasico	un	14,00	$	75.000,00	1.050.000
	Cables y conduit	un	1,00	$	2.500.000,00	2.500.000
	Inv. On-Grid Trifásico 30kW Huawei –	un	1,00	$	3.829.000,00	3.829.000
	Hardware microgrid	un	1,00	$	1.000.000,00	1.000.000
						32.827.864

d.)	**Equipos y Herramientas**				
	Camion Pluma	HM	480,00	6.250	**3.000.000**
	Andamios	m2	140	6.000,00	**840.000**
	Taladro inalambrico	mes	4,00	120.000	**480.000**
	Esmeril angular 4,5''	mes	2,00	80.000	**160.000**
					4.480.000
		Total Costo		**($)**	**50.107.863**

Fuente: Elaboración propia. (2023)

Se considerarán dos meses de faena, desde la instalación de faenas hasta las pruebas eléctricas. Por lo tanto, la inversión inicial estimada para llevar a cabo el proyecto suma lo siguiente:

Tabla 3.5.2 Costos ponderados en meses

	Mensual	Meses	Total
Mano de obra	$ 6.400.000,00	2	$ 12.800.000,00
Arriendos	$ 2.240.000,00	2	$ 4.480.000,00
Herramientas y materiales	$ 32.827.864,00	-	$ 32.827.864,00
		TOTAL	**$ 50.107.864,00**

Fuente: Elaboración propia. (2023)

Ahora bien, sobre este valor hay dos alcances que hacer:

1- De acuerdo con el índice de Precios de Sistemas Fotovoltaicos (2020), estudio realizado entre la GIZ (Sociedad Alemana de Cooperación Internacional) en conjunto con el Ministerio de Energía, se establecen rangos de precio para instalaciones de generación eléctrica a partir de paneles solares fotovoltaicos. Estos dictan los siguientes rangos:

Tabla 3.5.3 Costos asociados a rangos de potencia

Costo proyectos llave en mano pesos chilenos [CLP/kWp]				
Rango de potencia [kWp]	**Promedio**	**Mediana**	**Mínimo**	**Máximo**
1 a 5	1.279.367	1.250.000	761.000	2.394.000
5 a 10	1.151.102	1.100.000	755.000	2.170.000
10 a 30	1.025.700	977.611	750.000	1.600.000
30 a 100	943.347	882.000	680.000	2.187.178
100 a 300	790.319	760.000	575.860	1.300.000
300 a 500	678.612	640.000	560.000	860.000
500 a 1.500	640.645	600.000	550.000	780.000

Fuente: índice de precios de sistemas fotovoltaicos (2020)

Esto sitúa a este proyecto en el rango de 30 a 100 kWp, estableciendo valores de mínimo, mediana y máximo detallados a continuación:

	Min	mediana	Max
CLP/kWp	$ 680,000.00	$ 882,000.00	$ 2,187,178.00
Total	$ 20,400,000.00	$ 26,460,000.00	$ 65,615,340.00

Donde kWp son los kilos watt pico, el máximo posible de generación eléctrica del sistema (alcanzado, normalmente, a la hora del mediodía). Estos valores sitúan al proyecto dentro de los rangos esperados de este estudio, entre la mediana y el máximo.

2- Existe una forma de financiamiento estatal para energía solar llamada Casa Solar. Esta plataforma busca potenciar la generación de energías renovables a través de la instalación de paneles FV conectados On-grid. Sin embargo, dentro de las bases, se establece que los postulantes deben ser propietarios de los inmuebles a intervenir. El Pasaje Bavestrello es un complejo en el que todos los habitantes son arrendatarios, los propietarios siguen siendo, casi 100 años después, la familia Bavestrello, quienes a la fecha viven en Italia. Por otra parte, la página de la plataforma Casa Solar no ha sido actualizada desde finales del 2021, y los teléfonos entregados no reciben respuesta.

