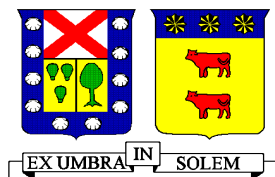


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAÍSO – CHILE



ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA CON UN ALTO DESEMPEÑO ENERGÉTICO BASADO EN EL SISTEMA DE CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS, APLICADO EN EL ESTUDIO DE UN PROYECTO INMOBILIARIO EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO.

Memoria de titulación presentado por

ALEXANDER RODOLFO WEISHAUPTE ORTEGA

Como requisito parcial para optar al título de

CONSTRUCTOR CIVIL

Profesor Guía

Felipe Araya

Septiembre 2022

RESUMEN

La presente memoria de titulación estudia el comportamiento térmico de una vivienda y de tres propuestas de mejora de dicha vivienda con modificaciones de eficiencia energética las cuales son: revestimiento exterior EIFS, ventanas termopanel y revestimiento exterior de fachada ventilada, evaluadas mediante la Calificación Energética de Viviendas.

Se estudia en primer lugar, el contexto en el cual están insertas las variables a estudiar, con el fin de comprender las externalidades a las cuales está sometido el proyecto y con esto, profundizar en las distintas certificaciones de sustentabilidad usadas en el país, tanto en su aplicación como en sus diferencias. Debido a diversos factores, la mejor opción para abordar este tema es la Calificación Energética de Viviendas (CEV).

Esta evaluación se aplica a los resultados obtenidos en el estudio de un proyecto inmobiliario en la región de Valparaíso encargado por la empresa GyO, donde se entregan indicadores relevantes, como el emplazamiento de las viviendas a construir, el modelo de vivienda propuesto (con sus respectivas especificaciones técnicas, planos e itemizado) y el estudio de las posibles soluciones constructivas para mejorar la eficiencia que, mediante diversos criterios, se determina la pertinencia de las soluciones mencionadas al principio.

La evaluación se realiza mediante la herramienta incluida en la CEV, la cual se basa en completar la planilla Excel PBDT 1 “Datos de arquitectura” con la información detallada de la vivienda acerca de sus transmitancias térmicas y las características de su envolvente. El proceso de cálculo se ejecuta mediante la PBDT 2 “Motor de cálculo”, arrojando los resultados en la PBDT 3 “Datos de equipos y resultados”. Según esto, la vivienda modelo tiene nota D, con un 21% de ahorro. La vivienda con EIFS tiene nota C, con un 47% de ahorro. La vivienda con ventanas termopanel tiene nota D, con un 28% de ahorro. La vivienda con fachada ventilada tiene nota C, con un 47% de ahorro.

En un análisis comparativo de todos los resultados, se determina que el revestimiento exterior EIFS cuenta con 2242[kWh-año] de ahorro con respecto a la vivienda modelo, una factibilidad técnica acorde con la capacidad de la empresa y un costo directo adicional de \$948.058, lo que está dentro del presupuesto asignado mediante el estudio inmobiliario, por lo que se determina que, en este caso, es la mejor opción para mejorar el desempeño térmico de la vivienda.

ÍNDICE

1. Introducción.....	10
2. Objetivos.....	11
2.1. Objetivo General:	11
2.2. Objetivos Específicos:	11
3. Revisión literaria	12
3.1. Desarrollo sustentable.....	12
3.1.1. Contexto social	12
3.1.2. Contexto económico	13
3.1.3. Contexto mediambiental.....	14
3.2. Certificaciones de sustentabilidad en la construcción	15
3.2.1. Certificación LEED	16
3.2.2. PassivHaus.....	17
3.2.3. Certificación de Vivienda Sustentable	18
3.2.4. Calificación Energética de Viviendas	19
3.2.5. Comparación de certificaciones.....	19
3.3. Calificación energética de viviendas	22
3.3.1. Introducción conceptual	23
3.3.2. Etiqueta de eficiencia energética	25
3.3.3. Vivienda de referencia.....	27
3.3.4. Rango de confort térmico	29
3.3.5. Planillas de balance térmico dinámico (PBTD)	31
4. Caso estudio	36
4.1. Estudio del proyecto inmobiliario	36
4.2. Indicadores relevantes	37
4.2.1. Ubicación y emplazamiento del proyecto	37

4.2.2. Modelo de vivienda a construir	39
4.3. Soluciones constructivas de eficiencia	42
4.3.1. Revestimiento exterior EIFS	43
4.3.2. Ventanas Termopanel	46
4.3.3. Fachada ventilada	47
4.3.1. Costo en el caso estudio	49
4.3.2. Factibilidad técnica de soluciones	50
5. Método	52
5.1. Cálculo eficiencia térmica de la CEV	52
5.1.1. PBDT 1 Datos de arquitectura	52
5.1.2. PBDT 2 Motor de cálculo	65
5.1.3. PBDT 3 Datos de equipos y resultados	66
5.2. Análisis comparativo	67
6. Resultados y Análisis	69
6.1. Ingreso de datos PBDT 1 “Datos de arquitectura”	69
6.1.1. Datos de arquitectura vivienda base	69
6.1.2. Datos de arquitectura de soluciones constructivas	96
6.2. Resultados PBDT 3 “Datos de equipos y resultados”	102
6.2.1. Datos de equipos	102
6.2.2. Resultados análisis CEV	104
6.3. Análisis de resultados	125
6.3.1. Demanda energética	125
6.3.1. Porcentaje de ahorro energético	126
6.3.2. Orientación de la vivienda	128
6.3.3. Flujos energéticos de la envolvente	129
7. Discusión	131

Acerca de la Calificación Energética de Viviendas.....	131
Acerca de la eficiencia térmica en viviendas.....	132
Acerca de las soluciones constructivas propuestas.....	133
Conclusión general	135
8. Referencias	137
9. Anexos.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 <i>Comparación certificaciones CVS y Leed</i>	20
Tabla 3.2 <i>Comparación CEV y Passivhaus</i>	21
Tabla 3.3. <i>Parámetros vivienda de referencia.</i>	28
Tabla 4.1 <i>Resumen itemizado vivienda propuesta.</i>	41
Tabla 4.2 <i>Resumen de las características de la envolvente.</i>	42
Tabla 4.3 <i>Comparación costos soluciones constructivas</i>	50
Tabla 5.1 <i>Tipos de puentes térmicos.</i>	56
Tabla 5.2 <i>Características de puertas</i>	57
Tabla 5.3 <i>Características ventanas.</i>	58
Tabla 6.1 <i>Cuadro de superficies vivienda modelo</i>	71
Tabla 6.2 <i>Dimensiones de la vivienda.</i>	72
Tabla 6.3 <i>Valores para determinar "U" en muro exterior con Poligyp.</i>	73
Tabla 6.4 <i>Valores para determinar "U" en muro exterior sin aislación.</i>	74
Tabla 6.5 <i>Transmitancia térmica de muros.</i>	74
Tabla 6.6 <i>Valores para determinar "U" en techumbre.</i>	75
Tabla 6.7 <i>Transmitancia térmica techumbre.</i>	77
Tabla 6.8 <i>Transmitancia térmica puertas.</i>	78
Tabla 6.9 <i>Transmitancia térmica ventanas</i>	78
Tabla 6.10 <i>Valores para determinar "U" en pisos.</i>	79
Tabla 6.11 <i>Transmitancia térmica piso.</i>	79
Tabla 6.12 <i>Características de pisos.</i>	80
Tabla 6.13 <i>Resumen características de muros vivienda modelo.</i>	81
Tabla 6.14 <i>Características muros.</i>	82
Tabla 6.15 <i>Puentes térmicos de vivienda modelo</i>	84
Tabla 6.16 <i>Puentes térmicos. PBDT 1 Vivienda modelo</i>	84
Tabla 6.17 <i>Características ventanas.</i>	85
Tabla 6.18 <i>Características ventanas.</i>	87
Tabla 6.19 <i>FAV vivienda modelo.</i>	88
Tabla 6.20 <i>Medidas FAV vivienda modelo</i>	88
Tabla 6.21 <i>Resumen FAR.</i>	96
Tabla 6.22 <i>Valores para determinar U en EIFS.</i>	97
Tabla 6.23 <i>Transmitancia muros con EIFS</i>	98
Tabla 6.24 <i>Características ventanas monolíticas y termopanel</i>	99
Tabla 6.25 <i>Transmitancias ventanas Termopanel.</i>	100
Tabla 6.26 <i>Valores para determinar U en muros con fachada ventilada.</i>	101
Tabla 6.27 <i>Transmitancia muros con fachada ventilada</i>	102
Tabla 6.28 <i>Consumos de energía vivienda modelo.</i>	105
Tabla 6.29 <i>Demanda de calefacción y refrigeración vivienda modelo.</i>	105
Tabla 6.30 <i>Horas fuera del rango de confort vivienda modelo</i>	106
Tabla 6.31 <i>Porcentaje de ahorro vivienda modelo</i>	106

Tabla 6.32 <i>Demanda energética según orientación vivienda modelo</i>	107
Tabla 6.33 <i>Horas fuera del rango de confort según orientación vivienda modelo</i>	107
Tabla 6.34 <i>Consumos de energía vivienda con EIFS</i>	110
Tabla 6.35 <i>Demanda de calefacción y refrigeración vivienda con EIFS</i>	111
Tabla 6.36 <i>Horas fuera del rango de confort vivienda con EIFS</i>	111
Tabla 6.37 <i>Porcentaje de ahorro vivienda con EIFS</i>	111
Tabla 6.38 <i>Demanda energética según orientación vivienda con EIFS</i>	112
Tabla 6.39 <i>Horas fuera del rango de confort según orientación vivienda con EIFS</i>	112
Tabla 6.40 <i>Consumos de energía vivienda con ventanas termopanel</i>	115
Tabla 6.41 <i>Demanda de calefacción y refrigeración. Vivienda con ventanas termopanel</i>	115
Tabla 6.42 <i>Horas fuera de rango de confort vivienda con ventanas termopanel</i>	116
Tabla 6.43 <i>Porcentaje de ahorro vivienda con ventanas termopanel</i>	116
Tabla 6.44 <i>Demanda energética según orientación vivienda con ventanas termopanel</i> ...	117
Tabla 6.45 <i>Horas fuera del rango de confort según orientación vivienda con ventana termopanel</i>	117
Tabla 6.46 <i>Consumos de energía vivienda con fachada ventilada</i>	120
Tabla 6.47 <i>Demanda de calefacción y refrigeración vivienda con fachada ventilada</i>	120
Tabla 6.48 <i>Horas fuera de rango de confort vivienda con fachada ventilada</i>	121
Tabla 6.49 <i>Porcentaje de ahorro vivienda con fachada ventilada</i>	121
Tabla 6.50 <i>Demanda energética según orientación vivienda con fachada ventilada</i>	122
Tabla 6.51 <i>Horas fuera del rango de confort según orientación vivienda con fachada ventilada</i>	122
Tabla 7.1 <i>Resumen indicadores relevantes modelos de vivienda propuestos</i>	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 <i>Calificación energética según rangos de ahorro.</i>	22
Figura 3.2 <i>Etiqueta de eficiencia de la Calificación Energética de Viviendas</i>	26
Figura 3.3 <i>Rango de máximas temperaturas por zona climática</i>	29
Figura 3.4 <i>Rango de mínimas temperaturas por zona climática.</i>	30
Figura 4.1 <i>Ubicación del terreno para emplazar el proyecto.</i>	38
Figura 4.2 <i>Proyección de ubicación proyecto de viviendas</i>	39
Figura 4.3 <i>Planta arquitectura vivienda modelo.</i>	40
Figura 4.4 <i>Elevación principal vivienda modelo.</i>	40
Figura 4.5 <i>Esquema construcción EIFS.</i>	45
Figura 4.6 <i>Esquema ventana termopanel</i>	47
Figura 4.7 <i>Esquema construcción Fachada ventilada</i>	49
Figura 5.1 <i>Orientación cardinal de muros.</i>	55
Figura 5-2 <i>Esquema FAV 1.</i>	59
Figura 5.3 <i>Esquema FAV 2.</i>	60
Figura 5.4 <i>Esquema FAV aleros.</i>	60
Figura 5.5 <i>Esquema FAV 3</i>	61
Figura 5.6 <i>División de cuadrantes FAR.</i>	62
Figura 5.7 <i>Esquema de distancia B para medir FAR.</i>	63
Figura 5.8 <i>Esquema de distancia D para medir FAR.</i>	64
Figura 5.9 <i>Esquema de distancia A para medir FAR.</i>	64
Figura 5.10 <i>Esquema de alturas variables para medir FAR</i>	65
Figura 6.1 <i>Secciones de la vivienda</i>	70
Figura 6.2 <i>Fachada vivienda modelo.</i>	72
Figura 6.3 <i>Coordenadas de muros vivienda modelo</i>	81
Figura 6.4 <i>Puentes térmicos 1 y 3 (1)</i>	83
Figura 6.5 <i>Puentes térmicos 1 y 3 (2)</i>	83
Figura 6.6 <i>Obstrucciones desde edificios en vivienda modelo.</i>	89
Figura 6.7 <i>Obstrucciones desde cerros vivienda modelo.</i>	90
Figura 6.8 <i>Medidas FAR en edificios cuadrante suroeste</i>	91
Figura 6.9 <i>Medidas FAR en edificios cuadrante sureste</i>	92
Figura 6.10 <i>Medidas FAR en cerros distancia Noreste</i>	93
Figura 6.11 <i>Medidas FAR en cerros cuadrante noroeste</i>	94
Figura 6.12 <i>Medidas FAR en cerros cuadrante sureste</i>	95

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 <i>Consumo de energías en viviendas según uso.</i>	15
Gráfico 6.1 <i>Demanda de calefacción por mes vivienda modelo</i>	108
Gráfico 6.2 <i>Demanda de enfriamiento por mes vivienda modelo</i>	109
Gráfico 6.3 <i>Flujo energético acumulado por mes característico vivienda modelo</i>	109
Gráfico 6.4 <i>Demanda de calefacción por mes vivienda con EIFS</i>	113
Gráfico 6.5 <i>Demanda de enfriamiento por mes vivienda con EIFS</i>	113
Gráfico 6.6 <i>Flujo energético acumulado por mes característico vivienda con EIFS</i>	114
Gráfico 6.7 <i>Demanda de calefacción por mes vivienda con ventanas termopanel</i>	118
Gráfico 6.8 <i>Demanda de enfriamiento por mes vivienda con ventanas termopanel</i>	118
Gráfico 6.9 <i>Flujo energético acumulado por mes característico</i>	119
Gráfico 6.10 <i>Demanda de calefacción por mes vivienda con fachada ventilada</i>	123
Gráfico 6.11 <i>Demanda de enfriamiento por mes vivienda con fachada ventilada</i>	124
Gráfico 6.12 <i>Flujo energético acumulado por mes característico vivienda con fachada ventilada</i>	124
Gráfico 6.13 <i>Comparación de demandas energéticas entre viviendas</i>	126
Gráfico 6.14 <i>Porcentaje de ahorro de viviendas propuestas con respecto a la vivienda modelo</i>	127
Gráfico 6.15 <i>Demanda de calefacción según orientación</i>	128
Gráfico 6.16 <i>Demanda de refrigeración según orientación de vivienda base</i>	129

1. INTRODUCCIÓN

La construcción de viviendas en Chile es un área en constante desarrollo, que responde tanto a necesidades demográficas como sociales. El sostenido aumento de la población ha hecho que el déficit habitacional vaya en aumento (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2020) por lo que existe la necesidad de generar nuevos proyectos que fomenten el desarrollo de los barrios. Dentro de este desarrollo, se deben considerar aspectos que sean pertinentes con las problemáticas actuales de medio ambiente y uso de energías.

El cambio climático, el uso de energías y la contaminación son factores que deben ser abordados por todos los sectores y en particular, por el sector de la construcción. Por lo que se han ido desarrollando distintas soluciones y normativas para enfrentar este fenómeno. Chile cuenta con la reglamentación térmica del 2007 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007), para definir un estándar mínimo de eficiencia energética. Al mismo tiempo, suscribe a la estrategia energética nacional llamada “Energía 2050” (Ministerio de Energía, 2016)

La iniciativa “Energía 2050”, plantea un desarrollo integral enfocado en el correcto uso de energía. Esta estrategia define que un índice que se relacione con las certificaciones de edificaciones sustentables contribuye a la estrategia planteada. Existen diversas certificaciones y entre ellas destaca una iniciativa nacional llamada “Calificación Energética de Viviendas”. Es una herramienta oficial desarrollada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo y el Ministerio de Energía, la cual entrega una calificación energética que va desde la A hasta la Z, que representa el ahorro energético que posee una vivienda.

En este escenario, y en base al estudio de un proyecto inmobiliario en la región de Valparaíso, se plantea evaluar una vivienda y diversas propuestas de mejoras mediante el sistema de la Calificación Energética de Viviendas. Este análisis busca conocer el comportamiento térmico y el uso de energía de distintos modelos de viviendas, y en base a esto, proponer alternativas constructivas factibles, que contribuyan con el uso responsable de la energía.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL:

Analizar el desempeño energético de distintas propuestas constructivas para encontrar la solución óptima, evaluadas mediante el sistema de Calificación Energética de Viviendas, aplicado al caso de estudio de un proyecto inmobiliario en la región de Valparaíso.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- I. Caracterizar el desempeño energético de una vivienda con sus características originales de diseño.
- II. Definir distintas soluciones constructivas a partir de los requerimientos normativos, que permitan disminuir el consumo energético de una vivienda.
- III. Evaluar los modelos de viviendas propuestos con sus respectivas soluciones constructivas mediante el sistema CEV.
- IV. Determinar la solución óptima entre los modelos de viviendas a partir de una comparación de los casos propuestos, considerando factores como eficiencia térmica, costos y factibilidad técnica.

3. REVISIÓN LITERARIA

3.1. DESARROLLO SUSTENTABLE

Para abordar el estudio es pertinente enfocarlo en el desarrollo sustentable, analizando la situación en que se encuentran las diversas variables que influyen en el proyecto. Dichas variables son: las necesidades sociales respecto a la problemática expuesta, el espectro económico en que se desarrolla el rubro estudiado, y las condiciones medioambientales que actúan como marco para entender los fenómenos estudiados, tanto nacional como internacionalmente.

3.1.1. CONTEXTO SOCIAL

La sociedad y el medio ambiente están en continua interacción, ligados de manera interdependiente, por lo que es indispensable determinar los fenómenos sociales que intervienen tanto en la necesidad de viviendas como en su interacción con el medio ambiente y el entorno.

Se debe abordar el déficit habitacional, que se entiende como la cantidad de viviendas nuevas que se necesitan para reemplazar las viviendas inhabitables y entregar una vivienda a las familias allegadas. Según la encuesta CASEN, se necesitan 425.660 viviendas para eliminar el allegamiento, y 313.943 viviendas para reemplazar unidades deterioradas, con un total de 739.603 viviendas para 2,2 millones de personas. En comparación con el año 2015, aumentó un 13% el déficit habitacional, con un aumento de 35% de déficit por allegamiento y una disminución del 7% de déficit por deterioro (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2017).

Existe una creciente concientización en la sociedad acerca de la importancia de incorporar elementos sustentables en sus prácticas cotidianas. Al mismo tiempo, el aumento

progresivo de hasta un 50% en los últimos 15 años de los costos energéticos (Comisión nacional de energías, 2019) impulsa la búsqueda de métodos para disminuir el uso de energía.

Lo anterior expresa una necesidad social de construcción de viviendas eficientes, evidenciada en una creciente búsqueda, tanto de alternativas para poder acceder a una vivienda, como para el desarrollo de energías renovables y soluciones constructivas de eficiencia.

3.1.2. CONTEXTO ECONÓMICO

Es necesario revisar el estado de la economía. A nivel global se observa como la recesión ha impactado más fuertemente a los sectores de servicio que a la actividad manufacturera. La construcción aparece con un desempeño regular, con un 0.2% de crecimiento, mientras el sector inmobiliario posee un buen desempeño con un 2% de crecimiento anual proyectado (Fondo Monetario Internacional, 2020).

En Chile, la comercialización de viviendas, luego del buen desempeño en 2018, experimentó caídas de 21,8% durante el último cuarto de 2019. No obstante, la venta de viviendas registró un incremento de 79% durante el tercer trimestre del 2020. En términos monetarios, el valor de las viviendas retrocedió un 44,1% para departamentos y un 26,6% para casas (Cámara Chilena de la Construcción, 2020). Existen indicios que apuntan a un repunte en el sector inmobiliario fundamentado en la notable mejora de velocidades de ventas.

Con respecto a los catalizadores de crecimiento y un ambiente sostenible, se declara que:

“Un impulso a las inversiones ecológicas para aumentar la dependencia de fuentes de energía renovables... y modernizar los edificios para una mayor conservación de energía podría también estimular el gasto de capital en sectores tales como materiales de construcción y sistemas de calefacción con eficiencia energética.” (Fondo Monetario Internacional, 2020).

De lo anterior se desprende que la innovación de procesos productivos para acelerar la transición a una economía con bajas emisiones de carbono, pareciera ser una alternativa viable para reorganizar la economía para empresas que sepan aprovechar las oportunidades que se presenten.

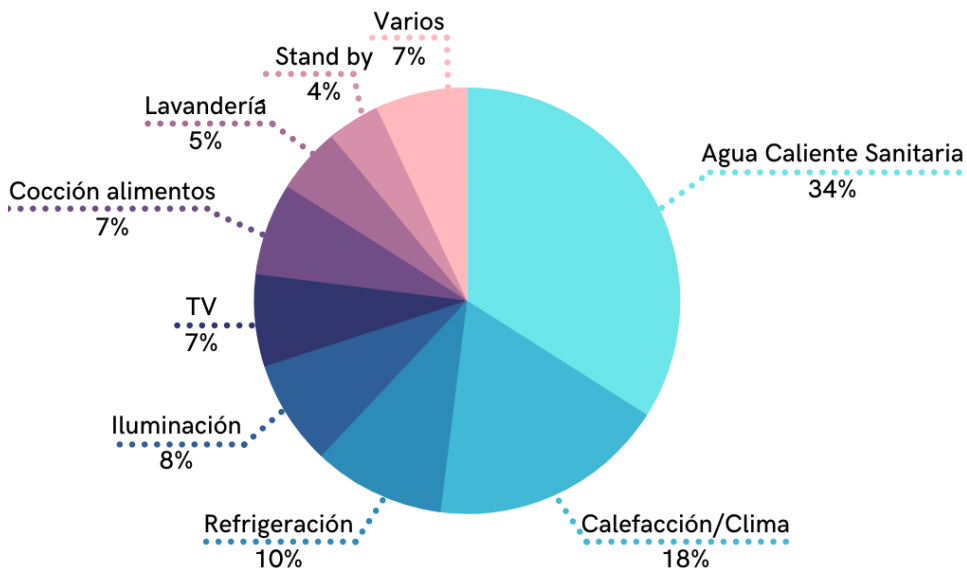
3.1.3. CONTEXTO MEDIAMBIENTAL

El consumo energético mundial, está basado principalmente en combustibles fósiles; 31% petróleo, 23% gas y 26% carbón. Dentro de este contexto, El sector industrial, que incluye a la construcción, es responsable de la gran mayoría de este, con un 32% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Mientras que el uso de edificios es responsable del 18,4% de las emisiones de GEI (Enerdata, 2020).

En Chile, cerca del 70% del consumo energético corresponde a combustibles fósiles Y se estima que el consumo eléctrico se duplicará en los próximos 20 años (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2018). En particular, el consumo habitacional es responsable del 15% del consumo de energía del país, y del 5% de las emisiones de CO₂. Dentro de este grupo, según el Gráfico 3.1, el 52% del consumo energético se destina a calefacción/climatización y agua caliente.

Gráfico 3.1

Consumo de energías en viviendas según uso.



Fuente: Corporación de desarrollo tecnológico 2018

El Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático IPCC recomienda el uso de distintas tecnologías para mitigar las emisiones de GEI, como lo son; iluminación más eficiente y aprovechamiento de luz natural, electrodomésticos, calefacción y equipos de refrigeración más eficientes, mejora de la envolvente térmica, calefacción solar u eólica, y fluidos de refrigeración alternativos (Intergovernmental panel on climate change, 2014).

3.2. CERTIFICACIONES DE SUSTENTABILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

De acuerdo la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), la sustentabilidad tiene relación con la conservación de los ecosistemas y de la diversidad biológica, así como la mantención de la capacidad económica de producir bienes y servicios para las actuales y futuras generaciones (Araneda & Gonzalez, 2017).

Debido al panorama actual, iniciativas de energías renovables y desarrollo sustentable han aparecido últimamente con más fuerza. En Chile se trabaja en base a una estrategia energética para el desarrollo social, institucional y económico del país llamada “Energía 2050”, la cual plantea trabajar cuatro pilares estratégicos: Productividad, Sustentabilidad, Innovación y exportaciones.

En el eje de sustentabilidad, se consideran aquellos índices con criterios consensuados, cuantitativos y que evalúan prácticas de excelencia en diseño y construcción sustentable, debido a que la mayor dificultad para establecer si el o los indicadores son pertinentes, es la falta de información. Considerando esta limitación, un índice que se relacione con las certificaciones de edificaciones sustentables, cubre distintos aspectos de sustentabilidad y aborda los diferentes impactos de un proyecto durante su ciclo de vida.