Una vez obtenida la inversión inicial, es necesario determinar el ahorro y ganancia que proveerá la generación de energía eléctrica en virtud de los paneles. Para calcular esto, se estimó la diferencia entre los consumos promedios de los hogares y los kWh generados y asignados a cada uno de los mismos. Cuando esta diferencia fuese mayor a 20 kWh, el numeró será igualada a esta cifra. Esto, ya que la ley 21.118 (Netbilling) establece que los máximos que se pueden entregar por hogar a la red centralizada es esta cantidad para entidades que no son fundaciones sin fines de lucro. Los valores de compra de los hogares del kWh son los establecidos por Chilquinta Distribución S.A. para octubre de este año, y el precio de venta de los hogares del kWh fue calculado como la mitad del precio de compra, esto de acuerdo con la información expuesta en la página de la empresa TRITEC, que se especializa en el mercado solar fotovoltaico europeo y que mantiene una sede en nuestro país. Finalmente, se les consultó a los vecinos que han participado activamente en esta investigación cuales han sido los gastos aproximados asociados a combustibles fósiles para alcanzar una temperatura de confort en sus hogares. Dado que este es un valor que se vale de aproximaciones, se les preguntó por rangos de gastos y estos fueron promediados para asignar una cantidad de ahorro acorde. Los resultados de la encuesta son los siguientes:

Tabla 3.5.4 Costos asociados compra de combustibles fósiles.

Depto/Rango (miles de pesos)	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55
1			X			
2				X		
3					x	
4			X			
5					x	
6			X			
7					x	
8			X			
9			x			
10				X		
11*						
12*						
13*						
14*						
	TOTAL	$ 40.820				

Fuente: Elaboración propia (2023)

La fórmula usada en los casos de excedente fue dada por:

Ganancia = (Ahorro * Valor de compra) + (excedente * Valor de venta)

De esta forma, obtenemos que:

Tabla 3.5.5 Ahorros mensuales

	kWh generado	kWh consumo	Generado / consumido	Diferencia de kWh*	Ahorro o Ganancia	Ahorro CF
ENERO	327,0	250,9	1,3	20,0	$ 39.655,57	
FEBRERO	259,2	258,6	1,0	0,7	$ 39.354,59	
MARZO	229,0	267,7	0,9	-38,8	$ 34.804,89	
ABRIL	155,0	310,1	0,5	-155,1	$ 23.558,70	
MAYO	102,3	308,5	0,3	-206,3	$ 15.545,86	
JUNIO	86,1	311,8	0,3	-225,7	$ 13.094,34	$ 40.820,00
JULIO	95,9	327,9	0,3	-232,0	$ 14.569,30	$ 40.820,00
AGOSTO	133,9	313,3	0,4	-179,4	$ 20.349,12	$ 40.820,00
SEPTIEMBRE	194,3	344,8	0,6	-150,5	$ 29.533,22	
OCTUBRE	271,5	310,2	0,9	-38,7	$ 41.266,43	
NOVIEMBRE	307,8	344,9	0,9	-37,1	$ 46.784,53	
DICIEMBRE	341,6	301,8	1,1	20,0	$ 47.395,67	
Precio compra kWh	152,0			**Total anual prom por hogar**	**$ 365.912,21**	
Precio venta kWh	76			Total anual ahorro CF	**$ 122.460,00**	
				Total anual prom inmueble	**$ 6.837.210,98**	

Fuente: Elaboración propia (2023)

Los casos de ahorro también fueron sumados en tanto contribuyen a la variable de Flujo de Caja a la hora de calcular las variables financieras.

Con todos estos datos, es posible obtener los años en los que se paga la inversión inicial. Esta se considerará como $50.107.864 de acuerdo con los cálculos obtenidos anteriormente. El flujo será considerado como los ahorros calculados en la tabla anterior, alcanzando $6.837.210. Finalmente, la tasa de descuento será del 6%, al ser un proyecto social que no busca generar estrictamente ganancias. Se realizarán iteraciones por cada año hasta que el descuento a la inversión inicial se haga 0, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 3.5.6 Tiempo de retorno de inversión

Inversión inicial	$ 50.107.864,00	**Iteraciones**		Suma interaciones
Tasa descuento	0,06	0	-50107864	214604,0169
Flujo	$ 6.837.210,98	**1**	6450199	
		2	6085093	
		3	5740654	
		4	5415711	
		5	5109162	
		6	4819964	
		7	4547136	
		8	4289751	
		9	**4046935**	**año 9**
		10	3817863	

Fuente: Elaboración propia (2023)

Así, el proyecto se paga entre los años 9 y 10 de efectuada la inversión inicial. Para determinar el mes exacto en el que se alcanza el retorno completo, se divide la diferencia de la suma de iteraciones entre los años 9 y 10 por la cantidad de meses del año, y luego se va sumando año a año hasta alcanzar el valor de la inversión inicial, tal que la resta entre las iteraciones y esta de 0. De esta forma, tenemos que:

Tabla 3.5.7 Detalle de meses de retorno de inversión

Mes	Acumulado	Resultado
1	318155	-3285104
2	636310	-2966948
3	954466	-2648793
4	1272621	-2330638
5	1590776	-2012483
6	1908931	-1694327
7	2227087	-1376172
8	2545242	-1058017
9	2863397	-739862
10	3181552	-421706
11	3499708	-103551
12	3817863	214604

Fuente: Elaboración propia (2023)

Por lo que el proyecto se paga en 9 años y 11 meses.

3.6 Conclusiones y recomendaciones

En esta investigación se presentó una alternativa de suministro energético que ayudase a mitigar el uso de combustibles fósiles en edificios patrimoniales a través de una alternativa vinculada a las energías renovables no convencionales. Para poder llegar a un cumplimiento satisfactorio de los objetivos se plantearon análisis bibliográficos, recopilación de información en terreno, entrevistas con los vecinos del complejo habitacional electo para la investigación, simulación energética y análisis de las variables financieras asociadas a los costos del proyecto.

Para el objetivo que buscaba determinar una propuesta de generación eléctrica a través de paneles fotovoltaicos, el resultado es positivo. En primer lugar, las autoridades relacionadas al patrimonio no se cierran a la posibilidad de intervenir el edificio, al mismo tiempo que los frecuentes mantenimientos posibilitan estructuralmente la capacidad de sostener los paneles fotovoltaicos planteados en esta tesis. Esto permite concluir que, dadas las mejoras en las condiciones estructurales de otros edificios patrimoniales de la ciudad, es factible generar una conversión energética a partir de ERNC que contribuya a la disminución del uso de combustibles fósiles. Por otra parte, dadas las amplias superficies sobre las que se construyeron buena parte de los edificios de principios del siglo pasado, el área de sus techumbres es un espacio fértil para la generación de energía eléctrica por paneles solares fotovoltaicos. La intención de este ejercicio no debe ser estrictamente el alcance del confort térmico o la disminución de la generación de gases de efecto invernadero, sino la autonomía energética de los espacios con miras a generar comunidades completas que operen energéticamente independientes de la red centralizada, transformando un espacio que se erige como una suerte de monopolio, volviéndolo, en un eufemismo propio de estos tiempos, “un ambiente más competitivo”. El análisis realizado gracias a la herramienta Explorador Solar fue determinante para conocer las cantidades de energía generada por los paneles solares, permitiendo cumplir con el objetivo de determinar si la generación eléctrica posible satisface el consumo cotidiano de los hogares.

Sobre la modelación térmica del complejo habitacional, los resultados son satisfactorios pero insuficientes. Se debió hacer muchas concesiones que involucraron los casos mas desfavorables para alcanzar un resultado satisfactorio y verosímil en relación con los objetivos propuestos en esta tesis. Estas contemplaron consideraciones conservadoras y estimaron los valores extremos posibles entregados por la modelación, tomando decisiones en relación con los datos entregados que están

dentro de los rangos pero que carecen de la precisión que se hubiese esperado. En este estudio fue posible determinar los rangos de disconfort térmico de los departamentos. Las aproximaciones realizadas entregan luces que son satisfactorias pero que ameritan un análisis posterior.