Para el caso de proyectos inmobiliarios, existen diversas certificaciones usadas en Chile que miden la sustentabilidad en distintas etapas de la construcción con variables estandarizadas y comparables. Se analizan dos certificaciones que estudian el uso de energía acumulada, incorporada, en operación y en demolición, es decir, de todo el proceso. Luego se analizan dos certificaciones que miden solo la energía durante el uso que y están abocadas a analizar en profundidad la eficiencia térmica de las viviendas

3.2.1. CERTIFICACIÓN LEED

La certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) Es un programa de certificación voluntario y consensuado para edificaciones sustentables. Esta herramienta nace el año 2000 por el “Green Building Council” en Estados Unidos y su objetivo es mejorar la forma de diseñar, construir, operar y mantener las edificaciones con miras a disminuir los impactos ambientales resultantes durante su ciclo de vida, obteniendo espacios más saludables, seguros y confortables para ocupantes en tanto se reducen los costos asociados a la fase de uso (EEChile, 2017).

El sistema está basado en la sumatoria de puntaje entre varias categorías, en la cual destaca la categoría de “Energía y atmósfera”, la cual evalúa la energía durante todo el

desarrollo del proyecto y promueve un mejoramiento en el desempeño energético del edificio fomentando la eficiencia energética. El puntaje mínimo a cumplir es de 40, con un máximo de 110, que ubican al proyecto dentro de 4 posibles categorías según la puntuación obtenida:

- Certificado: proyectos con puntaje entre 40 y 49
- Plata: proyectos con puntaje entre 50 y 59
- Oro: proyectos con puntaje entre 60 y 69
- Platino: proyectos con 80 puntos o mas

3.2.2. PASSIVHAUS

Esta certificación fue creada por el físico y astrónomo Alemán Wolfgang Feist, el año 1988 y evalúa la energía en operación de una vivienda. Apunta a los más altos estándares de calidad en lo que se refiere a eficiencia energética, lo que conlleva que los edificios sometidos a este sistema consumen hasta un 90% menos de energía en calefacción y enfriamiento, en comparación a edificios sin ningún tipo de certificación (Centro de investigación en tecnologías de la construcción UBB, 2014).

Este sistema cuenta 5 principios básicos que debe cumplir cualquier proyecto que opte por esta certificación, los cuales son:

- Ventanas de alto desempeño
- Liberación de puentes térmicos
- Envolverte térmica de alto desempeño
- Hermeticidad
- Ventilación con recuperación de calor.

3.2.3. CERTIFICACIÓN DE VIVIENDA SUSTENTABLE

La Certificación de Vivienda Sustentable CVS es un sistema voluntario de certificación ambiental residencial desarrollado en Chile por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, cuyo objetivo es acelerar la transición hacia una forma de construir más sustentable, evaluando la energía en todo el proceso de los proyectos evaluados (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2021).

Esta certificación utiliza como base los estándares de construcción sustentable para viviendas publicados en 2016 para definir los mínimos requerimientos para catalogar una vivienda como “sustentable”. Además, pone en valor experiencias de edificación residencial que incorporen parámetros de eficiencia energética, hídrica, uso de materiales sustentables, gestión de residuos, medidas de mitigación de impacto ambiental, mejor calidad ambiental para las personas y medidas de respeto al entorno urbano y cultural durante todo el ciclo de vida del proyecto, utilizando seis categorías de impacto:

- Salud y bienestar: promueve altos niveles de calidad ambiental al interior de los hogares
- Energía: fomenta el diseño energéticamente eficiente, el uso de energías renovables y hábitos de uso que permitan cuidar los recursos energéticos. Dentro de esta categoría se implementa la “Calificación Energética de viviendas”
- Agua: Busca optimizar el uso del recurso hídrico.
- Materiales y residuos: Valora el uso de materiales y técnicas constructivas sustentables, junto con un manejo responsable de los residuos.
- Impacto ambiental: Promueve la selección y gestión del sitio del proyecto respetando el medioambiente.
- Entorno inmediato: establece estándares orientados a mejorar la relación de la vivienda con su entorno, reduciendo el deterioro urbano y favoreciendo la equidad social.

3.2.4. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS

La Calificación Energética de viviendas CEV es un instrumento diseñado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en conjunto con el Ministerio de Energía que permite medir y evaluar, estandarizada y objetivamente, el desempeño energético en operación de las viviendas en Chile, entregando una etiqueta que califica la vivienda evaluada con una nota de eficiencia desde la A+ a la G (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2021).

Este sistema evalúa la interacción de la vivienda con el clima de la zona en cual se emplaza, para determinar sus requerimientos de calefacción, enfriamiento, iluminación y agua caliente sanitaria. Opera desde 2012 y con la experiencia acumulada, fue actualizada en 2019, dotando a la herramienta de un cálculo dinámico para medir con más precisión los flujos de energía dentro de la vivienda evaluada.

Para realizar la evaluación se consideran los siguientes aspectos:

- Transmitancia térmica de la envolvente (techo, muros exteriores, pisos, ventanas y puertas)
- Características de la envolvente
- Orientación de la vivienda,
- Puentes térmicos de la envolvente
- Tipo de ventilación.

3.2.5. COMPARACIÓN DE CERTIFICACIONES



Según la información obtenida, se determina que el uso de certificaciones de eficiencia es la solución idónea para generar un proyecto sustentable y que, al mismo tiempo, sea rentable desde el punto de vista económico para una empresa.

Se construye la Tabla 3.1, enfocada en el criterio energético de las certificaciones que consideran la etapa de diseño y miden la energía acumulada, incorporada, en operación y

demolición. Se exponen sus beneficios, sus limitaciones y el costo asociado que involucra utilizarlas.

Tabla 3.1



Comparación certificaciones CVS y Leed

	Beneficios	Limitaciones	Costos
<p>CVS</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Tiene indicadores coherentes con el contexto nacional. -Presenta distintas categorías para situar el proyecto, lo que permite focalizar áreas a mejorar. -Es impulsada por diversas instituciones nacionales como el MOP y el SERVIU, lo que permite una mayor fuente de información y apoyos técnicos 	<ul style="list-style-type: none"> -Para evaluar el ámbito de eficiencia energética, se debe incluir obligatoriamente el análisis de la Calificación energética de Viviendas -Requiere un profesional dedicado a este proceso, lo que aumenta los costos 	<ul style="list-style-type: none"> Costos variables por vivienda. Desde la vivienda 1 a la vivienda 5 tiene un costo de 5 UF por unidad. Desde la vivienda 6 a la vivienda 10 tiene un costo de 3 UF por unidad adicional al rango anterior.
<p>Leed</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Entrega indicadores estratégicos para mejorar la eficiencia en todas las etapas del proceso constructivo. -Presenta distintas categorías para situar el proyecto, lo que permite focalizar áreas a mejorar. 	<ul style="list-style-type: none"> -No se adecua correctamente a las variables climáticas y geográficas de Chile. -Requiere un profesional dedicado a este proceso, lo que aumenta los costos 	<ul style="list-style-type: none"> El registro en esta certificación tiene un costo fijo de 5,41 UF por vivienda. La certificación tiene un costo de 6,08 UF por grupo más 2,03 UF por vivienda.

Fuente: Elaboración propia

Se construye también la Tabla 3.2, comparativa de certificaciones que se enfocan específicamente en el ámbito energético y entregan directrices para mejorar la eficiencia térmica. Se comparan independientes de la certificación Leed Y CVS ya que miden procesos distintos.

Tabla 3.2*Comparación CEV y Passivhaus*

	Beneficios	Limitaciones	Costos
CEV 	<ul style="list-style-type: none"> -Entrega indicadores relevantes del consumo energético de una vivienda. -Ayuda a mejorar el diseño antes de la construcción para aumentar la calificación. -Es una herramienta diseñada para la realidad chilena. 	<ul style="list-style-type: none"> -No requiere límite de entrada, por lo que la calificación puede llegar a ser muy baja. -Solo mide ahorro de energía durante el uso. -Presenta simplificaciones que pueden llegar a variar la eficiencia evaluada con la real. 	Requiere la asistencia de un calificador energético, su valor varía de las características del proyecto, con un promedio de alrededor 4 UF por vivienda.
Passivhaus 	<ul style="list-style-type: none"> -Entrega datos precisos acerca del consumo energético de una vivienda. -Se rige por altos estándares de eficiencia, aumentando la eficiencia energética en al menos un 70%. 	<ul style="list-style-type: none"> -Al tener una alta exigencia, solo se certifican proyectos que cumplan con los estándares requeridos, llegando a suponer altos costos. -No se adecua correctamente a las variables climáticas y geográficas de Chile. 	El costo varía dependiendo de las mejoras que se deban ejecutar, ya que solo se certifica si cumple con los requisitos. Se estima mediante el estudio de proyectos similares que el costo de esto varía entre 130 y 263 UF.

Fuente: Elaboración propia

En el caso de este estudio, se analizará con profundidad la Calificación Energética de Viviendas, debido a su innovadora herramienta de cálculo, su bajo costo de aplicación y la ventaja de ser coherente con el contexto nacional, lo que permite usar la normativa chilena actual en el desarrollo de la evaluación de la vivienda, lo que facilita su uso.

Adicionalmente a esto, se estima que la CEV será obligatoria en todo proyecto inmobiliario desde el 2023 de acuerdo con la nueva publicación de la reglamentación energética del 2021, por lo que conocer en profundidad las características de esta herramienta

y como lograr aumentar la calificación se convertirán en conocimientos necesarios para cualquier profesional o empresa del rubro inmobiliario.

3.3. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS

La Calificación Energética de Viviendas (CEV) es un instrumento diseñado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en conjunto con el Ministerio de Energía, que permite medir y evaluar una vivienda, aplicando una calificación desde la letra A+ hasta la F, como se muestra en la Figura 3.1, detallando el ahorro energético, entre otros indicadores. Se puede aplicar a viviendas nuevas como a viviendas construidas después del 2007.

Figura 3.1

Calificación energética según rangos de ahorro.

	Ahorro Energético	
	≤	>
Más eficiente		
A+	100%	85%
A	85%	70%
B	70%	55%
C	55%	40%
D	40%	20%
E	20%	-10%
F	-10%	-35%
G	-35%	-
Menos eficiente		

Fuente: Calificación energética de viviendas

La evaluación correspondiente a la letra ‘E’ considera a todas las viviendas que cumplen con el estándar mínimo para la construcción en Chile establecido por la Reglamentación Térmica (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007), cuyas características térmicas corresponden a la vivienda base modelada por la herramienta para comparar su consumo energético con la vivienda en estudio.

La calificación con letra ‘F’ considera a todas las viviendas construidas bajo la regulación de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción del año 2000, donde se consideraba solamente aislación en las techumbres. En la misma línea, la calificación con letra ‘G’ considera a todas las viviendas construidas antes del año 2000, donde no se consideraba ningún tipo de aislación en la construcción de viviendas.

Actualmente, al ser una herramienta voluntaria, existe poco interés por parte de empresas privadas a utilizarla. Se estima que solo entre un 5% y 10% de los proyectos privados cuentan con la CEV, lo que se contrasta con lo que ocurre en otros países como España, en donde el certificado energético es obligatorio para vender o arrendar, lo que hace que la mayoría de las viviendas cuenten con este.

Para medir la eficiencia energética, la CEV cuenta con el Manual CEV, que enmarca su uso y alcance, con componentes como: las planillas de balance térmico dinámico PBDT, el rango de confort térmico y la vivienda de referencia. Una vez trabajado con dichos componentes, entrega la etiqueta de eficiencia energética, que muestra indicadores como la demanda energética y el porcentaje de ahorro energético.

3.3.1. INTRODUCCIÓN CONCEPTUAL

Antes de abordar los componentes de la Calificación Energética de Viviendas, es necesario conocer ciertos conceptos físicos asociados a la eficiencia térmica que sustentan su análisis, los cuales son clave para entender el funcionamiento de la CEV, así como para interpretar sus resultados. En un principio se trabaja con conceptos como la conductividad térmica, resistencia y transmitancia térmicas.

- Conductividad térmica, λ : cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área en una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en $\left[\frac{W}{m} \times K\right]$ (Instituto Nacional de Normalización, 2007).
- Resistencia térmica, R: Oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción (Instituto Nacional de Normalización, 2007). Dicha resistencia se expresa con respecto al espesor de un material en función de su conductividad térmica, variando según la geometría y el número de elementos involucrados.
- Transmitancia térmica U: flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Se expresa en $\left[\frac{W}{m^2} \times K\right]$ (Instituto Nacional de Normalización, 2007).

Conociendo estos conceptos, es posible comprender los fenómenos físicos que se miden al aplicar la CEV, la cual también trabaja con diversas variables para expresar el comportamiento energético de la vivienda evaluada, las cuales son demanda energética, consumo energético y horas de discomfort térmico.

- Demanda energética: Este indicador muestra el requerimiento energético de la vivienda para satisfacer las demandas de calefacción y enfriamiento. Esta demanda considera el diseño de la vivienda, y su interacción con el clima exterior, sin considerar los equipos de calefacción, iluminación, agua caliente sanitaria ni los tipos de energía proyectados (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2021).
- Consumo energético: Este indicador muestra la energía utilizada en calefacción, iluminación y agua caliente sanitaria; además, muestra la generación fotovoltaica si existiese, el balance general de energía y, por último, el resumen de consumos finales

de la vivienda (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2021).

- Horas de desconfort térmico: Este tiempo se determina como la sumatoria diaria, y por ende mensual, de horas en que la vivienda se encuentra a una temperatura mayor que el límite superior del rango de confort, o bien, menor que su límite inferior. El tiempo acumulado total sobre la banda de confort es llamado “sobrecalentamiento” o bien HD(+) (horas de desconfort sobre la banda), así como el tiempo acumulado bajo la banda se define como “sobreenfriamiento” o HD(-) (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2021).

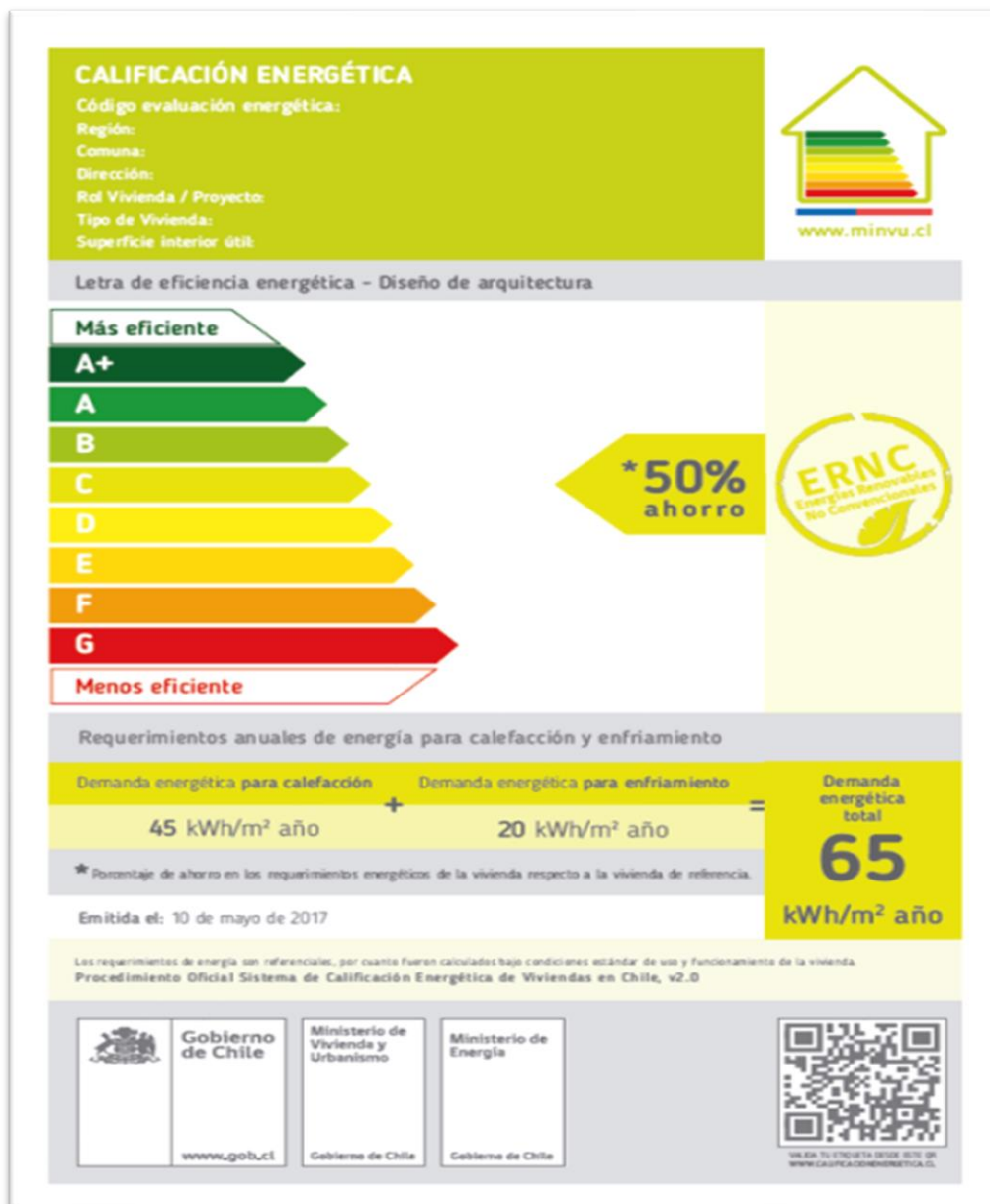
Es importante conocer estos indicadores para comprender las características y componentes de la CEV y posteriormente, poder interpretar los resultados obtenidos al efectuar la evaluación.

3.3.2. ETIQUETA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

El principal insumo que entrega esta herramienta es la etiqueta de eficiencia energética, que corresponde a una recopilación de los resultados del análisis de una vivienda expuestos de manera gráfica, como se observa en la Figura 3.2, en donde se puede ver mediante un informe de calificación el desempeño energético, además de entregar una letra de calificación.

Figura 3.2

Etiqueta de eficiencia de la Calificación Energética de Viviendas



Fuente: Calificación energética de viviendas (Manual CEV 2019)

Este indicador es el sello característico de esta herramienta, usando un formato conocido que grafica claramente la demanda de calefacción y enfriamiento anual, la demanda total anual y la nota de eficiencia.

Se detalla aquí la demanda energética para calefacción y enfriamiento que necesita la vivienda evaluada para cumplir con los estándares de confort térmico determinados por la zona en que se ubica la vivienda. Se calcula mediante la obtención de la temperatura en cada momento del día durante el año según el balance térmico.

El porcentaje de ahorro es la mejora en la demanda de energía para lograr calefacción, enfriamiento, iluminación y dotación de agua caliente sanitaria para mantener a la vivienda dentro del rango de confort térmico. Este se obtiene al comparar la demanda de energía real de la vivienda evaluada, con la demanda de energía de la vivienda de referencia

3.3.3. VIVIENDA DE REFERENCIA

Para hacer una comparación objetiva, se utiliza una vivienda referencia o caso base, el cual replica en geometría y orientación a la vivienda en estudio y que está sometida a las mismas condiciones climáticas que esta. Existen diversos parámetros que definen esta vivienda, indicados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3.*Parámetros vivienda de referencia.*

Parámetro	Características vivienda de referencia
Transmitancia térmica de elementos de la envolvente.	Los valores mínimos permitidos en el Art 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007)
Sombras propias sobre las ventanas	Sin sombras propias
Aporte solar máximo	Se consideran los mismos elementos de sombra remotos que la vivienda objeto
Puertas y ventanas	Se consideran puertas de madera opaca, con una transmitancia térmica igual a $2.51 \left[\frac{W}{m^2} \times K \right]$. Mientras que, para elementos translucidos, se considera un vidrio claro monolítico de 6 mm y marco de metal.
Puentes térmicos	Se mantiene la posición del aislante, pero se cambia su espesor, considerando el de un material de conductividad igual a $0.04 \left[\frac{W}{m} \times K \right]$ para satisfacer la condición de transmitancia.
Infiltraciones	Se consideran los mismos ductos y celosías que la vivienda objeto. En el caso de las ventanas, estas son consideradas de corredera y centradas al eje. Se considera que la suma entre ventilación e infiltraciones no debe ser inferior al nivel de ventilación total requerido por condiciones mínimas.

Fuente: Manual CEV 2019

3.3.4. RANGO DE CONFORT TÉRMICO

El rango de confort térmico es el rango de temperaturas, en el cual una vivienda tiene una temperatura interior aceptable y no es necesario aplicar energía para calefacción ni enfriamiento. Este rango varía según la zona térmica en la cual está ubicada la vivienda. Se observa que la tolerancia a las temperaturas altas aumenta al situarnos en el norte, debido a las altas temperaturas de esta zona según lo señalado en la Figura 3.3.

Figura 3.3

Rango de máximas temperaturas por zona climática

TN+2,5 °C 90% ACEPTABILIDAD CON MÉTODO DEAR Y BRAGER												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
IQUIQUE	26,7	26,6	26,4	26,1	25,8	25,5	25,3	25,3	25,5	25,7	26,1	26,5
COPIAPÓ	26,3	26,2	25,9	25,3	24,8	24,5	24,3	24,3	24,9	25,1	25,5	25,9
VALPARAÍSO	26,1	26,0	25,7	25,3	24,9	24,6	24,4	24,5	24,7	25,1	25,5	25,9
SANTIAGO	26,6	26,5	25,9	25,0	24,2	23,5	23,6	23,8	24,4	25,1	25,6	26,3
CONCEPCIÓN	25,9	25,6	25,2	24,6	24,2	23,7	23,0	23,6	24,0	24,5	25,1	25,6
TEMUCO	25,9	25,8	25,3	24,5	24,0	23,4	23,3	23,5	23,9	24,4	24,9	25,5
OSORNO	25,6	25,3	25,0	24,3	24,0	23,4	23,2	23,3	23,7	24,2	24,9	25,5
EL TENIENTE	25,4	25,2	24,8	24,3	23,3	22,6	22,5	22,5	23,1	23,5	24,2	25,0
PUNTA ARENAS	24,5	24,1	23,7	23,0	22,4	22,0	22,0	22,1	22,6	23,3	23,5	24,0
CALAMA	25,5	25,3	24,8	24,5	24,1	23,4	23,8	23,8	24,4	24,4	25,0	25,0

Fuente: Manual CEV 2019

Al contrario, se observa en la Figura 3.4. que la tolerancia a las temperaturas bajas es cada vez mayor a medida que se avanza hacia el sur. También se observa que la tolerancia al frío de todas las zonas térmicas aumentan durante los meses de invierno. Esto concuerda con el conocimiento general de que, en nuestro país, mientras más al sur y más cercano al invierno, las temperaturas son más bajas.

Figura 3.4

Rango de mínimas temperaturas por zona climática.

TN-2,5 °C 90% ACEPTABILIDAD CON MÉTODO DEAR Y BRAGER												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
IQUIQUE	21,7	21,6	21,4	21,1	20,8	20,5	20,3	20,3	20,5	20,7	21,1	21,5
COPIAPÓ	21,3	21,2	20,9	20,3	19,8	19,5	19,3	19,3	19,9	20,1	20,5	20,9
VALPARAÍSO	21,1	21,0	20,7	20,3	19,9	19,6	19,4	19,5	19,7	20,1	20,5	20,9
SANTIAGO	21,6	21,5	20,9	20,0	19,2	18,5	18,6	18,8	19,4	20,1	20,6	21,3
CONCEPCIÓN	20,9	20,6	20,2	19,6	19,2	18,7	18,0	18,6	19,0	19,5	20,1	20,6
TEMUCO	20,9	20,8	20,3	19,5	19,0	18,4	18,3	18,5	18,9	19,4	19,9	20,5
OSORNO	20,6	20,3	20,0	19,3	19,0	18,4	18,2	18,3	18,7	19,2	19,9	20,5
EL TENIENTE	20,4	20,2	19,8	19,3	18,3	17,6	17,5	17,5	18,1	18,5	19,2	20,0
PUNTA ARENAS	19,5	19,1	18,7	18,0	17,4	17,0	17,0	17,1	17,6	18,3	18,5	19,0
CALAMA	20,5	20,3	19,8	19,5	19,1	18,4	18,8	18,8	19,4	19,4	20,0	20,0

Fuente: Manual CEV 2019

Con estos rangos, el motor de cálculo de las planillas de balance térmico calculan las horas en donde la vivienda se encuentra fuera de este rango de temperaturas, y expresa la demanda energética necesaria para devolver a la vivienda a la temperatura requerida. Genera este cálculo tanto para la vivienda en estudio como para la vivienda de referencia, y expresa el porcentaje de ahorro energético de la vivienda en estudio con respecto a la vivienda de referencia.

3.3.5. PLANILLAS DE BALANCE TÉRMICO DINÁMICO (PBDT)

El sistema CEV contiene tres planillas Excel llamadas planillas de balance térmico dinámico o PBDT, las cuales son el principal insumo de esta herramienta, ya que aquí se especifican todas las características de la vivienda y se ejecutan los balances térmicos para determinar el ahorro energético, cuyo procedimiento es detallado mediante el Manual CEV (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2019).

3.3.5.1. PBDT 1 DATOS DE ARQUITECTURA

Este archivo Excel es el principal centro de trabajo, ya que aquí se especifican la mayoría de las características de la vivienda. Su primera función es caracterizar la envolvente térmica, que se define como los elementos del edificio que separan los recintos interiores del ambiente exterior.

Con respecto a la envolvente térmica, es necesario conocer la transmitancia térmica de sus elementos (pisos, muros, puertas, ventanas y techumbre). Existen diversos métodos para esto, dentro de los cuales se incluye el cálculo manual según la norma NCh 853 “Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas” (Instituto Nacional de Normalización, 2007) Las fórmulas utilizadas para el cálculo son las siguientes:

- Transmitancia térmica:

$$U \left[\frac{W}{m^2K} \right] = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

- Resistencia térmica de un elemento:

$$R_i \left[\frac{m^2K}{W} \right] = \frac{e}{\lambda} \quad (2)$$

Con e [m]= espesor elemento y $\lambda \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ = Conductividad térmica según

Tabla A.1 “Conductividad térmica de materiales” de la NCh 853.

- Resistencia térmica de elementos compuestos homogéneos:

$$R_i \left[\frac{m^2 K}{W} \right] = \sum \frac{e}{\lambda} \quad (3)$$

- Resistencia térmica total:

$$R_T \left[\frac{m^2 K}{W} \right] = R_{si} + R_i + R_{se} \quad (4)$$

Con R_{si} y R_{se} definidos por la Tabla 2 de la NCh 853.

- Transmitancia térmica total ponderada:

$$\bar{U} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] = \frac{\sum U_i * A_i}{\sum A_i} \quad (5)$$

- Resistencia térmica de elementos con cámara de aire muy ventilada con aire en movimiento:

$$R_T \left[\frac{m^2 K}{W} \right] = R_{si} + R_i + R_{se} \quad (6)$$

Cuando un elemento está compuesto por una cámara de aire, la resistencia térmica que esta aporta dependerá de la ventilación que tenga. Este grado se determina mediante el cociente entre la sección total de orificio (S) y la longitud de la cámara de aire medida horizontalmente (l):

- Si $\frac{S}{l} < 20 \left[\frac{cm^2}{m} \right]$ se considera como una cámara de aire no ventilada.
- Si $20 \leq \frac{S}{l} < 500 \left[\frac{cm^2}{m} \right]$ se considera como una cámara de aire medianamente ventilada.
- Si $500 \left[\frac{cm^2}{m} \right] \leq \frac{S}{l}$ se considera como una cámara de aire muy ventilada.

En el caso de los pisos, se debe detallar el perímetro y el área en contacto con el terreno, además del espesor del aislante y su conductividad térmica. Con estos datos, la herramienta calcula el valor $L_s \left[\frac{W}{K} \right]$ correspondiente a la pérdida lineal del piso según la NCh 3117 (Instituto Nacional de Normalización, 2008).

Luego de definida las transmitancias térmicas de la envolvente, es necesario definir diversas características de los elementos de la vivienda las cuales son:

- Dimensiones: se debe indicar el área y la altura útil de la vivienda, así como el número de habitaciones.
- Orientación: se debe definir la orientación en la cual estará ubicada la vivienda con respecto a los ejes cardinales.
- Puertas y Ventanas: se deben detallar las características técnicas de todas las puertas y ventanas presentes en la vivienda
- Puentes térmicos: se deben indicar todas las zonas de la vivienda en donde se genera un puente térmico, es decir, una zona de la envolvente en donde ocurre un aumento de la pérdida de calor de un elemento debido a una disminución de la aislación o aumento del área de pérdida de calor.
- Factor de accesibilidad de ventanas (FAV): corresponde a la incidencia de radiación solar directa y difusa que ingresa por cada ventana, lo que depende de sus características técnicas y su ubicación
- Factor accesibilidad respecto a objetos remotos (FAR): corresponde a la incidencia de radiación solar directa y difusa en cada ventana con respecto a objetos ubicados alrededor que bloqueen dicha radiación, como pueden ser cerros o edificio cercanos.

3.3.5.2. PBDT 2 MOTOR DE CÁLCULO DEMANDA DE ENERGÍA

Este archivo excel utiliza los datos de la “PBDT 1 datos de arquitectura” para ejecutar un balance térmico cada 60 segundos durante un año a la vivienda, evaluando la temperatura al interior del recinto con base en los flujos de las distintas variables de entrada. Los flujos corresponden al siguiente balance:

$$\begin{aligned} \Phi[W] = \sum & \Phi_{cargas\ internas} + \Phi_{Radiación} \pm \Phi_{Envolvente} \pm \Phi_{infiltraciones} \pm \Phi_{Ventilación} \\ & \pm \Phi_{Puentes\ térmicos} \pm \Phi_{Inercia\ térmicas} \end{aligned}$$

Con base a este balance se obtiene la variación de temperatura en el aire interior en cada instante de la siguiente manera:

$$T_{i+1}[^{\circ}C] = T_i + \frac{\sum E_i}{m * Cp}$$

Con $\sum E_i$ = suma de energías al interior del recinto, m = masa interior del aire y Cp . = calor específico del aire $1000[\frac{J}{Kg * K}]$

Para conocer la demanda de energía necesaria para llevar la temperatura de la vivienda a un rango de confort establecido, se incorpora un flujo asociado a un eventual sistema de climatización el cual permite llevar la temperatura a la deseada.

$$\begin{aligned} \Phi[W] = \sum & \Phi_{cargas\ internas} + \Phi_{Radiación} \pm \Phi_{Envolvente} \pm \Phi_{infiltraciones} \pm \Phi_{Ventilación} \\ & \pm \Phi_{Puentes\ térmicos} \pm \Phi_{Inercia\ térmicas} \pm \Phi_{Climatizacion} \end{aligned}$$

Con base a estos dos balances y la información particular de cada vivienda incorporados en la planilla PBDT 1, se realiza el balance térmico para determinar la temperatura interior de la vivienda durante todo el año, tanto de la vivienda en estudio como la vivienda de referencia en su orientación original y luego girada 4 veces en 90°, para analizar las variaciones que presentarían dichos cambios de orientación.

3.3.5.3. PBDT 3 DATOS DE EQUIPOS Y RESULTADOS

Archivo Excel en el cual se detalla el cálculo realizado por la PBDT 2 y arroja los resultados de dicho cálculo, entregando diversos indicadores como las horas de discomfort térmico, la demanda de calefacción, la demanda de enfriamiento, el consumo total de energía, el porcentaje de ahorro con respecto a la vivienda de referencia y la nota de calificación.

Adicionalmente entrega diversos gráficos como el consumo de energía mensual, la demanda de calefacción y enfriamiento por meses y el flujo de calor de los elementos de la envolvente en los meses de julio y enero, que ayudan a visualizar el comportamiento térmico de la vivienda y proyectar posibles mejoras.

Antes de completar el análisis, se debe detallar las características de los equipos presentes en la vivienda como: sistema de calefacción, sistema de agua caliente sanitaria, sistema de iluminación y ventiladores y sistemas de captación de energías. Esta información se actualiza automáticamente en la hoja de resumen, la cual muestra resultados detallados de la evaluación de la vivienda.

4. CASO ESTUDIO

El presente estudio tiene por objetivo determinar el consumo energético a partir del diseño de una vivienda, aplicando el método CEV. Dicha necesidad se origina por parte de la empresa GyO Ltda. Esta empresa tiene el objetivo de realizar su primer proyecto inmobiliario en la región de Valparaíso con un enfoque en la eficiencia energética. Para este fin, solicita ejecutar el estudio de un proyecto inmobiliario considerando las limitantes técnicas de la experiencia de la empresa en el rubro, y un presupuesto de alrededor de \$400.000.000 para construir un conjunto de viviendas.

El presente capítulo resume los aspectos generales más relevantes de este estudio, el cual concluye con un grupo de viviendas propuestas por la empresa GyO, emplazadas según lo indicado en el estudio inmobiliario.

4.1. ESTUDIO DEL PROYECTO INMOBILIARIO

Para la ejecución de este proyecto, las directrices seguidas vienen dadas por la intencionalidad de la empresa GyO de ejecutar un proyecto inmobiliario en la región de Valparaíso con un enfoque en la eficiencia energética. Para esto cuentan con un presupuesto compuesto de fondos propios, y un posible crédito bancario, en el cual se considera la capacidad económica de la empresa y sus posibles medios de pago. El conjunto de estos elementos entrega un valor aproximado de \$400.000.000, los cuales serán el límite superior de lo que podrá costar la ejecución del proyecto.

La ubicación del proyecto se emplaza dentro de la región de Valparaíso, considerando los niveles socioeconómicos de cada comuna y la accesibilidad para la construcción. Es relevante señalar que, al estar ubicada la empresa en Quillota, se tiene predisposición a elegir terrenos cercanos a esta comuna si el estudio así lo permite, debido a la factibilidad técnica de usar las oficinas y equipos de la empresa, lo que conllevaría a un ahorro significativo durante la ejecución.

La cantidad de viviendas proyectadas oscilan entre 8 a 15 unidades, de acuerdo con lo que el presupuesto permita, teniendo en cuenta los costos del terreno, construcción, operación, permisos, patentes, costos de certificación, etc.

Se debe tener en cuenta que la empresa GYO se desempeña actualmente en el rubro de instalaciones eléctricas, por lo que no cuentan con experiencia en el rubro inmobiliario y de la construcción. Debido a lo anterior, se descarta la opción de construir edificios de 3 o más pisos, debido a la complejidad que estos presentan.

En la dirección de comprender el mercado de proyectos inmobiliarios y realizar este proyecto, se ejecutan los pertinentes estudios de mercado, técnico, tributario y legal y su evaluación económica, lo cual es realizado en conjunto con Moisés Acevedo, Ingeniero Comercial de la UTFSM en su proyecto de memoria de titulación.

4.2. INDICADORES RELEVANTES

Los resultados contienen diversos indicadores que son relevantes para el presente análisis, ya que entrega definiciones acerca de la ubicación del proyecto, la disposición y orientación de la construcción y lo más relevante; un modelo de vivienda con información suficiente para poder evaluar su eficiencia térmica mediante el sistema CEV.

4.2.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

Basándose en el estudio de ofertas de terreno y los datos recopilados mediante el estudio de mercado, se puede determinar el sector óptimo en donde ubicar el proyecto. Se establece que se emplazará en la comuna de La Cruz. Entre las razones de esta decisión, destacan los siguientes elementos:

- ✓ Los meses para agotar stock de viviendas en la comuna de Quillota son significativamente menores a las demás comunas, por lo que nuevos proyectos en la comuna vecina de La Cruz podrían satisfacer esta demanda
- ✓ Los precios de terrenos en la comuna de La Cruz están dentro del promedio regional,

lejos de los altos precios de comunas como Quillota y Con Con.

- ✓ Los proyectos inmobiliarios actuales en la comuna de La Cruz presentan altos precios de venta, comparando modelos similares de otras comunas, lo que indica una alta demanda de viviendas nuevas.

El terreno seleccionado de las ofertas existentes se ubica en la calle 21 de mayo, paradero 12, comuna de La Cruz, Región de Valparaíso, Una representación visual del terreno se observa en la Figura 4.1.

Figura 4.1

Ubicación del terreno para emplazar el proyecto.



Fuente: Google Earth

Este terreno cuenta con una superficie aproximada de 3000 [m²]. Sus dimensiones son de aproximadamente 65 [m²] por 46 [m²]. Tiene un precio de \$243.631.000, que equivale a 2,38 UF/m². Se optó por este terreno debido a las siguientes razones:

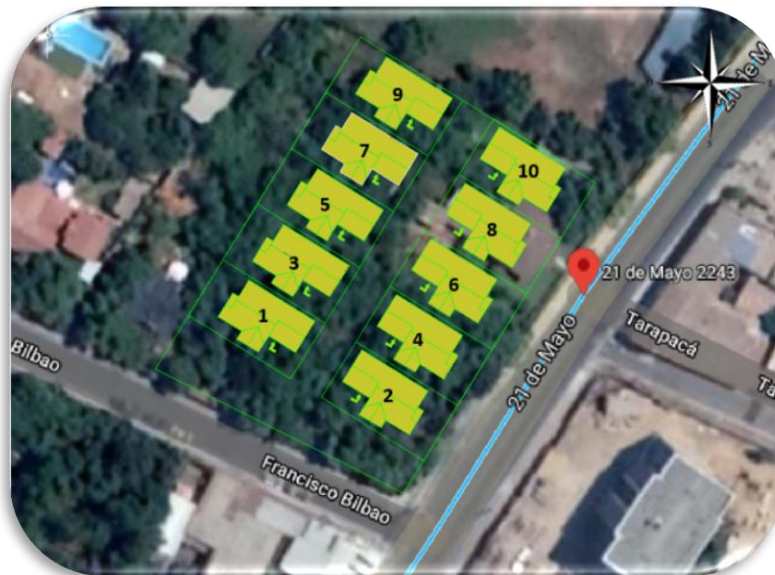
- ✓ Se ubica adyacente a una calle principal de la comuna, en donde pasa la mayoría de la locomoción colectiva. Además, se ubica cerca de proyectos similares, lo que aporta al desarrollo comunal.
- ✓ Su superficie es acorde con la magnitud del proyecto que se quiere realizar.

- ✓ Su geometría permite emplazar de manera fácil y ordenada las viviendas

Hay que tener en cuenta que todos los análisis posteriores, se realizarán en base a las características tanto del terreno como de la comuna en el que está inserto. Dentro del terreno señalado, se proyectan construir 10 viviendas, ordenadas en 2 corridas de 5 viviendas. Entre ellas se ubica una calle que conecta todas las viviendas con la salida por la calle Francisco Bilbao como se detalla en la Figura 4.2.

Figura 4.2

Proyección de ubicación proyecto de viviendas



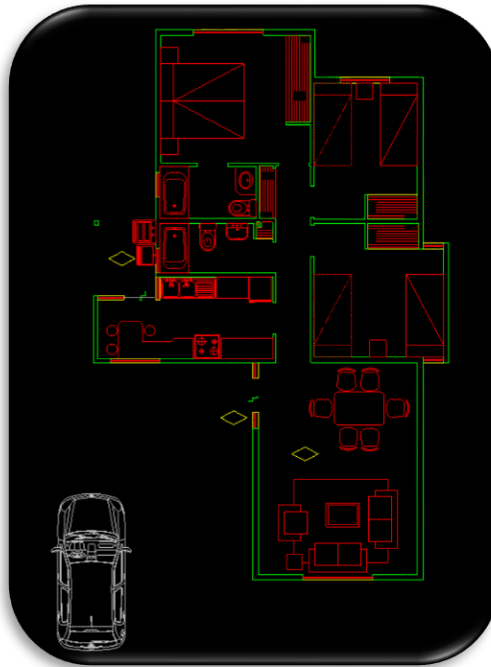
Fuente: Google Earth

4.2.2. MODELO DE VIVIENDA A CONSTRUIR

El modelo de vivienda fue propuesto por la empresa GyO, tomando en cuenta los resultados del estudio del proyecto inmobiliario, las características de proyectos similares en venta en la región de Valparaíso, las preferencias observadas en la encuesta de preferencias realizadas a posibles compradores y la capacidad técnica de la empresa GyO. Se muestra una vista de la planta de arquitectura en la Figura 4.3 y la elevación principal de la vivienda en la Figura 4.4.

Figura 4.3

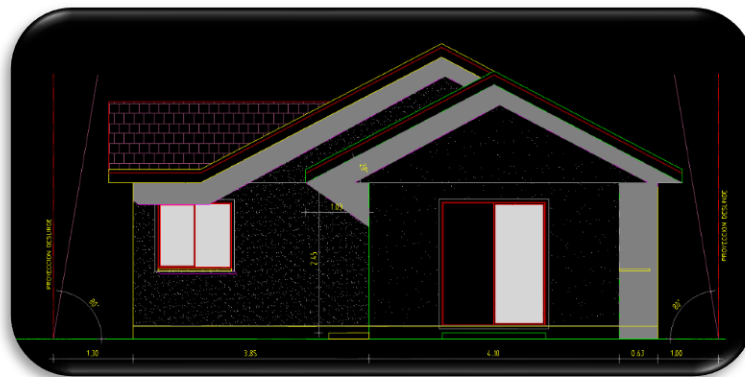
Planta arquitectura vivienda modelo.



Fuente: Empresa GyO

Figura 4.4

Elevación principal vivienda modelo.



Fuente: Empresa GyO

La vivienda cuenta con 3 habitaciones, 1 baño principal y 1 en suite, cocina aislada y lavadero. La propiedad cuenta con un terreno de 217 [m²], con una superficie construida

correspondiente a 76 [m²]. Los costos de construcción de una vivienda corresponden a lo indicado en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1

Resumen itemizado vivienda propuesta.

Ítem	Costo
Costo Directo	\$15.833.201
Gastos generales (20%)	\$3.366.640
Utilidad	\$1.683.320
Total neto	\$21.833.161
IVA 19%	\$4.157.800
Total	\$21.883.161

Fuente: Empresa GyO

Para iniciar la evaluación de la vivienda con el sistema CEV, hay que identificar los elementos de la envolvente que serán procesados por la herramienta, por lo que es necesario detallar las características de cada uno de ellos mediante la información presente en las especificaciones técnicas y los planos, resumido en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2

Resumen de las características de la envolvente.

Elemento	Características
Radier y Pavimento	Base ripio espesor 5 [cm], Radier 7 [cm] [255 kg/cem/m ³] sobre plancha de polietileno de 10 [mm]. Pavimento de alfombra en dormitorios y cerámica en el resto de los recintos.
Muros perimetrales	Hormigón armado premezclado H-25. Con revestimiento interior Poligyp de 20[mm] de espesor, más plancha de yeso-cartón de 10[mm] en todos los recintos, excepto cocina y baños
Techumbre	Estructura de madera, frontones de fibrocemento de 8mm, entramado de cielo de madera. Revestimiento de terciado ranurado de 7 [mm] con aislación de lana de vidrio de 50[mm].
Puertas	Puertas exteriores: marco de madera pino 90[cm] x 40[cm]. Puerta de madera sólida. Puertas interiores: marco de madera pino 90[cm] x 30[cm]. Puerta con hojas MDF.
Ventanas	Existen 6 tipos de ventanas dentro de la vivienda, con vidrios monolíticos y marcos de aluminio. Características adicionales se profundizan en una etapa posterior

Fuente: EETT de vivienda modelo

4.3. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE EFICIENCIA

Luego de definido el modelo base de vivienda propuesto por la empresa GYO, se deben evaluar soluciones constructivas que mejoren el desempeño energético de la vivienda. Esto con el objetivo de aumentar las falencias durante el diseño arquitectónico donde no se consideraron altos estándares de eficiencia térmica, ya que solo se asegura que cumpla con la normativa mínima definida en el Art 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007).

Para lograr una mejora significativa, se plantea lograr una vivienda con al menos una nota C en la Calificación energética de viviendas, lo que se traduce en un ahorro energético

de entre un 40% y un 55% con respecto a una vivienda que cumpla con los requisitos mínimos definidos por la reglamentación térmica vigente.

Adicionalmente a esto, se deben considerar soluciones constructivas que sean técnicamente viables en relación de la capacidad técnica de la empresa y la ubicación del proyecto. Se debe tener en cuenta el resultado del estudio económico, el cual presenta un presupuesto de 83,55 UF por vivienda destinado a mejorarla térmicamente (Acevedo, 2021)

Se estudian diversas soluciones constructivas dentro de la oferta nacional para conocer sus características y sus posibles comportamientos al evaluarlos mediante la CEV y al respecto se señala lo siguiente:

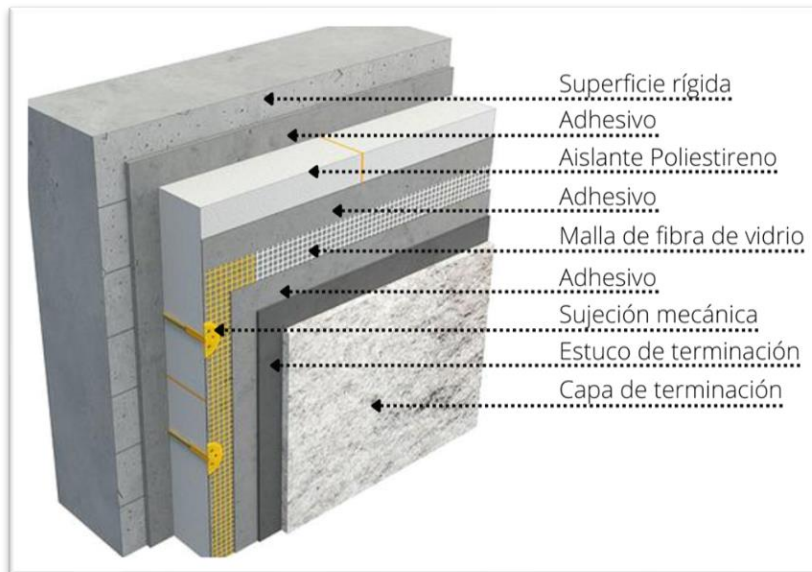
“...cuyo ahorro de energía fue de 70% máximo con la calificación A superior respecto al caso base, solo interviniendo los elementos de la envolvente, comprobándose la factibilidad técnica con los recursos profesionales y materiales existentes en el mercado y la actual reglamentación térmica el alcanzar las metas de ahorro.” (Flández, 2017)”

Considerando lo anterior, se determinan 3 soluciones constructivas de eficiencia energética que actúan sobre la envolvente térmica de la vivienda, ya que se señala que se pueden lograr muy buenos resultados de este modo, teniendo en cuenta los recursos profesionales y materiales existentes.

4.3.1. REVESTIMIENTO EXTERIOR EIFS

El “Exterior Insulation Finish System” o EIFS es una solución constructiva de revestimiento exterior y acabado final de las fachadas de una edificación cualquiera para disminuir el gasto de energía en calefacción y enfriamiento. Fue desarrollado en Europa central y posteriormente en EE.UU. alrededor de 1950, fecha desde la cual ha ido evolucionando y perfeccionando sus distintos componentes y materiales. En Chile su uso es aplicado en los programas de subsidios para mejoras térmicas de viviendas sociales, además de ser parte de las soluciones constructivas de eficiencia recomendadas para la construcción de nuevos edificios estatales. Los componentes del EIFS se pueden observar gráficamente en la Figura 4.5 y son los siguientes:

- Adhesivo: material cementico modificado con polímeros que posee alto poder adhesivo y muy buena elasticidad, para adherir y recubrir poliestireno expandido (EPS) en sistemas de aislación térmica exterior (EIFS). Debe ser utilizado sobre sustratos de hormigón, estucos y albañilería, llamadas superficies “rígidas”.
- Plancha de poliestireno: Esta plancha da el aislamiento térmico al sistema EIFS, debiese utilizarse poliestireno expandido, su densidad y espesor dependerán de la modalidad constructiva.
- Malla de fibra de vidrio: la malla de fibra de vidrio va embebida en la capa de poliestireno para dar una mayor durabilidad y resistencia al conjunto del sistema. Para la base se utiliza el mismo adhesivo con el cual se adhiere el aislante al muro. En la base y con la malla de refuerzo ya colocada se debe aplicar una capa de impermeabilizante. Este consiste en un repelente incoloro que no permite el ingreso de agua a los muros, pero facilita la salida de la humedad en forma de vapor.
- Capa de terminación: Esta es la que le da el acabado al sistema EIFS y contribuye a la protección de este contra las inclemencias del medio ambiente. Es un revestimiento de grano con color incorporado, flexible y resistente.

Figura 4.5*Esquema construcción EIFS.**Fuente: Plataformaarquitectura.cl*

Para conocer el costo de esta modificación en el proyecto, se realiza el APU del sistema de revestimiento exterior EIFS en la vivienda estudiada, adjunto en el **Anexo A**. El área bruta de los muros de 105,87 [m²] a la que hay que descontarle los vanos de puertas que son dos aberturas de 1,84[m²] y ventanas, que tienen diferentes medidas y suman 10,87[m²], por lo que el área útil a cubrir por Eifs es de 91,3 [m²]. El costo directo de esta modificación equivale a \$1.210.400.

4.3.2. VENTANAS TERMOPANEL

Un Doble Vidriado Hermético, DVH, es un componente prefabricado compuesto por dos vidrios, separados entre sí por una cámara de aire seco y quieto – que le da al DVH su capacidad de aislante térmico -, herméticamente sellado al paso de la humedad y al vapor de agua. Las primeras patentes de DVH datan de fines del siglo XIX y constituyen un adelanto sobre las ventanas con doble vidriado (dos hojas en un mismo marco). El desarrollo industrial de la manufactura de DVH se aceleró con la crisis del petróleo de la década del 70. Respecto de ventanas de un solo vidrio, brinda las siguientes ventajas y propiedades:

- Aumenta considerablemente el aislamiento térmico del vidriado.
- Mejora el aislamiento acústico.
- Disminuye las pérdidas de calor a través del vidrio, ahorrando energía de climatización.
- Elimina la condensación de humedad sobre el vidrio evitando que se empañe.
- Anula el efecto de “muro frío” aumentando el confort junto a la ventana.

En invierno el buen aislamiento térmico de la superficie vidriada de una ventana disminuye significativamente la pérdida de calor de calefacción hacia el exterior frío, aumentando la sensación de confort.

En verano un DVH impide que calor del aire exterior ingrese al ambiente interior, más fresco. Sin embargo, para que el DVH sea eficiente en el período estival deberemos disminuir el calor solar que atraviesa el vidrio por radiación debido a su condición de material transparente. Se detalla gráficamente la composición de una ventana termopanel en la Figura 4.6.