El objetivo que planteaba realizar un análisis económico de la propuesta se concluye con impresiones satisfactorias. Se consideraron costos asociados a la instalación de los paneles solares fotovoltaicos consultando catálogos de venta de estos suministros, al mismo tiempo que se estimó la inversión necesaria de mano de obra, herramientas y maquinaria necesaria. Se calculó los ahorros generados por la generación eléctrica por paneles fotovoltaicos de acuerdo con los precios investigados, a los que se les agregó los ahorros por disminución de consumo de combustibles fósiles. Ponderando los valores de la inversión inicial y los ahorros generados, incluyendo una tasa de descuento social del 6%, se estimó el tiempo necesario para pagar los gastos realizados. El periodo de tiempo necesario para alcanzar a pagar la inversión inicial está dentro de la tendencia de este tipo de proyectos, al mismo tiempo, cada vez existe una mayor cantidad de alternativas a la hora de comprar paneles solares fotovoltaicos. A diferencia de los costos asociados a la generación de energía por métodos que involucran los combustibles fósiles, especialmente el carbón, la fuente más usada para la obtención de energía eléctrica, cuyo valor por MWh ha permanecido estable entre el 2009 y el 2019, la electricidad que tiene como fuente los paneles solares fotovoltaicos han disminuido su precio en un 89% entre los mismos años (International Renewable Energy Agency IRENA, 2022). Existe un amplio esfuerzo de las universidades de nuestro país y del ministerio de energía por facilitar el análisis necesario para establecer la cantidad de paneles fotovoltaicos y la generación de energía que estos producirán, voluntad que se agradece y que simplifica los cálculos, democratizando el conocimiento preciso para optar a esta alternativa. Por otro lado, las instancias para alcanzar patrocinio estatal en iniciativas publico privadas en esta área son limitadas. El financiamiento de los proyectos no cuenta con plataformas robustas que permitan preferir este tipo de generación eléctrica, debiendo ser pagado en la mayoría de los casos íntegramente por los mismos interesados. Esto puede resultar desalentador para quienes no tienen la posibilidad de esperar entre 7 a 10 años para pagar la inversión inicial. En este sentido, son los cuerpos intermedios los que deberían propiciar, en un primer momento, la reconversión energética de las edificaciones de las que hacen uso, tales como universidades, escuelas, juntas de vecinos, edificios municipales, etc

3.7 Propuestas para futuras investigaciones

- En Valparaíso existe una gran cantidad de estructuras emblemáticas que corresponden a complejos habitacionales construidos a finales del S XIX y principios del S XX. Entre ellos, encontramos la Población Marquez, el Conjunto Habitacional Hermanos Montgolfier, el Colectivo Daneri o el Cité Colon. Se propone estudiar la factibilidad estructural de sus techumbres para alojar la instalación de paneles solares y las áreas disponibles en relación de la cantidad de energía eléctrica que puede generarse, en miras a realizar un análisis similar al desarrollado en esta tesis.
- La falta de plataformas de financiamiento estatal robustas dificulta la democratización de este tipo de iniciativas para quienes no se pueden dar el privilegio de esperar una gran cantidad de años para recuperar los costos de inversión. El programa Casa Solar está limitado al uso individual y no considera casos conjuntos que actúen como microgrid. Se propone identificar modelos de financiamiento alternativos que contemplen casos colectivos desde la banca, propuestas barriales o fondos de inversión para incorporar propuestas de ERNC.
- Se propone investigar la posibilidad de ampliar la red propuesta en el Pasaje Bavestrello a todas las viviendas de la calle Álvaro Besa, en miras a generar un sistema autónomo de electricidad que dependa lo menor posible de la red eléctrica centralizada. Este podría ser el primer puntapié inicial para desarrollar una red de microgrid que funcionen como islas que intercambien electricidad.