Figura 4.6*Esquema ventana termopanel**Fuente: Plataformaarquitectura.cl*

Para saber el costo de esta solución, se realiza el análisis de precios unitarios de las ventanas termopanel adjunto en el **Anexo B**, identificando que se reemplazarán todas las ventanas exteriores del cuarto de estar y de las habitaciones, por ventanas termopanel de 9 [mm] de espaciador y un vidrio de 4[mm]m de espesor. El costo directo de esta modificación equivale a \$1.063.174

4.3.3. FACHADA VENTILADA

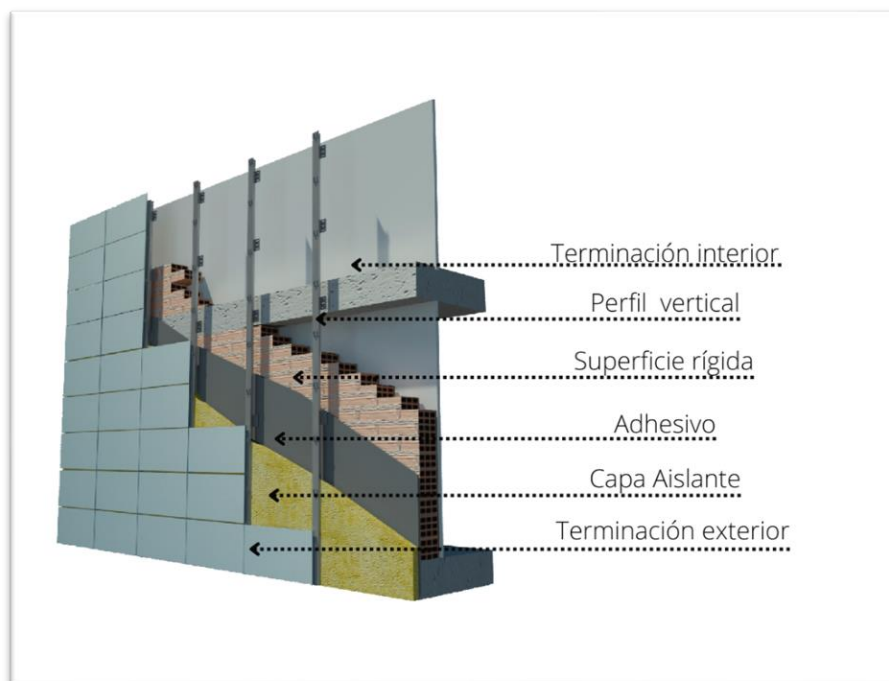
La fachada ventilada es una opción de envolvente cuya industrialización y comercialización han crecido significativamente debido a su eficiencia energética. Tiene sus orígenes en Inglaterra a principios del siglo XX, donde se construían muros de doble hoja con una cámara de aire ventilada llamados “Cavity Wall” para aislar las fachadas de las infiltraciones de aguas lluvias.

En la actualidad se utiliza un sistema de cerramiento opaco compuesto por dos capas: una interior (de albañilería tradicional o liviana) con aislación térmica por el exterior; una exterior (placas de juntas abiertas o cerradas), y entre ambas, una cámara ventilada. Su desempeño comprende una mejora frente a una fachada convencional en cuanto al comportamiento térmico de los espacios interiores, mediante la ventilación natural de la cámara, en la que el aire exterior accede libremente.

Por otra parte, además de las propiedades físicas y constructivas de los elementos del sistema, el movimiento de aire en la cámara es un factor importante en su desempeño eficiente. La cámara entre ambas caras crea un “efecto chimenea” provocado por el calentamiento de la capa exterior. El aumento de la temperatura produce una variación en la densidad del aire en el interior de esta con respecto al aire del exterior, con el consiguiente movimiento ascendente por convección natural. Asimismo, el revestimiento exterior provee protección frente a la radiación solar directa. Para su mayor efectividad, se debe garantizar la ventilación de la cámara evitando su sobrecalentamiento. Una representación gráfica de esta solución se detalla en la Figura 4.7.

Figura 4.7

Esquema construcción fachada ventilada



Fuente: Plataformaarquitectura.cl

Del mismo modo, para conocer los costos, se realiza el Análisis de precios unitarios del sistema de revestimiento exterior Fachada Ventilada en la vivienda estudiada en el **Anexo C**. Cuenta con 91,3[m²] de muro en donde debe aplicarse y su realización consiste en un trazado inicial, la instalación de la capa aislante, el montaje de la estructura soportante y el acabado con revestimiento correspondiente. El costo directo de esta modificación equivale a \$3.090.462.

4.3.1. COSTO EN EL CASO ESTUDIO

Para adecuar los costos de cada solución constructiva de eficiencia con respecto a la vivienda propuesta en el caso estudio, se debe hacer el ajuste en el presupuesto indicado en el itemizado, ya que, si se instala una solución constructiva en muros, se debe descontar lo que se ahorraría en no instalar el aislante poligyp, y en el caso de las ventanas, se debe

descontar el presupuesto inicial de ventanas por el actualizado con las ventanas termopanel. La Tabla 4.3 resume la relación anteriormente descrita.

Tabla 4.3

Comparación costos soluciones constructivas

Solución	Costo directo	Ahorro en Costo directo	Costo directo adicional
Sistema EIFS	\$ 1.210.400	\$ 262.342	\$ 948.058
Ventanas Termopanel	\$ 1.063.174	\$ 467.024	\$ 596.150
Fachada Ventilada	\$ 3.090.462	\$ 262.342	\$ 2.828.120

Fuente: Elaboración Propia

En vista de estos datos, para lograr aumentar la eficiencia energética se podrá optar por solo una mejora constructiva de las antes mencionadas, debido a la limitante existente en el presupuesto proyectado para estos fines.

4.3.2. FACTIBILIDAD TÉCNICA DE SOLUCIONES

Es necesario conocer la factibilidad técnica de las soluciones constructivas propuestas, ya que se debe tener en cuenta la falta de experiencia de la empresa en realizar proyectos de estas características. Se considera la factibilidad técnica como la evaluación de la dificultad logística para producir una tarea en específico. Se debe tomar en cuenta factores como materiales, mano de obra, transporte y tecnología.

Se establece que el modelo de vivienda presentado tiene una baja complejidad y se comparan las soluciones con este estándar. En este sentido, la solución que presenta más baja complejidad es la de ventanas termopanel, ya que existen diversos proveedores en toda la región y la instalación es muy similar al de las ventanas monolíticas presentes en el modelo.

La solución con más alta complejidad es la fachada ventilada, ya que requiere en primer lugar, un diseño especializado y adecuar la fachada arquitectónica de la vivienda, por lo que es un gran cambio en el proyecto. Además, la faena de construcción de soporte de la

fachada, así como el resto de sus componentes, requiere personal con experiencia en la instalación.

La factibilidad técnica del EIFS es intermedia. Si bien es un cambio en la fachada, es fácilmente adaptable a diversos tipos de diseños. La instalación de este sistema tiene un cierto grado de complejidad al contar con varios materiales que deben ser instalados por personal especializado, sin embargo, en la región existen diversas empresas y proveedores que trabajan con EIFS, por lo que es factible encontrar con el personal requerido para su instalación.

5. MÉTODO

Para evaluar la eficiencia térmica de la vivienda en estudio y sus posibles mejoras, se utiliza la herramienta de la Calificación Energética de Viviendas, la cual cuenta con el método indicado según el Manual CEV (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2019) y que requiere el ingreso de diversa información acerca de la vivienda para entregar una nota de calificación y un porcentaje de ahorro energético. Con estos resultados, se ejecuta un análisis comparativo para determinar la propuesta más eficiente térmicamente.

5.1. CÁLCULO EFICIENCIA TÉRMICA DE LA CEV

La herramienta de cálculo de la CEV se basa en completar la información requerida en las 3 planillas Excel incorporadas en el sistema, que se descargan de la página oficial de la CEV (www.calificacionenergetica.cl). Cada una de ellas cumple un fin en específico. “PBDT 1 Datos de arquitectura” contiene toda la información arquitectónica de la vivienda, y es la que se usa para modelar la demanda energética. “PBDT 2 Motor de cálculo” corresponde a la planilla que calcula los indicadores energéticos de la vivienda evaluada. “PBDT 3 Datos de equipos y resultados” contiene la información de equipos de agua, climatización y refrigeración y entrega los indicadores energéticos finales de la vivienda.

5.1.1. PBDT 1 DATOS DE ARQUITECTURA

Para ingresar los datos en la primera planilla de balance térmico, se debe tener toda la información relevante del proyecto. En las primeras filas de este archivo 52xcel se debe escribir la información general que se utiliza en la confección del certificado y que incluye:

- Región
- Comuna
- Zona térmica del proyecto

- Cantidad de habitaciones
- Muro principal y secundario
- Piso principal y secundario
- Techumbre
- Ventanas, vidrios y marcos
- Puerta principal y secundaria

Luego de ingresados estos datos, se deben rellenar las filas consecutivas con la información precisa que, desde este punto, incluye cálculos a realizar basado en la información de los planos y especificaciones técnicas. En primer lugar, se debe ingresar las dimensiones de la vivienda, las cuales corresponden al área y la altura útil, las cuales se determinan mediante los planos y posteriormente, determinar las transmitancias y características térmicas de la envolvente.

5.1.1.1. TRANSMITANCIAS TÉRMICAS DE LA ENVOLVENTE

Un factor determinante en el uso de este sistema es el cálculo de transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, el cual cuantifica la pérdida de calor por medio de estos elementos. Dichos elementos son: muros perimetrales, techumbre, pisos, puertas y ventanas. Sus parámetros necesarios para completar la pestaña “Tablas envolvente” se determinan mediante la información contenida en las especificaciones técnicas y su transmitancia térmica U se puede calcular de varias formas.

El primer caso consiste en valores predeterminados por la herramienta CEV, la cual estandariza información de transmitancia de elementos de uso común como puertas y ventanas, por lo que se debe seleccionar la alternativa que represente lo indicado en las especificaciones técnicas en dichos casos.

La segunda alternativa es mediante la información contenida en el listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico del MINVU, en donde se

especifica el factor de transmitancia térmica U , determinado mediante pruebas estandarizadas y que son aplicables al sistema CEV.

La tercera alternativa es través del cálculo de transmitancia térmica de elementos de la envolvente indicado en la NCh 853-2007 “Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas” con las fórmulas definidas en el capítulo 3.3.1.

Con los resultados obtenidos, se completa la pestaña “Tablas envolvente” de la PBDT 1, detallando la información técnica de todos los elementos de la envolvente, la cual es la base para realizar el resto de la evaluación.

5.1.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ENVOLVENTE

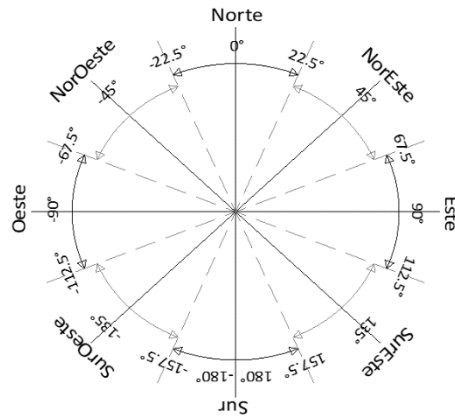
Para estudiar el comportamiento térmico de la vivienda, se deben determinar las características específicas de cada elemento de la envolvente para analizar su interacción de acuerdo con la arquitectura de la vivienda y la geometría de sus componentes y como estos se comportan de acuerdo con su ubicación proyectada, tanto en términos climáticos como de asoleamiento.

5.1.1.2.1. Muros

El comportamiento de los muros se estudia, en primer lugar, identificando los muros exteriores de la vivienda según el plano de arquitectura, y luego determinando su orientación según los cuadrantes que se señalan en la Figura 5.1.

Figura 5.1

Orientación cardinal de muros.




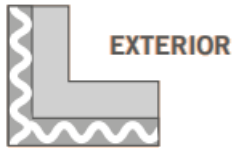
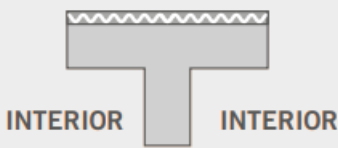
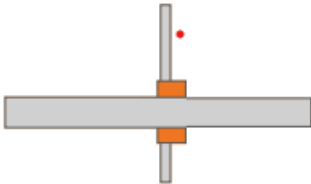
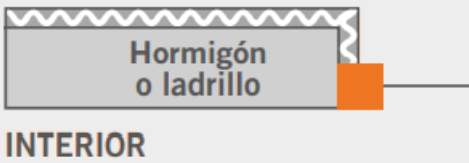
Fuente: Manual CEV 2019

5.1.1.2.2. Puentes térmicos

Desde el punto de vista del consumo energético, un puente térmico es una zona puntual o lineal de la envolvente de la vivienda en donde ocurre un aumento de la pérdida de calor de un elemento debido a una disminución de la aislación, o aumento del área de pérdida de calor. Existen distintos tipos de puentes térmicos que hacen variar la temperatura del hogar, los cuales se detallan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1

Tipos de puentes térmicos.

Tipo de puente	Abr.	Esquema	Descripción
Esquina saliente	P01		Esquina saliente entre dos muros o un muro y una losa de techo. Genera un aumento en su superficie.
Esquina entrante	P02		Esquina entrante entre dos muros o un muro y una losa de piso ventilado. Genera una disminución en su superficie.
Losa o muro interior sin aislación	P03		Encuentro entre un muro perimetral y un muro interior, o entre un muro perimetral y una losa de piso interior
Terraza o cornisa	P04		Encuentro entre un muro y algún elemento que sobresale del plomo perimetral exterior de los muros, como cornisas o terrazas.
Ventanas	P05		Encuentro entre el marco de la ventana y el muro en que se aloja. Este puente térmico se considera dentro de la información de la ventana.

Fuente: Manual CEV 2019

5.1.1.2.3. Puertas

La incidencia de las puertas en la eficiencia térmica se evalúa individualizando cada una de sus características técnicas, las cuales son: medidas, identificar si la puerta es sólida o liviana y el área de vidrio si correspondiese. También se debe indicar en que muro está alojada cada puerta. No se consideran las puertas interiores, ya que estas no poseen intercambios de temperatura con el exterior. Sus características se detallan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2

Características de puertas

Elemento	Descripción
Materialidad	Se debe indicar si la puerta es de madera sólida o madera liviana
Vidrio	Se debe indicar si la puerta cuenta con zonas vidriadas y de ser así, a que porcentaje de su superficie corresponde.
Posición	Se debe indicar la ubicación de la puerta con respecto al eje del muro y especificar en que muro se encuentra alojada.

Fuente: Manual CEV 2019

5.1.1.2.4. Ventanas

Para evaluar el comportamiento de las ventanas y como estas afectan en la eficiencia térmica de la vivienda se debe, en primer lugar, individualizar cada una de las ventanas detallando sus características requeridas, las cuales son: medidas, tipo de vidrio, tipo de cierre, posición de la ventana con respecto al muro, tipo de aislación y tipo de marco, indicando si posee o no ruptura de puente térmico. También se debe indicar en que muro está alojada cada ventana.

No se consideran las ventanas interiores, ya que estas no poseen intercambios de temperatura con el exterior. Sus características se describen en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3

Características ventanas.

Elemento	Descripción
Vidrio	Se debe indicar si el vidrio es monolítico o corresponde a un doble vidrio hermético (DVH)
Retorno	Se debe indicar si la aislación del muro (de existir), cuenta con retorno o no en los vanos
Infiltraciones	Se encuentran definidos por el tipo de marco: Madera, PVC, metálico y fierro. Se debe indicar si este posee ruptura de puente térmico. (RPT) Además del tipo de cierre de la ventana: fija, corredera, de abatir, guillotina y proyectante.
Posición	Se debe indicar si la ubicación de la ventana con respecto al eje del muro y especificar en que muro se encuentra alojada.

Fuente: Manual CEV 2019

5.1.1.2.5. Factor de accesibilidad de la ventana FAV

El factor de accesibilidad de la ventana o FAV, evalúa la incidencia de radiación solar directa y difusa en cada ventana, considerando su orientación y la existencia de obstrucciones cercanas, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$FAV_i = \phi_{Radiacion\ directa} * k + \phi_{Radiacion\ Difusa} * \beta$$

Donde:

FAVi: Se calcula para cada ventana considerando su orientación para cada hora

\emptyset Radiación directa: Perfil de radiación horaria en el cual el sol ilumina directamente a la ventana.

K: Valor binario 0 o 1 dependiendo de si el sol se encuentra bloqueado o no, considerando como referencia el centro del paño vidriado de ventana.

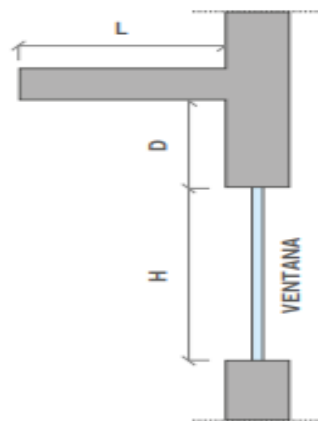
\emptyset Radiación difusa: Perfil de radiación horaria para cada zona térmica incorporado en la planilla.

B: Porcentaje de visibilidad de la bóveda celeste. Parámetro equivalente a la fracción efectiva de la radiación difusa incidente

Existen 3 tipos de FAV, que se relacionan con las protecciones solares presentes en la arquitectura alrededor de las ventanas. Los FAV 1 corresponden a aleros u obstrucciones horizontales sobre las ventanas, los cuales quedan definidos por tres distancias: H [m], L [m] y D [m] graficados en la Figura 5.2.

Figura 5.2

Esquema FAV 1.

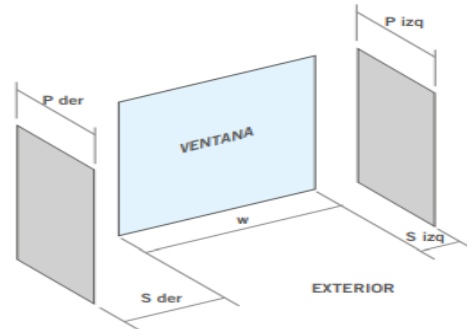


Fuente: Manual CEV 2019

Los FAV 2 corresponden a aleros u obstrucciones verticales en los costados de las ventanas, los cuales quedan definidos por las siguientes longitudes: W [m], P [m] y S [m]. Estos aleros se especifican por separado para el lado izquierdo y derecho de la ventana. Dichas ubicaciones (izquierda y derecha) se definen para un observador parado al interior del recinto mirando hacia afuera como se muestra en la Figura 5.3.

Figura 5.3

Esquema FAV 2.

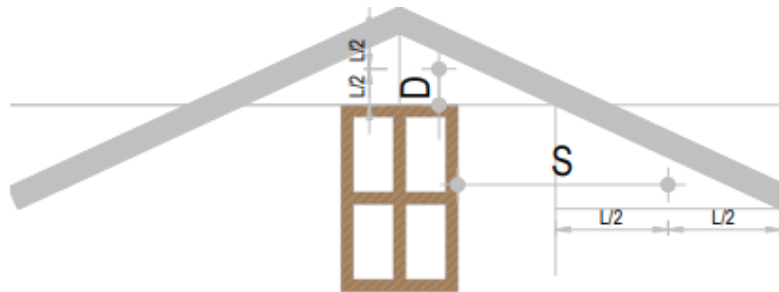


Fuente: Manual CEV 2019

En el caso de Aleros Angulados, se complementan tanto las distancias definidas para el FAV1 como para el FAV2, siguiendo lo presentado en la Figura 5.4.

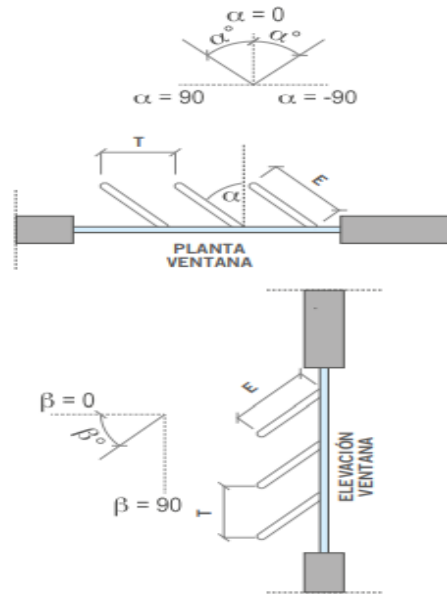
Figura 5.4

Esquema FAV aleros.



Fuente: Manual CEV 2019

Los FAV3 corresponden a aleros sobre el vidrio, tipo celosía, ya sea de manera horizontal o vertical, definidos por T en [m] y E en [m] y su ángulo, ya sea β que va desde 0° hasta 90° o α que va desde -90° hasta 90° , como se ve en la Figura 5.5.

Figura 5.5*Esquema FAV 3**Fuente: Manual CEV 2019*

5.1.1.2.6. Factor de accesibilidad con respecto a elementos de sombra remotos FAR

El factor de accesibilidad respecto a elementos de sombra remotos o FAR, evalúa la incidencia de radiación solar directa y difusa para cada fachada. Se calcula por orientación, considerando la existencia de obstrucciones remotas. El FAR en cada orientación modifica la radiación solar directa y la radiación solar difusa que llega a la vivienda según la siguiente ecuación:

$$FAR_i = \Phi_{Radiación\ directa} * k + \Phi_{Radiación\ Difusa} * \beta$$

FAR_i: Se calcula para cada orientación en la cual se definen obstrucciones

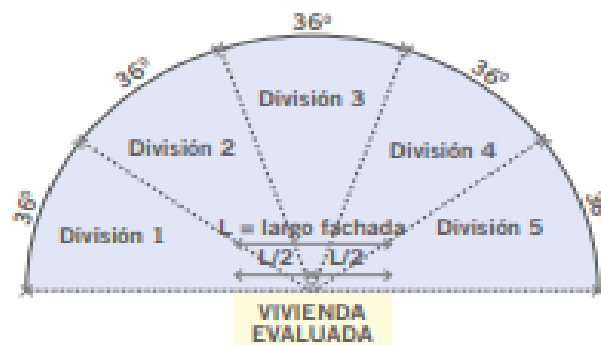
Se consideran como obstrucciones cualquier tipo de edificación permanente y accidentes geográficos, tales como cerros o laderas situados en el entorno cercano a la vivienda analizada. Se excluyen de este cálculo vegetaciones, letreros, elementos no

permanentes y cierres perimetrales. Este factor es único por orientación y se calcula considerando el punto central de cada fachada como punto de referencia. El FAR depende de cuatro parámetros para cada obstáculo:

- División [N°]: Las divisiones corresponden a cinco particiones imaginarias del semicírculo al que tiene visibilidad cada fachada vista en planta. Cada fachada tiene cinco divisiones de treinta y seis grados (36°) cada una, mediante las cuales se completan los ciento ochenta grados (180°) a los que tiene visibilidad cada ventana ubicada en ella como se muestra en la Figura 5.6. De esta forma, las obstrucciones/obstáculos se ubican, para efectos de cálculo, en el centro de alguna de las cinco divisiones. Si una obstrucción se emplaza en varias divisiones, se deben considerar por separado las áreas en cada división.

Figura 5.6

División de cuadrantes FAR.

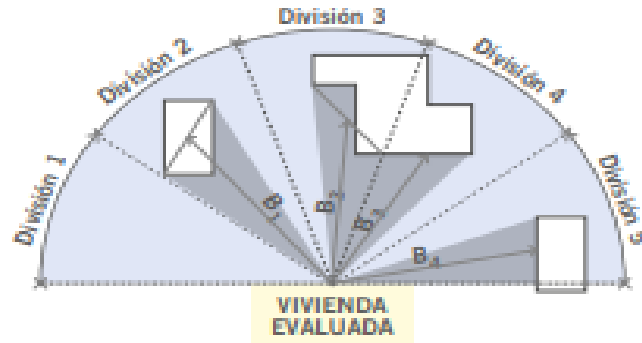


Fuente: Manual CEV 2019

- B [m]: La distancia B corresponde a la separación en metros [m] entre el punto medio de la respectiva fachada y el punto medio del elemento que produce sombra dentro de cada división. Si una obstrucción se emplaza en varias divisiones, se debe determinar la distancia B correspondiente a cada una de ellas, como se aprecia en la Figura 5.7.

Figura 5.7

Esquema de distancia B para medir FAR.

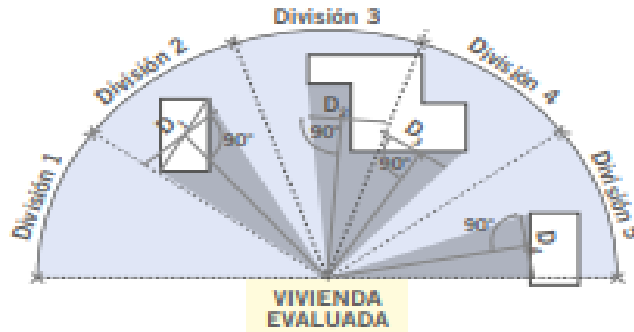


Fuente: Manual CEV 2019

- D [m]: La distancia D corresponde al ancho del bloqueo solar a la fachada generado por la obstrucción, atravesando por el punto desde donde se mide la distancia B y perpendicular a este. Si una obstrucción se emplaza en varias divisiones, se debe determinar la distancia D correspondiente a cada una de ellas, como se observa en la Figura 5.8.

Figura 5.8

Esquema de distancia D para medir FAR.

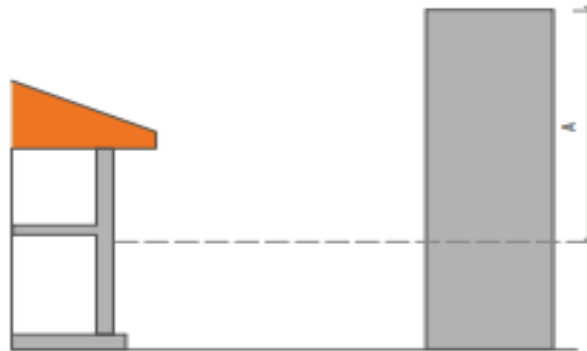


Fuente: Manual CEV 2019

- A [m]: La distancia A se define como el diferencial entre el punto medio de la fachada y la altura máxima del obstáculo, como se ven en la Figura 5.9 .

Figura 5.9

Esquema de distancia A para medir FAR.