4 Bibliografía

- Georgescu-Roegen, N. (1993), The entropy law and the economic problem. MIT Press. Londres.
- Ramos, C. (2015). Sobreexplotación de recursos naturales. Puebla de Zaragoza, México. Recuperado de Slideshare: [https://es.slideshare.net/coral96/sobreexplotacin-de-los-recursos-naturales].
- Moreno, Sanchez, Suazo, Negrete, Olivares, Alvarado, Sepúlveda, Otarola y Basso (2020), Impactos del COVID-19 en el consumo eléctrico chileno. Santiago, Chile.
- Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. (2018). Plan + Energía. Recuperado de: https://www.energia.gob.cl/noticias/nacional/conoce-el-nuevo-plan-energia.
- Pérez, M. (2012). Estudio de rehabilitación energética en un barrio consolidado de Vitoria-Gasreiz. Escuela de Arquitectura, Universidad de Navarra.
- Blanco, J. (2015). Panorama teórico y tendencias contemporáneas de barrios sustentables – Especulaciones en torno a un modelo de desarrollo para Chile. Revista de Urbanismo 32(2015), pp 70 – 86.
- Hernández R, Vargas C, (2015). Micro-redes en comunidades indígenas de Chile: análisis antropológico de estas experiencias.
- 135Vargas G., G. A., Gil Baena, S. A., Díaz Figueroa, J. E., & Otálora Dueñas, L. M. (2019). Aprovechamiento de la energía solar para el Área Académica de la Escuela de Aviación policial mediante un sistema fotovoltaico con conexión a red. Revista Logos Ciencia & Tecnología, 11(2), 46-59. http://dx.doi.org/10.22335/rlct.v11i2.446
- Chicaguala, M., (2017). Análisis técnico económico proyecto fotovoltaico para autoconsumo de un datacenter. Universidad Técnica Federico Santa María. https://repositorio.usm.cl/handle/11673/22518
- Cataldo, J. (2018). Diagnóstico del comportamiento de dos sistemas solares térmicos orientados a la generación de agua caliente sanitaria en viviendas sociales mediante el programa de protección al patrimonio familiar: aplicación en la región Metropolitana, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- Walker, I. (2018). Evaluación del potencial de energía solar como recurso territorial para contribuir a la autonomía energética de la comuna de Valparaíso
- G. Zhang, Q. Su, J. Lai, S. Feng, W. Shi (2010), Green Solar Electric Vehicle Changin the Future Lifestyle of Human https://www.researchgate.net/publication/287301630_Green_Solar_Electric_Vehicle_Changing_the_Future_Lifestyle_of_Human/fulltext/5b02c2e10f7e9be94bda8f06/Green-Solar-Electric-Vehicle-Changing-the-Future-Lifestyle-of-Human.pdf?origin=publication_detail
- J. S. Vardakas, I. Zenginis, N. Zorba, C. Echave, M. Morato and C. Verikoukis, "Electrical Energy Savings through Efficient Cooperation of Urban Buildings: The Smart Community Case of Superblocks' in Barcelona," in IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 11, pp. 102-109, November 2018, doi: 10.1109/MCOM.2017.1700542.
- DOE: Definition of a Microgrid, Department of Energy, http://www.smartgrid-live.com/wp-content/uploads/2012/12/Introduction-to-Microgrids-by-Tristan-Glenwright.pdf
- Valencia, F., Billi, M., Urquiza, A. (2021). Overcoming energy poverty through micro-grids: An integrated framework for resilient, participatory sociotechnical transitions, Energy Research & Social Science, Volume 75,https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102030.
- Alcarruz, C., (2021). Universidad de Chile. Micro-redes urbanas comunitarias para aumentar confiabilidad en la red de distribución.
- Parag, Y., Sovacool, B., (2016). Electricity market design for the prosumer era. Nature Energy, march 2016.

- Instructivo de intervención “Zona típica Área histórica de Valparaiso” – Sitio de patrimonio mundial, V Región de Valparaíso (2001)
- ENDESA, https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/calcular-consumo-electrico-casa
- Combette M. et al (2017). Valparaíso Publico. Bienal de Venecia. https://issuu.com/proyecto.valparaiso.publico/docs/valparaiso_publico?utm_medium=website&utm_source=archdaily.cl
- Isabel Lagos G. (1999) Universidad de Chile. Pasaje Bavestrello.
- Consumos del Sector Residencial en España (2020-2019) - https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf
- “¿Cómo funciona el netbilling?”, TRITEC (2021) - https://tritec-intervento.cl/como-funciona-la-ley-netbilling/
- International Renewable Energy Agency © IRENA (2022) - https://ourworldindata.org/grapher/levelized-cost-of-energy