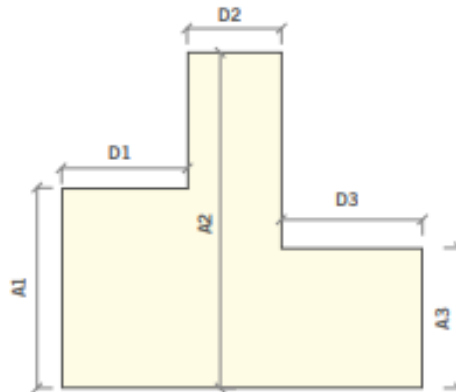
Fuente: Manual CEV 2019

En el caso de que la altura de un obstáculo sea variable, se debe considerar la altura media del obstáculo. Si un obstáculo tiene varios cuerpos con distintas alturas, se puede analizar cada cuerpo como altura independiente o utilizar la altura promedio ponderada en función del ancho (D) de acuerdo con la Figura 5.10 y la siguiente fórmula:

$$A = \frac{\sum_i A_i * D_i}{\sum_i D_i} \quad (7)$$

Figura 5.10

Esquema de alturas variables para medir FAR



Fuente: Manual CEV 2019

5.1.2. PBDT 2 MOTOR DE CÁLCULO

Corresponde a la planilla en donde se ejecuta la evaluación del modelo de vivienda para obtener sus características térmicas y de ahorro energético. Se debe ingresar el archivo de la planilla PBDT 1 “Datos de arquitectura” completada anteriormente y seleccionar una planilla PBDT 3 “Datos de equipos y resultados”, en donde se generará el informe de eficiencia.

Este documento realiza un balance térmico dinámico en donde se mide la temperatura interior de la vivienda cada 60 segundos durante un año. Evalúa la vivienda propuesta en su orientación original y girada en 90° 4 veces. Luego ejecuta el mismo análisis con la vivienda de referencia para usarla como punto de comparación para medir la eficiencia energética.

5.1.3. PBDT 3 DATOS DE EQUIPOS Y RESULTADOS

Es la planilla Excel que cuenta con los resultados preliminares obtenidos luego del procesamiento en la PBDT 2 “Motor de cálculo”. En este documento se pueden visibilizar los resultados de demanda de calefacción y enfriamiento, así como el desempeño de la vivienda base y rotada cada 90°. También entrega distintos gráficos que permiten visualizar el comportamiento térmico de la vivienda en distintas variables.

Sin embargo, el análisis aún está incompleto hasta este punto, ya que se debe indicar los distintos equipos y sistemas. Con estos datos, se puede obtener la caracterización del consumo energético de la vivienda estudiada. Los datos indicados en este apartado se actualizan automáticamente en la pestaña de “Resumen”. Los equipos y sistemas de la vivienda que deben ingresar se detallan a continuación.

5.1.3.1. SISTEMA DE CALEFACCIÓN

Se debe indicar el tipo de equipo y energía utilizado en el sistema de calefacción. En la misma línea, se debe especificar el sistema de distribución que tiene dicho sistema de calefacción y el sistema de control por el cual opera.

5.1.3.2. SISTEMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA

Se debe indicar sistema de generación y tipo de energía utilizado en el sistema de ACS. Se debe indicar también el tipo de distribución de este, que viene predeterminado en la planilla. Adicionalmente, se debe indicar si el sistema dispone de un estanque de almacenamiento de ACS y de ser el caso, especificar las características de dicho estanque.

5.1.3.3. SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y VENTILADORES

El sistema de iluminación se realiza en base a valores por defecto determinado según lo ingresado en la planilla PBDT 1. En el caso de ventiladores, se debe indicar la potencia del sistema de ventilación y señalar si existe o no un recuperador de calor.

5.1.3.4. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE ENERGÍAS

Se debe indicar si la vivienda posee un sistema de colectores solares térmicos que aporten a la energía utilizada para el sistema de ACS. En el mismo sentido, se debe indicar si la vivienda posee un sistema de paneles solares fotovoltaicos que aporten a la energía utilizada en el consumo eléctrico de la vivienda. En el caso de que posea dichos sistemas, se deben indicar sus principales características, como: potencia nominal, capacidad del estanque, ángulo y orientación del colector, superficie del colector, eficiencia del inversor, etc.

5.2. ANÁLISIS COMPARATIVO

Una vez ingresados todos los datos en la PBDT 1 y obtenidos los resultados de la PBDT 3, se debe ejecutar un análisis de los datos para conocer en profundidad el comportamiento térmico y el uso de energía que presenta tanto la vivienda base, como las viviendas con las soluciones propuestas. Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Determinar la demanda energética de cada modelo, diferenciando la demanda de calefacción con la de enfriamiento y comparar los resultados de la vivienda base con los resultados de las soluciones constructivas.
- Identificar si un cambio de orientación en la vivienda influye en la eficiencia térmica de esta y de ser así, determinar en cuanto varía la eficiencia térmica en cada caso.

- Analizar los flujos energéticos de la vivienda y determinar cuál o cuáles elementos tienen mayor repercusión en la pérdida de energía, ya sean estos de la envolvente o externos.
- Observar el porcentaje de ahorro energético que presenta cada modelo con su respectiva vivienda de referencia y comparar la nota de calificación obtenida de cada caso.
- Comparar el porcentaje de ahorro de la vivienda base con el porcentaje de ahorro de los modelos propuestos para determinar las diferencias entre sus comportamientos térmicos.

Con relación a estos datos y en dirección de cumplir los objetivos planteados, se debe determinar comparativamente entre cada uno de los modelos de vivienda, cual es la solución que presenta un mayor ahorro energético y al mismo tiempo, evaluar la factibilidad técnica y económica en cada caso. Con esto, se define cual es la solución constructiva que entregue un desempeño óptimo de acuerdo con los criterios planteados.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para efectuar la evaluación de la eficiencia térmica de la vivienda en estudio y sus posibles mejoras, se ingresa la información requerida acerca de las viviendas en las planillas de balance térmico dinámico para entregar una nota de calificación y un porcentaje de ahorro energético de cada una. Con los resultados obtenidos se realiza posteriormente un análisis comparativo entre sus indicadores más relevantes.

6.1. INGRESO DE DATOS PBDT 1 “DATOS DE ARQUITECTURA”

El ingreso de datos requeridos, mediante cálculos e información presente en las especificaciones técnicas y planos de las viviendas, se realiza en la PBDT 1. Este capítulo detalla el procedimiento necesario para completar las casillas requeridas, y ser posteriormente procesada por la planilla PBDT 2, obteniendo los resultados de su eficiencia térmica. Se realiza el procedimiento tanto para la vivienda base, como para los modelos con mejoras propuestas.

6.1.1. DATOS DE ARQUITECTURA VIVIENDA BASE

Para obtener los resultados necesarios para determinar la energía durante el uso y en consecuencia, poder analizar la eficiencia térmica de una vivienda, que en este caso corresponde a la vivienda N°6 definida en el caso estudio, es necesario completar las planillas PBDT descritas en el método. Los datos necesarios para llevar a cabo este proceso se estudian a continuación.

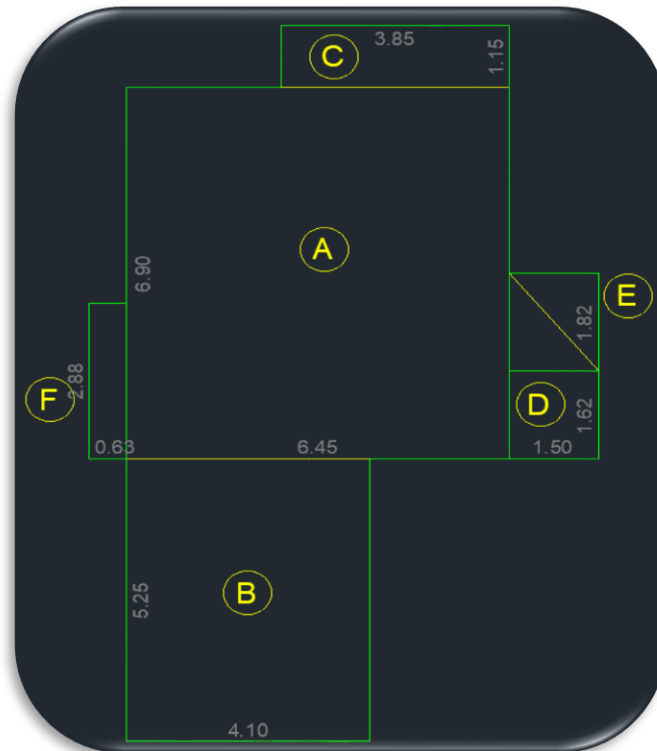
6.1.1.1. DIMENSIONES DEL MODELO DE VIVIENDA

Para comenzar con la evaluación, es necesario definir tanto el área útil, como la altura útil de la vivienda en estudio. Dicho procedimiento se realiza mediante el estudio de los planos de la vivienda.

En primer lugar, se analiza la vista en planta de la vivienda según el plano, la cual se divide en 6 secciones, como se ve en la Figura 6.1.

Figura 6.1

Secciones de la vivienda



Fuente: Plano de arquitectura vivienda modelo

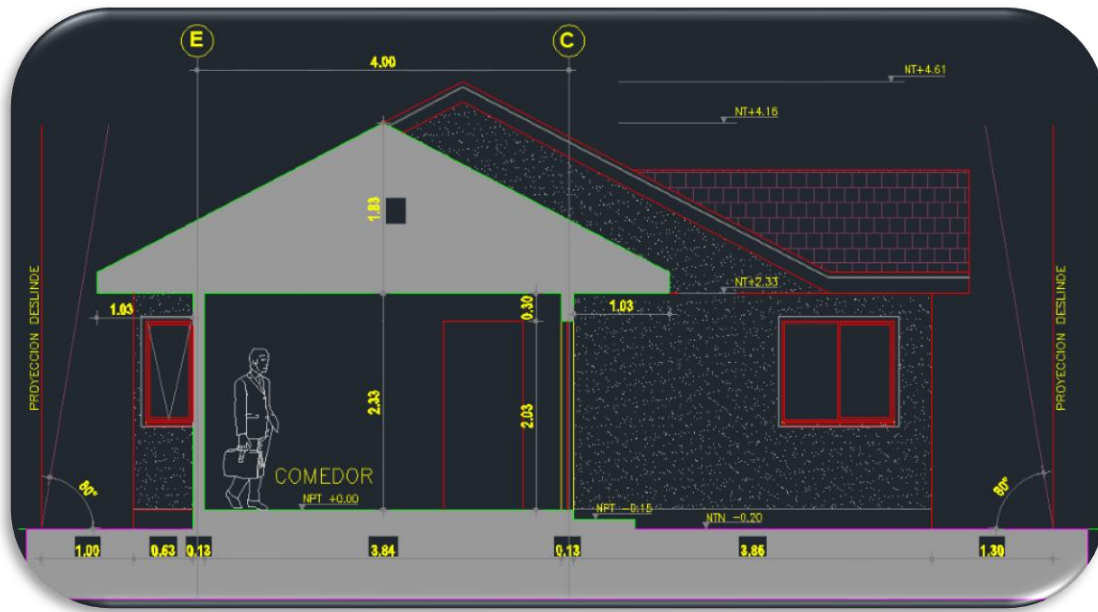
Esta información permite elaborar la Tabla 6.1, que incluye las medidas de cada sección y sus áreas parciales y totales.

Tabla 6.1*Cuadro de superficies vivienda modelo*

Sección	Largo [m]	Ancho [m]	Área
A	6,9	6,45	44,51
B	5,25	4,10	21,53
C	1,62	3,85	4,43
D	1,62	1,50	2,43
E	1,82	1,50	1,37
F	2,88	0,63	$3,62/2 = 1,81$
Área útil			76,08

Fuente: Elaboración propia

Luego se analizan las vistas en elevación de la vivienda según lo indicado en la Figura 6.2 .

Figura 6.2*Fachada vivienda modelo.**Fuente: Planos de arquitectura vivienda modelo*

Lo que permite determinar que la vivienda cuenta con una altura útil de 2,33[m], por lo que la planilla PBDT 1 “Datos de arquitectura” se rellena según la Tabla 6.2.

Tabla 6.2*Dimensiones de la vivienda.*

	Área [m ²]	Altura [m]	Volumen [m ³]
Piso 1	76,1	2,33	177,3

Fuente: PBDT1 vivienda modelo

6.1.1.2. TRANSMITANCIAS TÉRMICAS DE LA ENVOLVENTE

Un factor determinante en el uso de este sistema es el cálculo de transmitancia térmica de los elementos de la envolvente, el cual cuantifica la pérdida de calor por medio de estos

elementos. Sus parámetros necesarios para completar la planilla PBTD 1 “Datos de Arquitectura” se estudian a continuación.

6.1.1.2.1. Transmitancia muros

La vivienda modelo cuenta con dos tipos de muros. El muro 1 corresponde a muros de hormigón armado de 100[mm] de espesor que tienen contacto con el exterior y no corresponden a baños y cocina. Presentan aislación de planchas de poligyp compuesta esta de poliestireno expandido de 20[mm] de espesor y un revestimiento en plancha de yeso cartón de 10[mm]. Se resume esto en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3

Valores para determinar “U” en muro exterior con Poligyp.

Material	Espesor [m]	Densidad aparente [kg/m ³]	Conductividad térmica λ [W/(m * K)]
Poligyp interior	0,2	240	0,041
Hormigón armado	01	2400	1,63

Fuente: Tabla A-1 NCh 853

Este elemento cuenta con parámetros establecidos según el listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico del MINVU especificados en el **Anexo D**, el cual indica que la transmitancia térmica U para un espesor de aislante de 20[mm] corresponde a:

$$U = 1,26 \frac{W}{m^2K}$$

El muro 2 corresponde a muros de hormigón armado de 100[mm] de espesor, con revestimiento interior de placa de yeso cartón de 10 [mm], resumido en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4

Valores para determinar “U” en muro exterior sin aislación.

Material	Espesor [m]	Densidad aparente [kg/m ³]	Conductividad térmica λ [W/(m * K)]
Yeso cartón	0,01	700	0,26
Hormigón armado	0,1	2400	1,63

Fuente: Tabla A-1 NCh 853

Las características de este muro también son establecidas mediante el listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico del MINVU, especificados en el **Anexo E**, en donde se indica que la transmitancia térmica U equivale a:

$$U = 3,74 \frac{W}{m^2K}$$

En resumen, la tabla de transmitancia de muros presentes en la PBDT 1 “Datos de arquitectura” se llena según lo indicado en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5

Transmitancia térmica de muros.

Muros transmitancia						
Nombre	Abrev.	Tipo/materialidad	U [W/m ² K]	espesor muro solido [cm]	espesor aislante [cm]	Posición Aislación
Muro HA 100mm con Poligyp 200 mm	Muro HA con Poli	Pesado	1,26	10	20	Interior
Muro Ha 100mm con enlucido yeso 20mm	Muro Ha	Pesado	3,74	10	2	Interior

Fuente: PBDT 1 vivienda modelo

6.1.1.2.2. Transmitancia techumbre

La techumbre de la vivienda cuenta con varios elementos; estructura de madera, revestimiento de terciado ranurado de 7 [mm], aislación de lana mineral de 50[mm] de espesor y la cámara de aire entre el aislante y la cubierta. Para determinar su transmitancia térmica, se utiliza el método indicado en la NCh 853. Se observan sus elementos en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6

Valores para determinar “U” en techumbre.

Material	Espesor [m]	Densidad aparente [kg/m ³]	Conductividad térmica λ [W/(m * K)]
Estructura de madera de pino	variable	410	0,104
Terciado ranurado	0,07	1030	0,28
Lana mineral	0,06	50	0,041

Fuente: Tabla A-1 NCh 853

La techumbre de la vivienda estudiada cuenta con una cámara de aire que se encuentra ventilada a lo largo de todo su perímetro, lo que permite que el aire en su interior esté en movimiento constantemente, por lo que su transmitancia térmica queda definida por la **ecuación 6**:

$$R_T = R_{si} + R_i + R_{se}$$

Los valores de R_{se} y R_{si} se establecen de acuerdo con lo indicado en el **Anexo F** “Tabla 2 de la NCh 853” para elementos horizontales con flujo ascendente en contacto con una cámara de aire.

$$R_{se} = 0,10 \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \text{ y } R_{si} = 0,10 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

Se evalúa en primer lugar la resistencia térmica de las secciones sin aislante, que corresponden al listón de 2"x2" más el terciado ranurado de 7[mm]:

$$R_{madera} = R_{si} + \frac{e_{terciado}}{\lambda_{terciado}} + \frac{e_{tmadera}}{\lambda_{madera}} + R_{Se}$$

$$R_{madera} = 0,1 \left[\frac{m^2 K}{W} \right] + \frac{0,007 [m]}{0,28 \left[\frac{W}{mK} \right]} + \frac{0,125 [m]}{0,104 \left[\frac{W}{mK} \right]} + 0,1 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

$$R_{madera} = 1,427 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

Por lo que la transmitancia térmica de la madera, según **ecuación 1** corresponde a:

$$U_{madera} = \frac{1}{R_{madera}} = \frac{1}{1,427 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]}$$

$$U_{madera} = 0,701 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Se calcula a continuación la resistencia térmica de las secciones con aislante, que corresponde a colchonetas de lana de vidrio de espesor 60[mm] más el terciado ranurado de 7 [mm]:

$$R_{aislante} = R_{si} + \frac{e_{terciado}}{\lambda_{terciado}} + \frac{e_{aislante}}{\lambda_{aislante}} + R_{Se}$$

$$R_{aislante} = 0,1 \left[\frac{m^2 K}{W} \right] + \frac{0,007 [m]}{0,28 \left[\frac{W}{mK} \right]} + \frac{0,06 [m]}{0,041 \left[\frac{W}{mK} \right]} + 0,1 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

$$R_{aislante} = 1,688 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

La Transmitancia térmica del aislante corresponde a:

$$U_{aislante} = \frac{1}{R_{aislante}} = \frac{1}{1,688 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]}$$

$$U_{aislante} = 0,592 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Finalmente, se pondera la sección que corresponde a cada transmitancia térmica:

$$\% \text{ superficie con cercha} = \frac{\text{Ancho cercha}}{\text{Distancia entre cerchas al eje}} \times 100 = \frac{25[\text{mm}]}{900[\text{mm}]} = 2,77\%$$

$$\% \text{ superficie con aislante} = 100 - \% \text{ superficie con cercha} = 97,23\%$$

Por lo que la Transmitancia térmica del total de la cubierta se calcula mediante la **ecuación 5**:

$$\bar{U} = \frac{1}{R_T} = \frac{\sum U_i \times A_i}{\sum A_i}$$

$$\bar{U} = \frac{1}{R_T} = \frac{U_{\text{madera}} \times 2,77\% + U_{\text{aislante}} \times 97,23\%}{100\%}$$

$$\bar{U} = \frac{(0,701 \times 2,77\% + 0,592 \times 97,23\%)}{100\%}$$

$$\bar{U} = 0,595 \frac{W}{m^2K}$$

Con lo anterior, se completas los datos en la PBDT Datos de Arquitectura según lo indicado en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7

Transmitancia térmica Techumbre.

Nombre	Abreviatura	U [W/m2K]	espesor techo solido [cm]	espesor aislante [cm]	Posición Aislación
Techo con lana mineral 60 mm	Techo con Lana	0,60	1,0	0,4	Interior

Fuente: PBDT 1 Vivienda modelo

6.1.1.2.3. Transmitancia puertas y ventanas

Los elementos móviles también influyen en la eficiencia térmica de la vivienda. Según las EETT, existen diversas puertas y ventanas, los cuales cuentan con parámetros predefinidos por la herramienta al ser elementos de uso común, por lo que es necesario definir dentro de que categoría se ubican.

Existen 2 puertas exteriores en la vivienda, la puerta principal corresponde a una puerta de madera sólida y la puerta de la logia que es una puerta liviana, las cuales cuentan con valores por defecto en la herramienta, los cuales se observan en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8

Transmitancia térmica puertas.

Nombre	U puerta opaca [W/m2K]	U Marco [W/m2K]	U ponderado
Madera Solida	1,91	1,25	1,85
Liviana de madera	2,63	1,25	2,51

Fuente: PBDT 1 Vivienda modelo

Existen también, diversos tipos de ventanas que serán analizadas en profundidad más adelante, pero todas tienen en común que cuentan con vidrio monolítico sin espaciador, característica que cuenta con valores predeterminados, los cuales se observan en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9

Transmitancia térmica ventanas

Nombre	Abreviatura	U vidrio [W/m2K]	FS Vidrio
Vidrio Monolítico (VM). Sin espaciador	VM	5,80	0,87

Fuente: PBDT 1 Vivienda modelo

6.1.1.2.4. Transmitancia piso

La transmitancia térmica del piso en contacto con el terreno se determina mediante su aislación bajo radier, que según las EE.TT. corresponde a una plancha rígida de poliestireno expandido de 10[mm] de espesor. Estas características se muestran en la Tabla 6.10.

Tabla 6.10

Valores para determinar “U” en pisos.

Material	Espesor [m]	Densidad aparente [kg/m ³]	Conductividad térmica λ [W/(m * K)]
Radier	0,08	1400	0,55
Poliestireno	0,01	10	0,043

Fuente: Tabla A-1 NCh 853

Establecido lo anterior, se completa la planilla Excel PBDT Datos de Arquitectura con los datos indicados en la Tabla 6.11.

Tabla 6.11

Transmitancia térmica piso.

Nombre	Abreviatura	Aislación bajo piso contacto terreno	
		λ [W/mK]	e aislante [cm]
Radier 8 cm	radier	0,043	1,0

Fuente: PBDT 1 Vivienda modelo

Adicionalmente a esto, se debe indicar el área del piso en contacto con el terreno y el perímetro de la vivienda en contacto con el terreno, que según los planos de la vivienda equivalen a:

$$\text{Área en contacto con el terreno} = 80[m^2]$$

$$\text{Perímetro en contacto con el terreno} = 43,57[m]$$

Combinando los datos anteriores, la planilla se rellena según la Tabla 6.12.

Tabla 6.12*Características de pisos.*

Pisos	Densidad Piso	Área (m ²)	Perímetro contacto terreno [m]	Piso ventilado	Posición Aislación	Ls [W/K]
radier	Pesado	80,00	43,57	No Ventilado	Exterior	68,05

Fuente: PBDT 1 Vivienda modelo

6.1.1.3. CARACTERIZACIÓN DE LA ENVOLVENTE

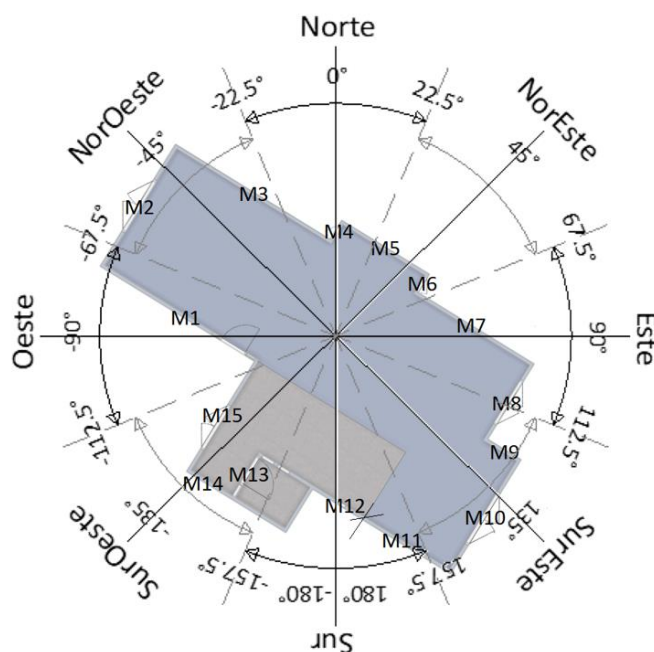
Ya profundizando en el estudio de la planilla PBDT 1 “Datos de arquitectura”, se deben determinar las características térmicas de la envolvente a estudiar, las cuales involucran a los muros, los puentes térmicos existentes en las viviendas, las características de las ventanas y el factor de asoleamiento, tanto de los elementos transparentes como las obstrucciones existentes alrededor de la vivienda.

6.1.1.3.1. Muros

En el caso de los muros, se deben individualizar según los planos y luego ubicarlos dentro de un gráfico de coordenadas, según su emplazamiento proyectado de la vivienda N°6, con el fin de determinar el cuadrante de cada muro. Al aplicar las coordenadas indicadas queda como lo indica la Figura 6.3.

Figura 6.3

Coordenadas de muros vivienda modelo



Fuente: Elaboración propia

Se debe construir una tabla para identificar cada muro, incluyendo el área y el azimut de cada uno. Para poder analizar los datos de manera ordenada, la herramienta permite agrupar los muros con igual transmitancia térmica y orientación. Se resumen los resultados en la Tabla 6.13

Tabla 6.13

Resumen características de muros vivienda modelo.

TIPO MURO	incluye	AREA [m2]	Azimut
M-SO con aislación	M1-M11	24,04	$-157,5^\circ \leq Az < -135^\circ$
M-NO con aislación	M2-M4	10,78	$-67,5^\circ \leq Az < -45^\circ$
M-NE con aislación	M3-M5-M7-M9	29,75	$22,5^\circ \leq Az < 45^\circ$
M-SE con aislación	M6-M8-M10	15,68	$112,5^\circ \leq Az < 135^\circ$
M-SO sin aislación	M12-M14	6,57	$-157,5^\circ \leq Az < -135^\circ$
M-NO sin aislación	M15	8,73	$-67,5^\circ \leq Az < -45^\circ$
M-SE sin aislación	M13	3,49	$112,5^\circ \leq Az < 135^\circ$

Fuente: Elaboración propia

Con la información recopilada acerca de los muros, se completa la planilla PBDT 1 según lo indicado en la Tabla 6.14.

Tabla 6.14

Características muros vivienda modelo.

	Muros	Ángulo Azimut	Orientación	Densidad Muro	Área (m ²)	U [W/m ² K]
Muro 1	Muro HA con Poli	$-157,5^\circ \leq Az < -135^\circ$	SO	Pesado	24,1	1,3
Muro 2	Muro HA con Poli	$-67,5^\circ \leq Az < -45^\circ$	NO	Pesado	10,8	1,3
Muro 3	Muro HA con Poli	$22,5^\circ \leq Az < 45^\circ$	NE	Pesado	29,8	1,3
Muro 4	Muro HA con Poli	$112,5^\circ \leq Az < 135^\circ$	SE	Pesado	15,7	1,3
Muro 5	Muro Ha	$-157,5^\circ \leq Az < -135^\circ$	SO	Pesado	6,6	3,7
Muro 6	Muro Ha	$-67,5^\circ \leq Az < -45^\circ$	NO	Pesado	8,7	3,7
Muro 7	Muro Ha	$112,5^\circ \leq Az < 135^\circ$	SE	Pesado	3,5	3,7

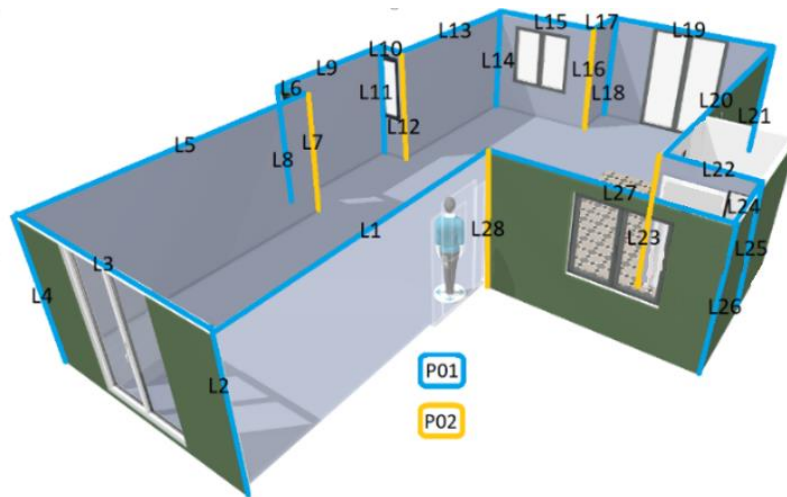
Fuente: PBDT 1 Vivienda modelo

6.1.1.3.2. Puentes térmicos

Los puentes térmicos representan zonas lineales en donde se transmite más fácilmente el calor. Para visualizar dichas secciones, se evalúa una proyección en 3 dimensiones de la vivienda. Los puentes térmicos de los muros perimetrales están representados a según la Figura 6.4.

Figura 6.4

Puentes térmicos 1 y 3 (1)

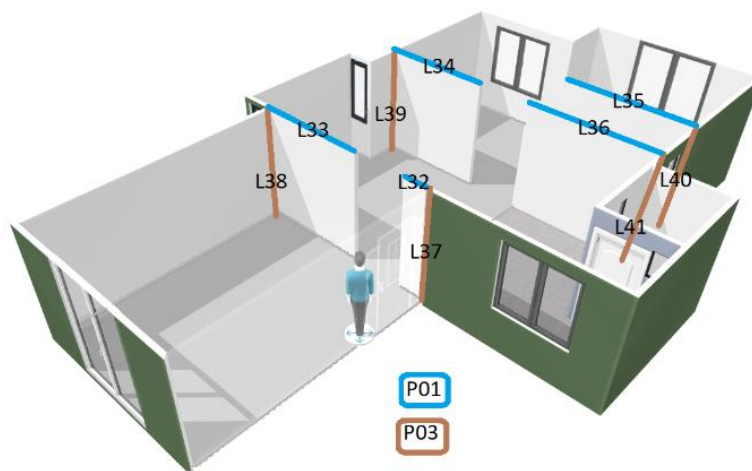


Fuente: Elaboración propia a partir de software "Homebyme"

Existen también puentes térmicos ubicados en muros interiores, que, al no estar presentes en la individualización de los muros anteriores ya que no pertenecen a la envolvente, se deben considerar en el muro exterior adyacente, graficados en la Figura 6.5.

Figura 6.5

Puentes térmicos 1 y 3 (2)



Fuente: Elaboración propia a partir de software "Homebyme"

Según lo anterior y sumado a la información de los planos, se pueden visualizar todos los puentes térmicos presentes en el modelo, medidos al eje. La herramienta permite sumar las longitudes de puentes térmicos similares en muros similares, por lo que se puede resumir la información según la Tabla 6.15.

Tabla 6.15

Puentes térmicos de vivienda modelo

TIPO MURO	incluye	P01	P02	P03
M-SO con Poligyp	M1-M11	17,09		4,66
M-NO con Poligyp	M2-M4	9,3		
M-NE con Poligyp	M3-M5-M7-M9	24,9	2,33	4,66
M-SE con Poligyp	M6-M8-M10	11,39	4,66	
M-SO con enlucido	M12-M14	6,75	2,33	2,33
M-NO con enlucido	M15	3,75	2,33	
M-SE con enlucido	M13	2,33		

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la planilla de datos PBTD se completa como lo indica la Tabla 6.16.

Tabla 6.16

Puentes térmicos PBTD 1 Vivienda modelo

	Muros	Ángulo Azimut	Puentes térmicos [m]		
			P01	P02	P03
Muro 1	Muro HA con Poli	$-157,5^\circ \leq Az < -135^\circ$	17,1		4,7
Muro 2	Muro HA con Poli	$-67,5^\circ \leq Az < -45^\circ$	9,3		
Muro 3	Muro HA con Poli	$22,5^\circ \leq Az < 45^\circ$	24,9	2,3	4,7
Muro 4	Muro HA con Poli	$112,5^\circ \leq Az < 135^\circ$	11,4	4,7	
Muro 5	Muro Ha	$-157,5^\circ \leq Az < -135^\circ$	6,8	2,3	2,3
Muro 6	Muro Ha	$-67,5^\circ \leq Az < -45^\circ$	3,8	2,3	
Muro 7	Muro Ha	$112,5^\circ \leq Az < 135^\circ$	2,3		





Fuente: PBTD 1 Vivienda modelo



6.1.1.3.3. Ventanas

Para analizar las características de las ventanas y como sus elementos repercuten en el flujo de energía que circula por la vivienda, es necesario determinar las características de los vidrios, los marcos, su aislación y posición, así como indicar si el marco posee ruptura de puente térmico. Toda esta información se detalla en la Tabla 6.17.

Tabla 6.17

Características ventanas.

Ventana	Descripción
	Ventana 1 y 2, ubicadas en los muros 2 y 10 bajo alero angulado Vidrio monolítico Tipo de cierre: corredera Posición ventana: centrada Aislación: con retorno Marco de aluminio con ruptura de puente térmico.
	Ventana 3 y 4, ubicadas en los muros 8 y 15. Vidrio monolítico Tipo de cierre: corredera Posición ventana: centrada Aislación: con retorno Marco de aluminio con ruptura de puente térmico.
	Ventanas ubicadas en muro 12. (interior) Vidrio monolítico Tipo de cierre: corredera Posición ventana: centrada Aislación: con retorno Marco de aluminio con ruptura de puente térmico.
	Ventana 5 y 6, ubicadas en muros 4 y 6. Vidrio monolítico Tipo de cierre: proyectante Posición ventana: centrada Aislación: con retorno Marco de aluminio con ruptura de puente térmico.

	<p>Ventana ubicada en muro 13. (interior) Vidrio monolítico Tipo de cierre: proyectante Posición ventana: centrada Aislación: sin retorno Marco de aluminio sin ruptura de puente térmico.</p>
	<p>Ventana 7 y 8, ubicadas en muro 1. Vidrio monolítico Tipo de cierre: fija Posición ventana: centrada Aislación: con retorno Marco de madera sin ruptura de puente térmico.</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de las EETT vivienda modelo

Las ventanas interiores no se consideran para el cálculo por no presentar intercambio de temperaturas con el exterior. Con la información resumida en la tabla, además de lo indicado en los planos, se determinan los datos que se ingresan a la planilla Excel, mostrados en la Tabla 6.18.

Tabla 6.18*Características ventanas PBDT 1.*

	Tipo Ventana	Azimut	Elemento envolvente donde se encuentra	Tipo de Cierre de ventana	Posición Ventanal
Ventana 1	VM	$-67,5^\circ \leq Az < -45^\circ$	Muro HA con Poli	Corredera	Centrada
Ventana 2	VM	$112,5^\circ \leq Az < 135^\circ$	Muro HA con Poli	Corredera	Centrada
Ventana 3	VM	$112,5^\circ \leq Az < 135^\circ$	Muro HA con Poli	Corredera	Centrada
Ventana 4	VM	$-67,5^\circ \leq Az < -45^\circ$	Muro HA con Poli	Corredera	Centrada
Ventana 5	VM	$-67,5^\circ \leq Az < -45^\circ$	Muro HA con Poli	Proyectante	Centrada
Ventana 6	VM	$112,5^\circ \leq Az < 135^\circ$	Muro HA con Poli	Proyectante	Centrada
Ventana 7	VM	$-157,5^\circ \leq Az < -135^\circ$	Muro HA con Poli	Fija	Centrada
Ventana 8	VM	$-157,5^\circ \leq Az < -135^\circ$	Muro HA con Poli	Fija	Centrada
	Aislación Con/Sin retorno	Alto [m] (H)	Ancho [m] (W)	Categoría para PT e Infiltraciones	Tipo
Ventana 1	Con	1,97	1,65	metálico	Con RPT
Ventana 2	Con	1,97	1,65	metálico	Con RPT
Ventana 3	Con	1,00	1,14	metálico	Con RPT
Ventana 4	Con	1,00	1,14	metálico	Con RPT
Ventana 5	Con	1,00	0,42	metálico	Con RPT
Ventana 6	Con	1,00	0,42	metálico	Con RPT
Ventana 7	Con	1,85	0,34	Madera	Sin RPT
Ventana 8	Con	1,85	0,34	Madera	Sin RPT

Fuente: PBDT 1 Vivienda modelo

6.1.1.3.4. FAV

El factor de accesibilidad de la ventana (FAV) corresponde a la incidencia de la radiación solar que ingresa mediante las ventanas en donde influye la radiación directa y la radiación difusa. Se determina mediante las obstrucciones existentes alrededor de la ventana, debiendo encontrar los FAV1, FAV2 y FAV 3

Las ventanas no presentan aleros sobre ellas, por lo que no existen FAV 3 en este caso. Según lo expuesto anteriormente, y basado en la información presente en los planos de arquitectura, los FAV respectivos de cada ventana son los indicados en la Tabla 6.19.

Tabla 6.19*FAV vivienda modelo.*

	Ancho	Alto	FAV 1		FAV 2 Izquierda		FAV 2 Derecha	
	[m]	[m]	D [m]	L [m]	P[m]	S[m]	P[m]	S[m]
Ventana 1	1,65	1,97	0,96	1,92		1,56		1,56
Ventana 2	1,65	1,97	0,96	1,92				
Ventana 3	1,14	1	0,32	0,4			1,15	0,6
Ventana 4	1,14	1	0,32	0,4			5,25	2,25
Ventana interior	0,56	0,5	interior					
Ventana interior	0,56	0,5	interior					
Ventana 5	0,42	1	0,32	0,4	5,38	0,02		
Ventana 6	0,42	1	0,32	0,4			4	0,02
Ventana interior	0,47	1,08	interior					
Ventana 7	0,34	1,85	0,34	0,4	3,8	0,02		
Ventana 8	0,34	1,85	0,34	0,4	3,8	1,2		

Fuente: Elaboración propia a partir de planos de arquitectura vivienda modelo

En resumen, la información a rellenar en la planilla Excel PBDT se ve en la Tabla 6.20.

Tabla 6.20*Medidas FAV vivienda modelo*

	FAV 1		FAV 2 Izquierda		FAV 2 Derecha	
	D	L	P	S	P	S
Ventana 1	1,0	1,9		1,6		1,6
Ventana 2	1,0	1,9				
Ventana 3	0,3	0,4				
Ventana 4	0,3	0,4			1,2	0,6
Ventana 5	0,3	0,4			5,3	2,3
Ventana 6	0,3	0,4	5,4	0,0		
Ventana 7	0,3	0,4	3,8	0,0	4,0	0,0
Ventana 8	0,3	0,4	3,8	1,2		

Fuente: PBDT 1 Vivienda modelo

6.1.1.3.5. FAR

El factor de accesibilidad con respecto a objetos de sombra remoto (FAR) corresponde a la incidencia de la radiación solar en la vivienda que es bloqueada por elementos externos ubicados alrededor. No se consideran como obstrucciones las casas aledañas ni los muros perimetrales del proyecto.

En la vivienda evaluada, considerando la ubicación proyectada, las características geográficas y las construcciones colindantes, se identifican 5 obstrucciones relevantes que tendrán un impacto en el FAR, ya que generan sombra. Existen 3 edificios de 5 pisos que se muestran en la Figura 6.6. Además de estos, existen 2 cerros cercanos que generan sombra, que se muestran en la Figura 6.7.

Figura 6.6

Obstrucciones desde edificios en vivienda modelo.



Fuente: Google Earth.

Figura 6.7

Obstrucciones desde cerros vivienda modelo.



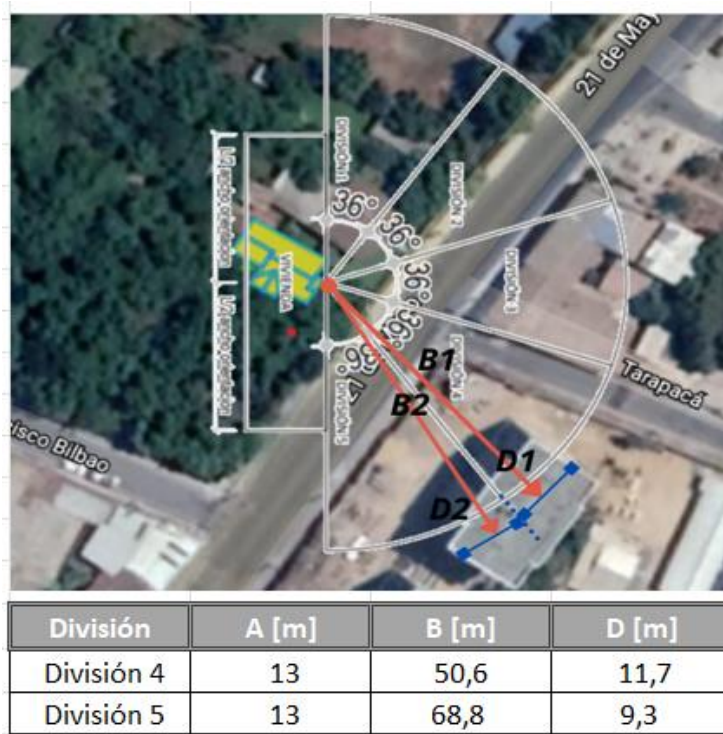
Fuente: Google Earth

Según lo planteado con anterioridad, se deben evaluar las obstrucciones frente a cada fachada, indicando la orientación de dicha fachada y midiendo las distancias A, B y D en cada uno de los 6 cuadrantes. Se define que las orientaciones de la fachada de la vivienda son Noroeste, Noreste, Sureste y Suroeste. Además, se plantea evaluar las obstrucciones de los edificios y los cerros por separado, debido a la alta variabilidad en magnitudes que presentan.

Con respecto a los edificios, las obstrucciones se encuentran en las orientaciones Suroeste, mostrado en la Figura 6.8 y Sureste, mostrado en la Figura 6.9. Se detallan las distancias A, B y D de cada edificio y el cuadrante en el cual inciden.

Figura 6.8

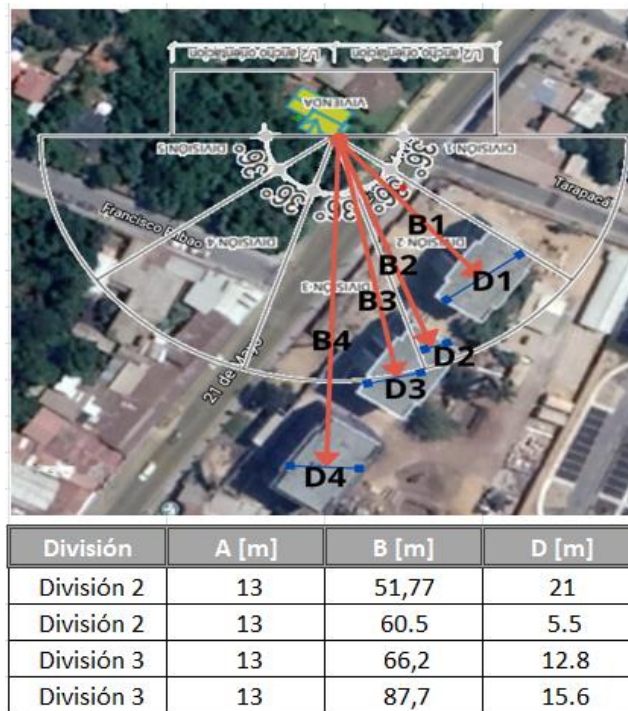
Medidas FAR en edificios cuadrante suroeste



Fuente: Elaboración propia

Figura 6.9

Medidas FAR en edificios cuadrante sureste



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los cerros que generan obstrucciones, se plantea que las orientaciones que se ven afectadas son las correspondientes al Noreste en la Figura 6.10, Noroeste en la Figura 6.11 y Suroeste en la Figura 6.12. Las distancias horizontales se determinan mediante Google Maps. Las distancias verticales se determinan mediante la misma herramienta, utilizando la **ecuación 7** para elementos con altura irregular, modelando cada cerro en 3 cuerpos distintos de altura variable.

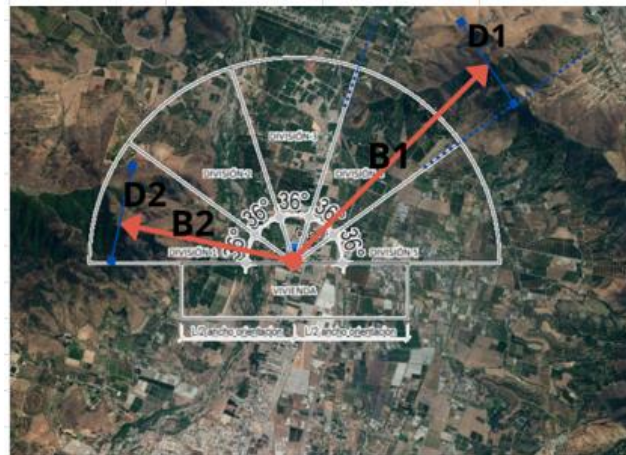
Figura 6.10

Medidas FAR en cerros cuadrante Noreste



Obstrucción 1		Obstrucción 2	
A1[m]	511	A1[m]	525
A2[m]	740	A2[m]	437
A3[m]	620	A3[m]	486
D1[m]	240	D1[m]	231
D2[m]	240	D2[m]	231
D3[m]	240	D3[m]	231
A Pond.	623,7	A Pond.	482,7
División	A [m]	B [m]	D [m]
División 2	623,7	4807	720
División 2	482,7	4862	693

Fuente: Elaboración propia

Figura 6.11*Medidas FAR en cerros cuadrante noroeste*

Obstrucción 1		Obstrucción 2	
A1[m]	582	A1[m]	538
A2[m]	733	A2[m]	897
A3[m]	521	A3[m]	651
D1[m]	303,3	D1[m]	417
D2[m]	303,3	D2[m]	417
D3[m]	303,3	D3[m]	417
A Pond.	612	A Pond.	695.3
División	A [m]	B [m]	D [m]
División 1	612	4807	910
División 4	695,3	3454	1251

Fuente: Elaboración propia

Figura 6.12

Medidas FAR en cerros cuadrante sureste



Obstrucción 1		Obstrucción 2	
A1[m]	291	A1[m]	877
A2[m]	513	A2[m]	751
A3[m]	680	A3[m]	520
D1[m]	296	D1[m]	537,7
D2[m]	296	D2[m]	537,7
D3[m]	296	D3[m]	537,7
A Pond.	494.7	A Pond.	716
División	A [m]	B [m]	D [m]
División 3	494,7	3053	888
División 4	716	4135	1613

Fuente: Elaboración propia

Según lo anteriormente planteado, la planilla Excel PBDT se completa según lo indicado en la Tabla 6.21.

Tabla 6.21*Resumen FAR.*

NE	Azimut	$22,5^\circ \leq Az < 45^\circ$	
División	A [m]	B [m]	D [m]
D1	494,70	3.053,00	888,00
D4	716,00	4.135,00	1.613,00
SO	Azimut	$-157,5^\circ \leq Az < -135^\circ$	
división	A [m]	B [m]	D [m]
D2	623,70	4.807,00	720,00
D2	482,70	4.962,00	693,00
D4	13,00	50,60	11,70
D5	13,00	68,80	9,30

SE	Azimut	$112,5^\circ \leq Az < 135^\circ$	
División	A [m]	B [m]	D [m]
D2	13,00	51,77	21,00
D2	13,00	60,50	5,50
D3	13,00	66,20	12,80
D3	13,00	87,70	15,60
NO	Azimut	$-67,5^\circ \leq Az < -45^\circ$	
División	A [m]	B [m]	D [m]
D1	612,00	4.807,00	910,00
D2	695,30	3.454,00	1.251,00

Fuente: PBDT 1 Vivienda Modelo

6.1.2. DATOS DE ARQUITECTURA DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

Para seguir con el análisis, se utilizan nuevas PBDT 1 para ingresar los datos de los modelos con soluciones de eficiencia. En estos se detalla la misma información que lo expuesto en la vivienda modelo, salvo por aquellos elementos que serán intervenidos, a los cuales es necesario calcular sus nuevos parámetros para determinar los cambios en la eficiencia térmica de cada uno.

6.1.2.1. REVESTIMIENTO EXTERIOR EIFS

El EIFS es un revestimiento exterior que actúa como aislante térmico de muros, por lo que se debe calcular la nueva transmitancia térmica de este elemento en reemplazo al revestimiento interior de poligyp presente en el caso base. El muro revestido de EIFS se compone de un adhesivo cementicio, una capa de aislación de poliestireno expandido de 60 [mm] que se le adosa una malla de fibra de vidrio que se embebe mediante otra capa de adhesivo cementicio. Todo esto sobre la base del muro de hormigón armado. Se resumen lo anterior en la Tabla 6.22.

Tabla 6.22

Valores para determinar U en EIFS.

Material	Espesor [m]	Densidad aparente [kg/m ³]	Conductividad térmica λ [W/(m * K)]
Poliestireno expandido	0,05	20	0,0384
Adhesivo cementicio	0,02	2000	1,4
Hormigón armado	0,1	2400	1,63

Fuente: Tabla A-1 NCh 853

La resistencia térmica para elementos compuestos homogéneos está determinada por la **ecuación 3**:

$$R_T = R_{si} + R_i + R_{se}$$

Por lo que la ecuación expandida de resistencia térmica del EIFS es:

$$R_{EIFS} = R_{si} + \frac{e_{adhesivo}}{\lambda_{adhesivo}} + \frac{e_{poliestireno}}{\lambda_{poliestireno}} + \frac{e_{hormigón}}{\lambda_{hormigón}} + R_{se}$$

Los valores de R_{se} y R_{si} se establecen de acuerdo con lo indicado en el **Anexo F** “Tabla 2 de la NCh 853” para elementos verticales con flujo horizontal en contacto con el exterior.

$$R_{se} = 0,12 \left[\frac{m^2 K}{W} \right] \text{ y } R_{si} = 0,05 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

La resistencia térmica del revestimiento exterior EIFS corresponde a:

$$R_{EIFS} = 0,12 \left[\frac{m^2 K}{W} \right] + \frac{0,02 [m]}{1,4 \left[\frac{W}{m K} \right]} + \frac{0,05 [m]}{0,0384 \left[\frac{W}{m K} \right]} + \frac{0,1 [m]}{1,63 \left[\frac{W}{m K} \right]} + 0,05 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

$$R_{EIFS} = 1,548 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

Por lo que la transmitancia térmica total del EIFS corresponde, según la **ecuación 1**:

$$U_{EIFS} = \frac{1}{R_{EIFS}} = \frac{1}{1,548 \left[\frac{m^2 K}{W} \right]}$$

$$U_{EIFS} = 0,646 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Se completa la PBDT 1 de la vivienda con EIFS como se indica en la Tabla 6.23.

Tabla 6.23

Transmitancia muros con EIFS

Muros transmitancia						
Nombre	Abreviatura	Tipología/materialidad	U [W/m2K]	espesor muro solido [cm]	espesor aislante [cm]	Posición Aislación
Muro Ha 100mm con EIFS 50mm	Muro EIFS	Pesado	0,65	10	6	Exterior

Fuente: PBDT 1 vivienda con EIFS

6.1.2.2. VENTANAS TERMOPANEL

Las ventanas termopanel corresponden a ventanas con una alta eficiencia térmica debido a que evitan la pérdida de calor mediante la cámara de aire presente entre las dos hojas del doble vidriado. Se plantea reemplazar las ventanas de las habitaciones y el cuarto de estar por ventanas termopanel a excepción de las ventanas alrededor de la puerta principal. Sus características son detalladas en la Tabla 6.24.

Tabla 6.24

Características ventanas monolíticas y termopanel.

Ventana por reemplazar	Ventana termo-panel
Ventanas 1 y 2, ubicadas en el cuarto de estar y en el dormitorio principal.	
Vidrio monolítico de 4[mm] Medidas 1,7[m]x2,0[m] Tipo de cierre: Corredera Aislación: con retorno Marco de aluminio con ruptura de puente térmico.	Doble vidriado estándar de 4[mm] con cámara de aire de 9[mm] Medidas 1,7[m]x2,0[m] Tipo de cierre: Corredera Aislación: con retorno Marco de aluminio con ruptura de puente térmico.
Ventanas 3 y 4, ubicadas en los dormitorios.	
Vidrio monolítico de 4[mm] Medidas 1,2[m]x1,08[m] Tipo de cierre: Corredera Aislación: con retorno Marco de aluminio con ruptura de puente térmico.	Doble vidriado estándar de 4[mm] con cámara de aire de 9[mm] Medidas 1,2[m]x1,08[m] Tipo de cierre: Corredera Aislación: con retorno Marco de aluminio con ruptura de puente térmico.
Ventanas 5 y 6, ubicadas en dormitorio.	
Vidrio monolítico de 4[mm] Medidas: 0,5[m]x1,08[m] Tipo de cierre: proyectante Aislación: con retorno Marco de aluminio con ruptura de puente térmico.	Doble vidriado estándar de 4[mm] con cámara de aire de 9[mm] Medidas: 0,5[m]x1,08[m] Tipo de cierre: proyectante Aislación: con retorno Marco de aluminio con ruptura de puente térmico.

Fuente: Elaboración propia

El valor de la transmitancia térmica de las ventanas termopanel esta predeterminado por la herramienta según el espesor de la cámara de aire, lo que en el caso en estudio es de un espesor de 9 [mm] y corresponde a lo indicado en la Tabla 6.25.

Tabla 6.25

Transmitancias ventanas termopanel.

Nombre	Abreviatura	U vidrio [W/m ² K]	FS Vidrio
DVH con espaciador de 9mm	DVH con 9mm	3,01	0,77

Fuente: PBDT 1 Vivienda con ventanas termopanel

6.1.2.3. FACHADA VENTILADA

La fachada ventilada tiene por característica principal contar con una cámara de aire al interior del parámetro exterior, entre este y el muro portante. Este muro consiste en la base de un muro de hormigón armado cubierto por una capa de aislante. Sobre esto se encuentra montada una estructura de aluminio que soporta la fachada del muro, dejando un espacio de aire entre el aislante y la fachada.

La renovación de aire dentro de la cámara se consigue, en este caso, mediante celosías de 20 [cm] x 25 [cm] en donde se estima que la mitad de su sección corresponde a espacio libre, con (S) = 500[cm²], con una cámara de aire de espesor (l) de 0,2 [cm]. Con esto se tiene que:

$$\frac{S}{l} = \frac{500[\text{cm}^2]}{0,2[\text{cm}]} = 1000 \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \right]; \text{ Cámara muy ventilada.}$$

Se debe determinar también si el aire dentro de la cámara se mantiene en reposo o en movimiento. En el caso de la fachada ventilada, el efecto chimenea genera que el aire se renueve constantemente, por lo que se considera que el aire está en movimiento, con lo cual su resistencia térmica total ponderada queda definida por la **ecuación 6**:

$$R_T \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right] = R_{si} + R_i + R_{se}$$

El muro con el sistema de fachada ventilada está compuesto por las siguientes capas desde el interior: Placa yeso cartón de 10 [mm] de espesor, hormigón armado de 100[mm] de espesor y poliestireno expandido de 50 [mm] de espesor y 20 $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ de densidad. La

resistencia de la cámara de aire y del forrado exterior se desprecian según la NCh 853. Estos datos se resumen en la Tabla 6.26.

Tabla 6.26

Valores para determinar U en muros con fachada ventilada.

Material	Espesor [m]	Densidad aparente [kg/m ³]	Conductividad térmica λ [W/(m * K)]
Yeso cartón	0,01	700	0,26
Hormigón armado	0,1	2400	1,63
Poliestireno	0,05	20	0,0384

Fuente: Tabla A-1 NCh 853

La resistencia térmica del muro con fachada ventilada es:

$$R_{FV} = R_{si} + \frac{e_{yesocarton}}{\lambda_{yesocarton}} + \frac{e_{hormigón}}{\lambda_{hormigón}} + \frac{e_{poliestireno}}{\lambda_{poliestireno}} + R_{se}$$

Los valores de R_{se} y R_{si} se establecen de acuerdo con lo indicado en el **Anexo 3** “Tabla 2 de la NCh 853” para elementos verticales con flujo horizontal en contacto con una cámara de aire.

$$R_{se} = 0,12 \left[\frac{m^2K}{W} \right] \text{ y } R_{si} = 0,12 \left[\frac{m^2K}{W} \right]$$

Por consiguiente, la resistencia térmica del muro con fachada ventilada es:

$$R_{FV} = 0,12 + \frac{0,01[m]}{0,26 \left[\frac{W}{mK} \right]} + \frac{0,1[m]}{1,63 \left[\frac{W}{mK} \right]} + \frac{0,05[m]}{0,0384 \left[\frac{W}{mK} \right]} + 0,12$$

$$R_{FV} = 1,618 \left[\frac{m^2K}{W} \right]$$

Por lo tanto, su transmitancia térmica ponderada según la **ecuación 1** es:

$$\bar{U}_{FV} = \frac{1}{R_{FV}} = \frac{1}{1,618}$$

$$\bar{U}_{FV} = 0,618 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

Con los datos anteriormente mencionados, se completa la Tabla 6.27.

Tabla 6.27

Transmitancia muros con fachada ventilada

Muros transmitancia						
Nombre	Abreviatura	Tipología/materialidad	U [W/m ² K]	espesor muro solido [cm]	espesor aislante [cm]	Posición Aislación
Muro Ha 100mm con fachada ventilad	Muro FV	Pesado	0,618	10	5	Exterior

Fuente: PBDT 1 Vivienda con fachada ventilada

6.2. RESULTADOS PBDT 3 “DATOS DE EQUIPOS Y RESULTADOS”

Una vez completados todas las planillas PBDT 1 “Datos de arquitectura” de la vivienda modelo y de las viviendas con las soluciones propuestas, se deben cargar en la planilla PBDT 2 “Motor de Cálculo”. Luego, se señala una planilla PBDT 3 “Datos de equipos y resultados” en blanco en donde se alojarán los resultados.

Ejecutar el comando “Correr caso propuesto más base” ubicado en la PBDT 2, para ejecutar el análisis de cada uno de los modelos de vivienda, así como de la vivienda de referencia. Una vez ejecutado el análisis, los resultados se muestran en la Planilla PBDT 3 usada, en donde se deben señalar los datos de equipos para que el análisis esté completo.

6.2.1. DATOS DE EQUIPOS

En este apartado se especifican las características de los equipos y sistemas que presenta la vivienda en estudio de acuerdo con lo señalado en las especificaciones técnicas.

Dichos datos se utilizan tanto para la vivienda modelo, como para las modificaciones de eficiencia, ya que estas no presentan modificaciones en este aspecto.

6.2.1.1. SISTEMA DE CALEFACCIÓN

El proyecto no contempla un sistema de calefacción principal para la vivienda, por lo tanto, para el caso estudiado, se considera una solución común entre los hogares que no cuentan con calefacción centralizada, el cual es una estufa a gas licuado. Este sistema se considera un “equipo localizado sin evacuación de gases al exterior” su sistema de distribución se considera “unitario autocontenido” y su sistema de control es manual.

6.2.1.2. SISTEMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA

La vivienda presenta un sistema de ACS generado por un calefón de 7 litros de tiro forzado, el cual es alimentado mediante gas licuado. Su red de distribución es mediante cañerías con aislación y no posee un estanque de almacenamiento de ACS.

6.2.1.3. SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y VENTILADORES

El sistema de iluminación se determina por valores por defecto de la herramienta CEV determinados por los datos ingresados en la PBDT 1, por lo que no se ingresan datos en este apartado. Con respecto a los ventiladores, la vivienda estudiada no presenta ventiladores dentro de sus especificaciones, por lo que la potencia de estos se ingresa igual a 0.

6.2.1.4. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE ENERGÍAS

La vivienda evaluada no presenta sistemas de captación de energías alternativas, es decir, no cuenta con colectores solares térmicos para el ACS ni colectores solares fotovoltaicos para el consumo de energía, por lo que se debe indicar esto en la planilla.

6.2.2. RESULTADOS ANÁLISIS CEV

Luego de finalizar el ingreso de datos en las planillas PBDT, el sistema CEV entrega diversos resultados en base al análisis de temperatura interior de la vivienda en los distintos casos, lo que permite conocer el consumo y la demanda de energía, junto con la nota de calificación energética y varios otros indicadores relevantes. Se detallan los resultados para cada modelo de vivienda evaluada.

6.2.2.1. VIVIENDA MODELO

Los resultados del procesamiento de datos de la vivienda modelo, evaluada en primera instancia, presentes en la pestaña “Resumen” de la PBDT 3, indican que el consumo energético de la vivienda es determinado por la Tabla 6.28.

Tabla 6.28*Consumos de energía vivienda modelo.*

Consumos de energía	Consumo energético anual [kWh-año]	Consumo energético anual por metro cuadrado [kWh/m ² -año]
Consumo de energía primaria en calefacción	19.950,57	257,59
Consumo de energía primaria en agua caliente sanitaria	3.434,48	44,34
Consumo de energía primaria en iluminación	355,82	4,59

Resumen de consumos finales de referencia y objeto		
Consumo total de energía primaria	23.740,86	306,53
Consumo de energía de referencia	26.443,09	341,42

Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda modelo

Con respecto a la demanda de energía, en lo que se refiere a la demanda de calefacción para suplir las horas bajo el rango de confort térmico [HD-] y la demanda de enfriamiento para suplir las horas sobre el rango de confort térmico [HD+], la herramienta entrega la demanda calefacción en la Tabla 6.29, horas fuera del rango de confort en la Tabla 6.30 y el porcentaje de ahorro energético, con su respectiva nota de calificación en la Tabla 6.31.

Tabla 6.29*Demanda de calefacción y refrigeración vivienda modelo.*

Caso	Demanda Calefacción [kWh-año]	Demanda Refrigeración [kWh-año]	Demanda Calefacción [kWh/m ² -año]	Demanda Refrigeración [kWh/m ² -año]
Caso Base Oficial	9.407,6	- 1.144,9	121,5	- 14,8
Caso Propuesto	8.161,6	- 185,8	105,4	- 2,4

Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda modelo

Tabla 6.30

Horas fuera del rango de confort vivienda modelo.

Caso (con un máximo de 24hrs x 12 meses) Total = 288hrs	Horas Disconfort frio HD (-)	Horas Disconfort calor HD (+)	Tiempo en Disconfort del total HD (-)	Tiempo en Disconfort del total HD (+)
Caso Base	126,0	44,5	44%	15%
Caso Propuesto	134,0	12,0	47%	4%

Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda modelo

Tabla 6.31

Porcentaje de ahorro vivienda modelo

Caso	% ahorro Demanda Calefacción	% ahorro Demanda Refrigeración	Demanda Total [kWh/m2-año]	% Ahorro Total [kWh/m2-año]	Letra
Caso Base Oficial	no aplica	no aplica	136,25	21%	D
Caso Propuesto	13%	84%	107,8		

Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda modelo

Adicionalmente, se pueden observar resultados con respecto a las posibles rotaciones de la vivienda y como varían sus indicadores dependiendo de su orientación, tanto en la demanda energética expuesta en la Tabla 6.32 y las horas de fuera del rango de confort térmico en la Tabla 6.33.

Tabla 6.32*Demanda energética según orientación vivienda modelo*

	Caso	Total [año]
Demanda Calefacción [kWh]	Caso Propuesto Con Clima	8.161,6
	Caso Base 0° Con Clima	9.445,0
	Caso Base 90° Con Clima	9.368,4
	Caso Base 180° Con Clima	9.345,5
	Caso Base 270° Con Clima	9.471,3
Demanda Refrigeración [kWh]	Caso Propuesto Con Clima	- 185,8
	Caso Base 0° Con Clima	- 1.115,1
	Caso Base 90° Con Clima	- 1.165,4
	Caso Base 180° Con Clima	- 1.242,3
	Caso Base 270° Con Clima	- 1.057,0

*Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda modelo***Tabla 6.33***Horas fuera del rango de confort según orientación vivienda modelo*

	Caso	Total [año]
HD (-) [hrs]	Caso Propuesto Sin Clima	134,0
	Caso Base 0° Sin Clima	124,0
	Caso Base 90° Sin Clima	123,0
	Caso Base 180° Sin Clima	132,0
	Caso Base 270° Sin Clima	125,0
HD (+) [hrs]	Caso Propuesto Sin Clima	12,0
	Caso Base 0° Sin Clima	56,0
	Caso Base 90° Sin Clima	58,0
	Caso Base 180° Sin Clima	9,0
	Caso Base 270° Sin Clima	55,0

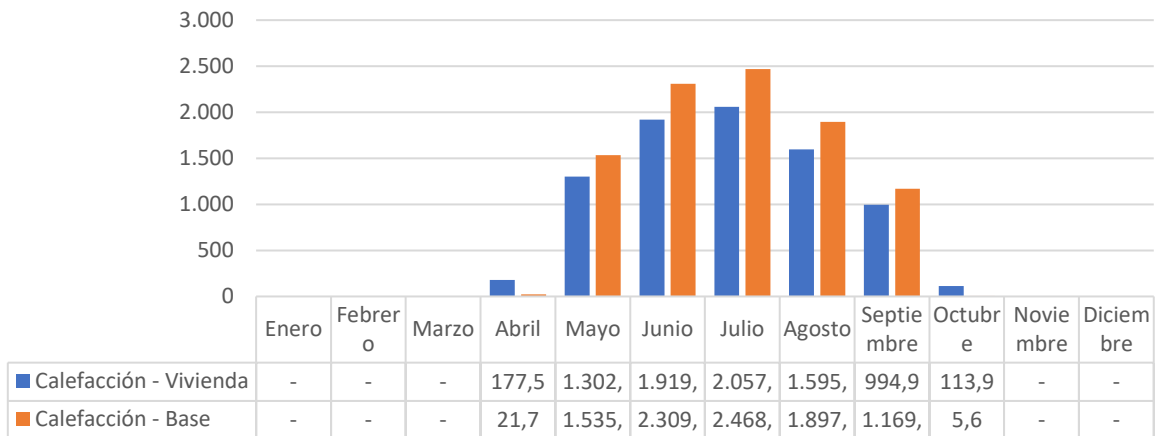
Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda modelo

La herramienta CEV, también entrega gráficos que permiten visualizar el comportamiento térmico de la vivienda en distintos aspectos. El Gráfico 6.1 muestra la demanda de calefacción en [kWh] por mes, el Gráfico 6.2 muestra la demanda de

enfriamiento en [kWh] por mes y el Gráfico 6.3 muestra el flujo energético acumulado de un mes característico por elemento de la envolvente.

Gráfico 6.1

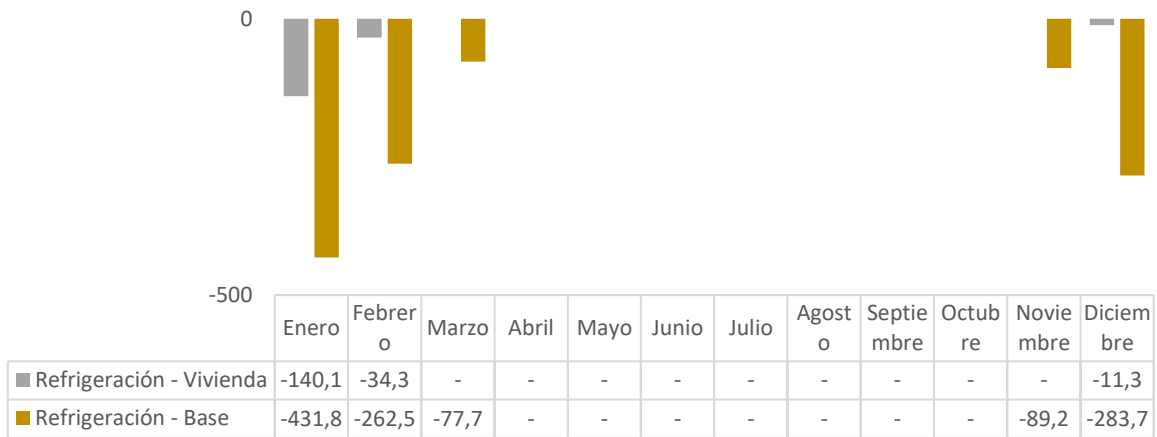
Demanda de calefacción por mes vivienda modelo



Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda modelo

Gráfico 6.2

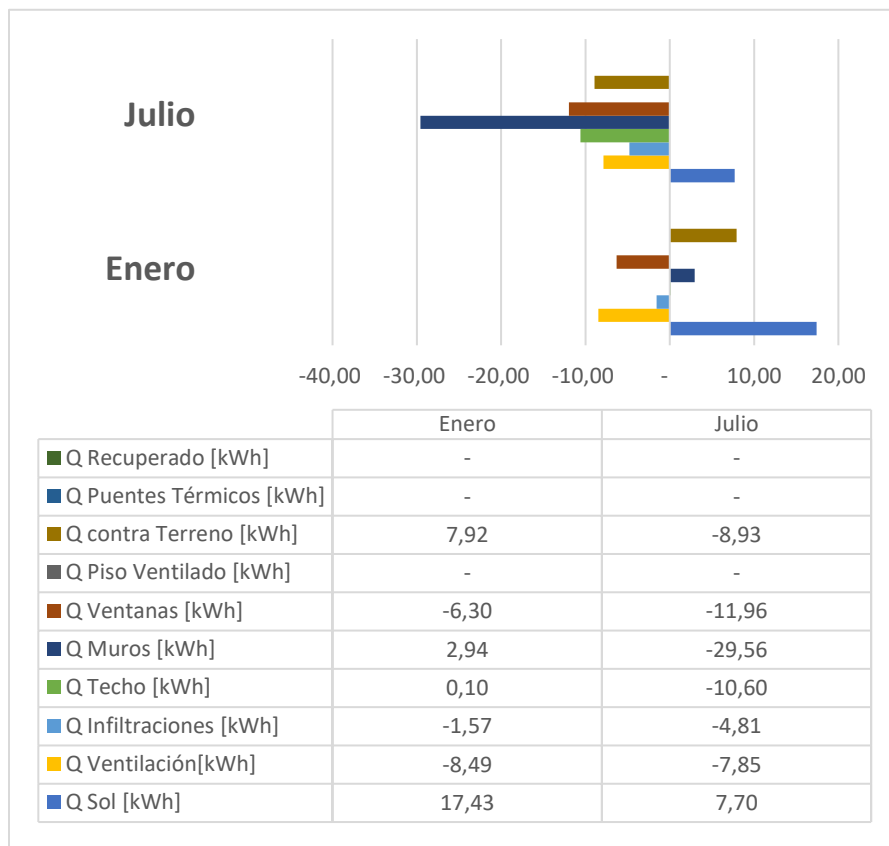
Demanda de enfriamiento por mes vivienda modelo



Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda modelo

Gráfico 6.3

Flujo energético acumulado por mes característico vivienda modelo



Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda modelo

Existen también otros gráficos que entrega la herramienta, adjuntos en el **Anexo G**, los cuales corresponden al flujo energético de una vivienda en enero y julio, así como la temperatura interior sin climatización en enero, abril, julio y octubre.

6.2.2.2. VIVIENDA CON REVESTIMIENTO EXTERIOR EIFS

Los resultados del procesamiento de datos de la vivienda con revestimiento exterior EIFS presentes en la pestaña “Resumen” de la PBDT 3, indican que el consumo energético de la vivienda corresponde a lo indicado en la Tabla 6.34.

Tabla 6.34

Consumos de energía vivienda con EIFS

Consumos de energía	Consumo energético anual [kWh-año]	Consumo energético anual por metro cuadrado [kWh/m² -año]
Consumo de energía primaria en calefacción	14.907,84	192,48
Consumo de energía primaria en agua caliente sanitaria	3.091,03	39,91
Consumo de energía primaria en iluminación	355,82	4,59

Resumen de consumos finales de referencia y objeto		
Consumo total de energía primaria	18.354,69	236,99
Consumo de energía de referencia	29.367,16	379,18

Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con EIFS

Los resultados de la demanda de calefacción y la demanda de enfriamiento se muestran en la Tabla 6.35, las horas fuera del rango de confort se muestran en la Tabla 6.36, mientras que el porcentaje de ahorro y la nota de calificación energética de la vivienda se muestra en la Tabla 6.37.

Tabla 6.35*Demanda de calefacción y refrigeración vivienda con EIFS.*

Caso	Demanda Calefacción [kWh-año]	Demanda Refrigeración [kWh-año]	Demanda Calefacción [kWh/m2-año]	Demanda Refrigeración [kWh/m2-año]
Caso Base Oficial	10.603,8	- 854,2	136,9	- 11,0
Caso Propuesto	6.098,7	- 7,2	78,7	- 0,1

*Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con EIFS***Tabla 6.36***Horas fuera del rango de confort vivienda con EIFS*

Caso (con un máximo de 24hrs x 12 meses) Total = 288hrs	Horas Disconfort frío HD (-)	Horas Disconfort calor HD (+)	Tiempo en Disconfort del total HD (-)	Tiempo en Disconfort del total HD (+)
Caso Base	128,5	30,5	45%	11%
Caso Propuesto	134,0	1,0	47%	0%

*Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con EIFS***Tabla 6.37***Porcentaje de ahorro vivienda con EIFS*

Caso	% ahorro Demanda Calefacción	% ahorro Demanda Refrigeración	Demanda Total [kWh/m2-año]	% Ahorro Total [kWh/m2-año]	Letra
Caso Base Oficial	no aplica	no aplica	147,94	47%	C
Caso Propuesto	42%	99%	78,8		

Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con EIFS

Los resultados con respecto a la orientación de la vivienda y como varían sus indicadores dependiendo del ángulo de rotación con respecto a la vivienda original se

expresan en la demanda energética en la Tabla 6.38 y las horas de fuera del rango de confort en la Tabla 6.39.

Tabla 6.38

Demanda energética según orientación vivienda con EIFS.

	Caso	Total [año]
Demanda Calefacción [kWh]	Caso Propuesto Con Clima	8.161,6
	Caso Base 0° Con Clima	9.445,0
	Caso Base 90° Con Clima	9.368,4
	Caso Base 180° Con Clima	9.345,5
	Caso Base 270° Con Clima	9.471,3
Demanda Refrigeración [kWh]	Caso Propuesto Con Clima	- 185,8
	Caso Base 0° Con Clima	- 1.115,1
	Caso Base 90° Con Clima	- 1.165,4
	Caso Base 180° Con Clima	- 1.242,3
	Caso Base 270° Con Clima	- 1.057,0

Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con EIFS

Tabla 6.39

Horas fuera del rango de confort según orientación vivienda con EIFS

	Caso	Total [año]
HD (-) [hrs]	Caso Propuesto Sin Clima	134,0
	Caso Base 0° Sin Clima	124,0
	Caso Base 90° Sin Clima	123,0
	Caso Base 180° Sin Clima	132,0
	Caso Base 270° Sin Clima	125,0
m HD (+) [hrs]	Caso Propuesto Sin Clima	12,0
	Caso Base 0° Sin Clima	56,0
	Caso Base 90° Sin Clima	58,0
	Caso Base 180° Sin Clima	9,0
	Caso Base 270° Sin Clima	55,0

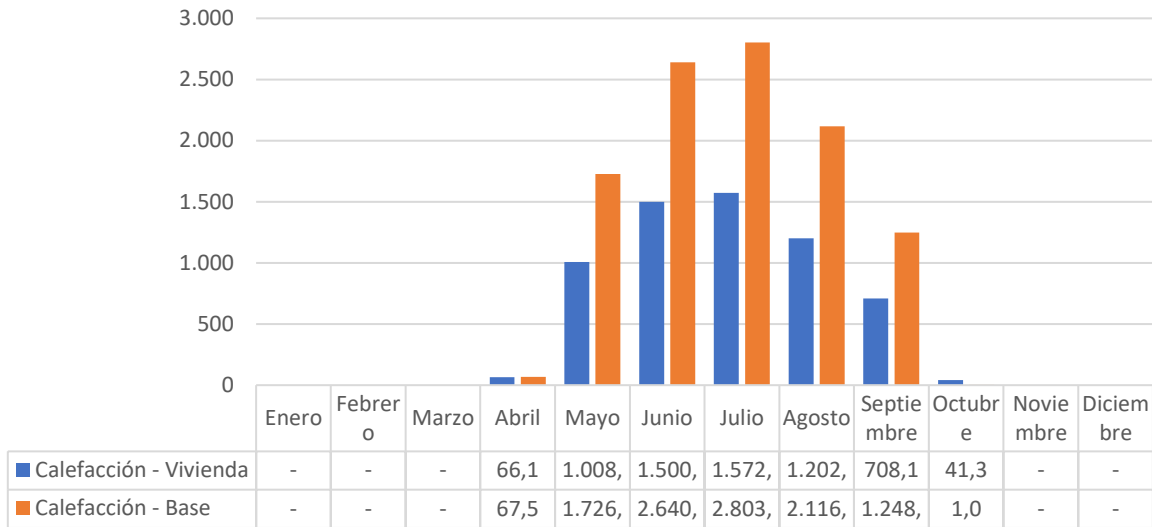
Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con EIFS

Los gráficos que permiten visualizar el comportamiento térmico de la vivienda se muestran a continuación. El Gráfico 6.4 muestra la demanda de calefacción en [kWh] por

mes. El Gráfico 6.5 muestra la demanda de enfriamiento en [kWh] por mes y el Gráfico 6.6 muestra el flujo energético acumulado de un mes característico por elemento de la envolvente.

Gráfico 6.4

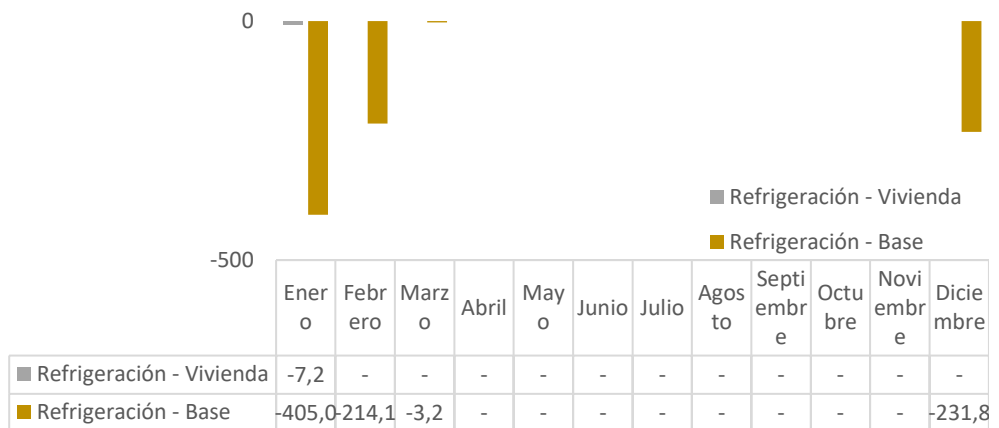
Demanda de calefacción por mes vivienda con EIFS



Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con EIFS

Gráfico 6.5

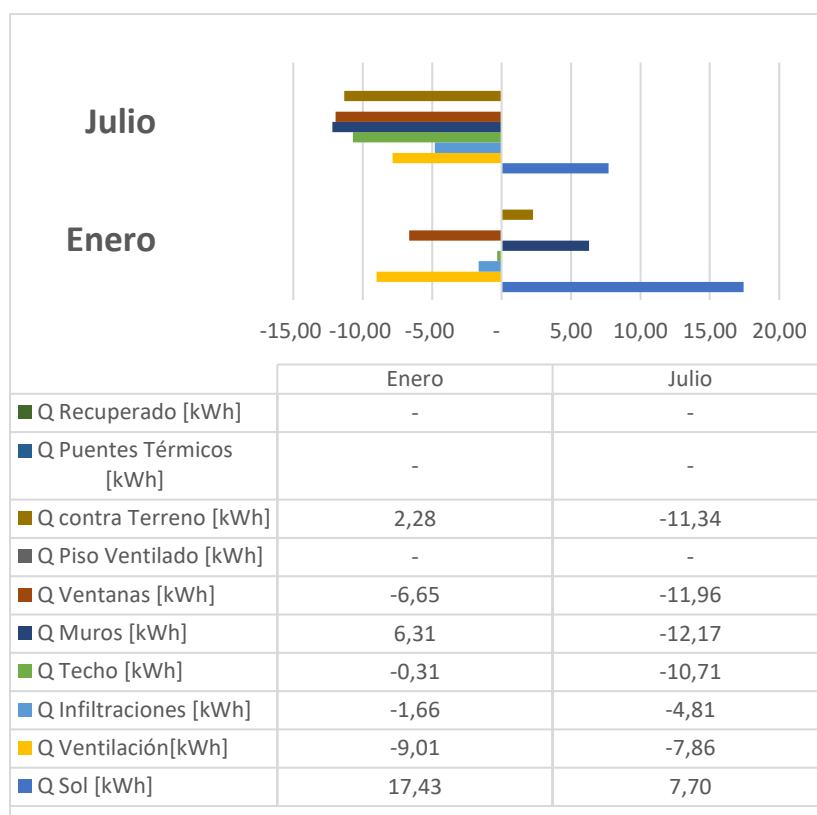
Demanda de enfriamiento por mes vivienda con EIFS



Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con EIFS

Gráfico 6.6

Flujo energético acumulado por mes característico vivienda con EIFS



Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con EIFS

Los gráficos correspondientes al flujo energético de una vivienda en enero y julio, así como la temperatura interior sin climatización en enero, abril, julio y octubre se encuentran adjuntos en el **Anexo H**.

6.2.2.3. VIVIENDA CON VENTANAS TERMOPANEL

Los resultados del procesamiento de datos de la vivienda con ventanas termopanel presentes en la pestaña “Resumen” de la PBDT 3, indica el consumo y la demanda energética. El consumo energético de la vivienda es determinado por lo señalado en la Tabla 6.40.

Tabla 6.40*Consumos de energía vivienda con ventanas termopanel*

Consumos de energía	Consumo energético anual [kWh-año]	Consumo energético anual por metro cuadrado [kWh/m ² -año]
Consumo de energía primaria en calefacción	22.650,57	292,45
Consumo de energía primaria en agua caliente sanitaria	3.091,03	39,91
Consumo de energía primaria en iluminación	375,91	4,85

Resumen de consumos finales de referencia y objeto		
Consumo total de energía primaria	337,22	337,22
Consumo de energía de referencia	26.463,18	341,68

Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con ventanas termopanel

Los resultados de la demanda de calefacción y la demanda de enfriamiento se muestran en la Tabla 6.41, las horas fuera del rango de confort se muestran en la Tabla 6.42, mientras que el porcentaje de ahorro y la nota de calificación energética de la vivienda se muestra en la Tabla 6.43.

Tabla 6.41*Demanda de calefacción y refrigeración vivienda con ventanas termopanel*

Caso	Demanda Calefacción [kWh-año]	Demanda Refrigeración [kWh-año]	Demanda Calefacción [kWh/m ² -año]	Demanda Refrigeración [kWh/m ² -año]
Caso Base Oficial	9.407,6	- 1.144,9	121,5	- 14,8
Caso Propuesto	7.412,9	- 215,7	95,7	- 2,8

Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con ventanas termopanel

Tabla 6.42*Horas fuera de rango de confort vivienda con ventanas termopanel*

Caso (con un máximo de 24hrs x 12 meses) Total = 288hrs	Horas Disconfort frio HD (-)	Horas Disconfort calor HD (+)	Tiempo en Disconfort del total HD (-)	Tiempo en Disconfort del total HD (+)
Caso Base	126,0	44,5	44%	15%
Caso Propuesto	131,0	17,0	45%	6%

*Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con ventanas termopanel***Tabla 6.43***Porcentaje de ahorro vivienda con ventanas termopanel*

Caso	% ahorro Demanda Calefacción	% ahorro Demanda Refrigeración	Demanda Total [kWh/m2-año]	% Ahorro Total [kWh/m2-año]	Letra
Caso Base Oficial	no aplica	no aplica	136,25	28%	D
Caso Propuesto	21%	81%	98,5		

Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con ventanas termopanel

Los resultados con respecto a la orientación de la vivienda y como varían sus indicadores dependiendo del ángulo de rotación con respecto a la vivienda original se expresan en la demanda energética en la Tabla 6.44 y las horas fuera del rango de confort en la Tabla 6.45.

Tabla 6.44

Demanda energética según orientación vivienda con ventanas termopanel

	Caso	Total [año]
Demanda Calefacción [kWh]	Caso Propuesto Con Clima	8.161,6
	Caso Base 0° Con Clima	9.445,0
	Caso Base 90° Con Clima	9.368,4
	Caso Base 180° Con Clima	9.345,5
	Caso Base 270° Con Clima	9.471,3
Demanda Refrigeración [kWh]	Caso Propuesto Con Clima	- 185,8
	Caso Base 0° Con Clima	- 1.115,1
	Caso Base 90° Con Clima	- 1.165,4
	Caso Base 180° Con Clima	- 1.242,3
	Caso Base 270° Con Clima	- 1.057,0

Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con ventanas termopanel

Tabla 6.45

Horas fuera del rango de confort según orientación vivienda con ventana termopanel

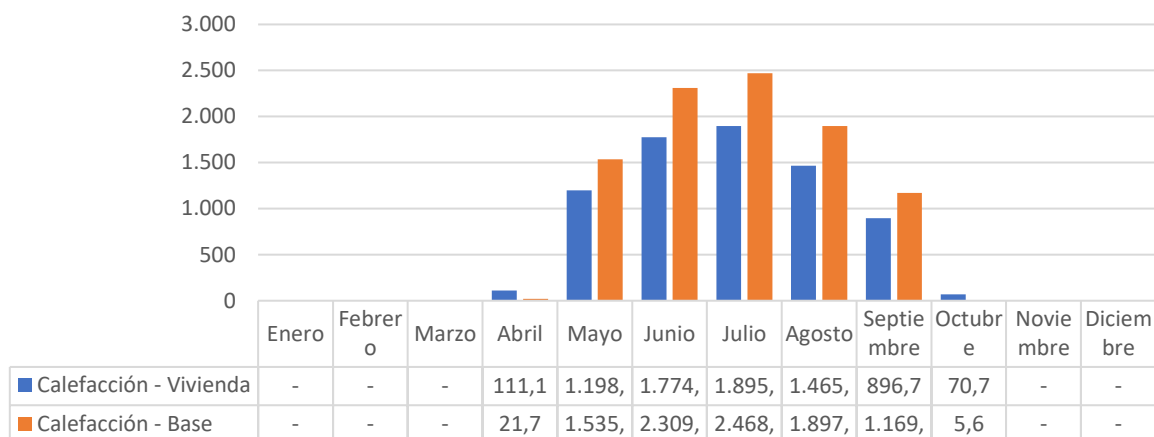
	Caso	Total [año]
HD (-) [hrs]	Caso Propuesto Sin Clima	134,0
	Caso Base 0° Sin Clima	124,0
	Caso Base 90° Sin Clima	123,0
	Caso Base 180° Sin Clima	132,0
	Caso Base 270° Sin Clima	125,0
HD (+) [hrs]	Caso Propuesto Sin Clima	12,0
	Caso Base 0° Sin Clima	56,0
	Caso Base 90° Sin Clima	58,0
	Caso Base 180° Sin Clima	9,0
	Caso Base 270° Sin Clima	55,0

Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con ventanas termopanel

Los gráficos que permiten visualizar el comportamiento térmico de la vivienda se muestran a continuación. El Gráfico 6.7 muestra la demanda de calefacción en [kWh] por mes. El Gráfico 6.8 muestra la demanda de enfriamiento en [kWh] por mes y el Gráfico 6.9 muestra el flujo energético acumulado de un mes característico por elemento de la envolvente.

Gráfico 6.7

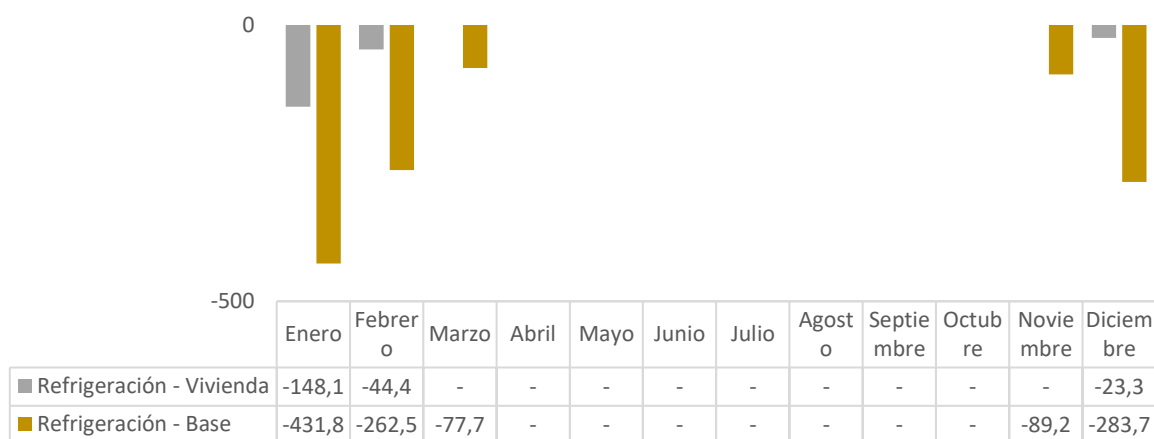
Demanda de calefacción por mes vivienda con ventanas termopanel



Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con ventanas termopanel

Gráfico 6.8

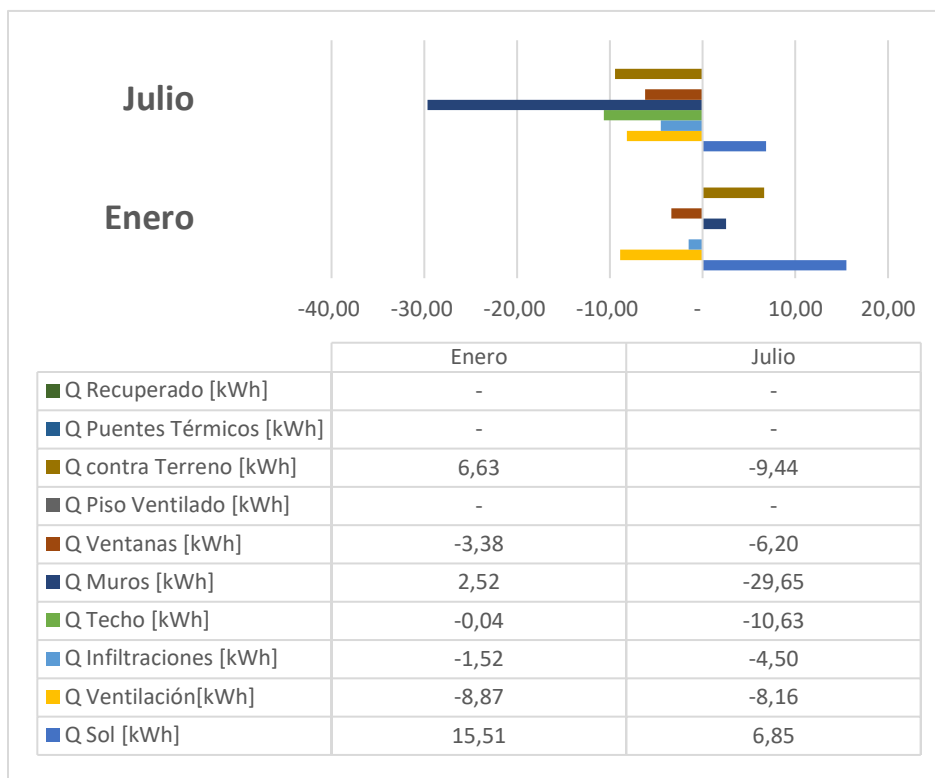
Demanda de enfriamiento por mes vivienda con ventanas termopanel



Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con ventanas termopanel

Gráfico 6.9

Flujo energético acumulado por mes característico vivienda con ventanas termopanel



Fuente: PBDT 3 Resultados Análisis CEV vivienda con ventanas termopanel

Los gráficos correspondientes al flujo energético de una vivienda en enero y julio, así como el gráfico con la temperatura interior sin climatización en enero, abril, julio y octubre se encuentran adjuntos en el **Anexo I**.

6.2.2.4. VIVIENDA CON FACHADA VENTILADA

Los resultados del procesamiento de datos de la vivienda con fachada ventilada presentes en la pestaña “Resumen” de la PBDT 3, indican que el consumo energético de la vivienda es determinado por lo señalado en la Tabla 6.46

Tabla 6.46*Consumos de energía vivienda con fachada ventilada.*

Consumos de energía	Consumo energético anual [kWh-año]	Consumo energético anual por metro cuadrado [kWh/m ² -año]
Consumo de energía primaria en calefacción	18.546,12	239,46
Consumo de energía primaria en agua caliente sanitaria	3.091,03	39,91
Consumo de energía primaria en iluminación	355,82	4,59

Resumen de consumos finales de referencia y objeto		
Consumo total de energía primaria	283,96	283,96
Consumo de energía de referencia	29.410,25	379,73

Fuente: PBDT 3 Vivienda con fachada ventilada

Los resultados de la demanda de calefacción y la demanda de enfriamiento se muestran en la Tabla 6.47, las horas fuera del rango de confort se muestran en la Tabla 6.48, mientras que el porcentaje de ahorro y la nota de calificación energética de la vivienda se muestra en la Tabla 6.49.

Tabla 6.47*Demanda de calefacción y refrigeración vivienda con fachada ventilada*

Caso	Demanda Calefacción [kWh-año]	Demanda Refrigeración [kWh-año]	Demanda Calefacción [kWh/m ² -año]	Demanda Refrigeración [kWh/m ² -año]
Caso Base Oficial	10.621,4	- 851,4	137,1	- 11,0
Caso Propuesto	6.069,6	- 6,2	78,4	- 0,1

Fuente: PBDT 3 Vivienda con fachada ventilada

Tabla 6.48*Horas fuera de rango de confort vivienda con fachada ventilada*

Caso (con un máximo de 24hrs x 12 meses) Total = 288hrs	Horas Disconfort frio HD (-)	Horas Disconfort calor HD (+)	Tiempo en Disconfort del total HD (-)	Tiempo en Disconfort del total HD (+)
Caso Base	128,5	30,5	45%	11%
Caso Propuesto	134,0	1,0	47%	0%

*Fuente: PBDT 3 Vivienda con fachada ventilada***Tabla 6.49***Porcentaje de ahorro vivienda con fachada ventilada*

Caso	% ahorro Demanda Calefacción	% ahorro Demanda Refrigeración	Demanda Total [kWh/m2-año]	% Ahorro Total [kWh/m2-año]	Letra
Caso Base Oficial	no aplica	no aplica	148,13	47%	C
Caso Propuesto	43%	99%	78,4		

Fuente: PBDT 3 Vivienda con fachada ventilada

Los resultados con respecto a la orientación de la vivienda y como varían sus indicadores dependiendo del ángulo de rotación con respecto a la vivienda original se expresan en la demanda energética en la Tabla 6.50, mientras que las horas de fuera del rango de confort se muestran en la Tabla 6.51.

Tabla 6.50*Demanda energética según orientación vivienda con fachada ventilada*

	Caso	Total [año]
Demanda Calefacción [kWh]	Caso Propuesto Con Clima	8.161,6
	Caso Base 0° Con Clima	9.445,0
	Caso Base 90° Con Clima	9.368,4
	Caso Base 180° Con Clima	9.345,5
	Caso Base 270° Con Clima	9.471,3
Demanda Refrigeración [kWh]	Caso Propuesto Con Clima	- 185,8
	Caso Base 0° Con Clima	- 1.115,1
	Caso Base 90° Con Clima	- 1.165,4
	Caso Base 180° Con Clima	- 1.242,3
	Caso Base 270° Con Clima	- 1.057,0

*Fuente: PBDT 3 Vivienda con fachada ventilada***Tabla 6.51***Horas fuera del rango de confort según orientación vivienda con fachada ventilada*

	Caso	Total [año]
HD (-) [hrs]	Caso Propuesto Sin Clima	134,0
	Caso Base 0° Sin Clima	124,0
	Caso Base 90° Sin Clima	123,0
	Caso Base 180° Sin Clima	132,0
	Caso Base 270° Sin Clima	125,0
HD (+) [hrs]	Caso Propuesto Sin Clima	12,0
	Caso Base 0° Sin Clima	56,0
	Caso Base 90° Sin Clima	58,0
	Caso Base 180° Sin Clima	9,0
	Caso Base 270° Sin Clima	55,0

Fuente: PBDT 3 Vivienda con fachada ventilada

Los gráficos que permiten visualizar el comportamiento térmico de la vivienda se muestran a continuación. El Gráfico 6.10 muestra la demanda de calefacción en [kWh] por mes. El Gráfico 6.11 muestra la demanda de enfriamiento en [kWh] por mes y el Gráfico 6.12 muestra el flujo energético acumulado de un mes característico por elemento de la envolvente.

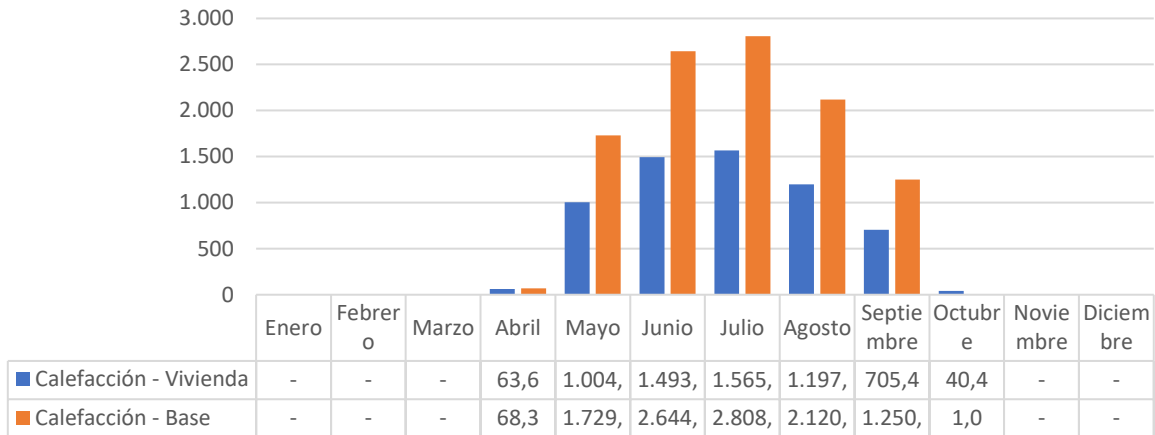
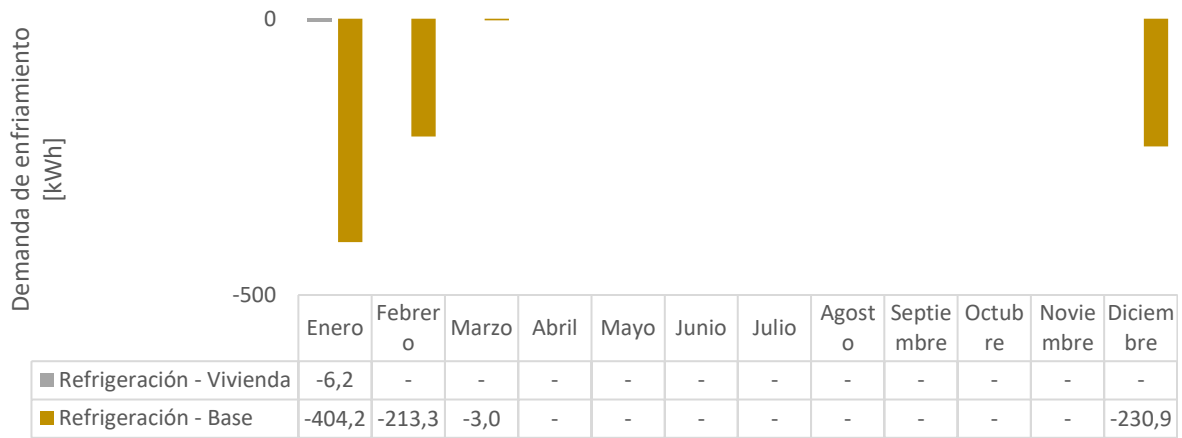
Gráfico 6.10*Demanda de calefacción por mes vivienda con fachada ventilada**Fuente: PBDT 3 Vivienda con fachada ventilada*

Gráfico 6.11

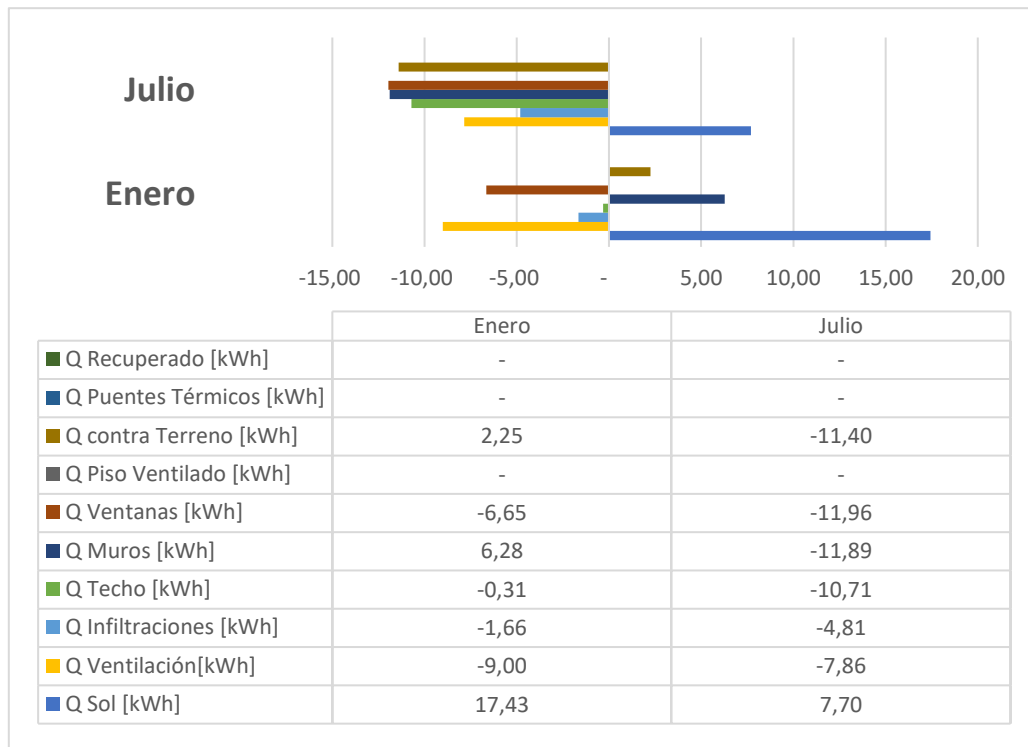
Demanda de enfriamiento por mes vivienda con fachada ventilada



Fuente: PBDT 3 Vivienda con fachada ventilada

Gráfico 6.12

Flujo energético acumulado por mes característico vivienda con fachada ventilada



Fuente: PBDT 3 Vivienda con fachada ventilada

Los gráficos correspondientes al flujo energético de una vivienda en enero y julio, así como la temperatura interior sin climatización en enero, abril, julio y octubre se encuentran adjuntos en el **Anexo J**.

6.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez finalizada la evaluación de los modelos de vivienda y obtenidos los resultados acerca de su eficiencia térmica, se procede a analizar los resultados comparativamente, considerando distintos indicadores relevantes que detallan el comportamiento de cada una de las viviendas evaluadas.

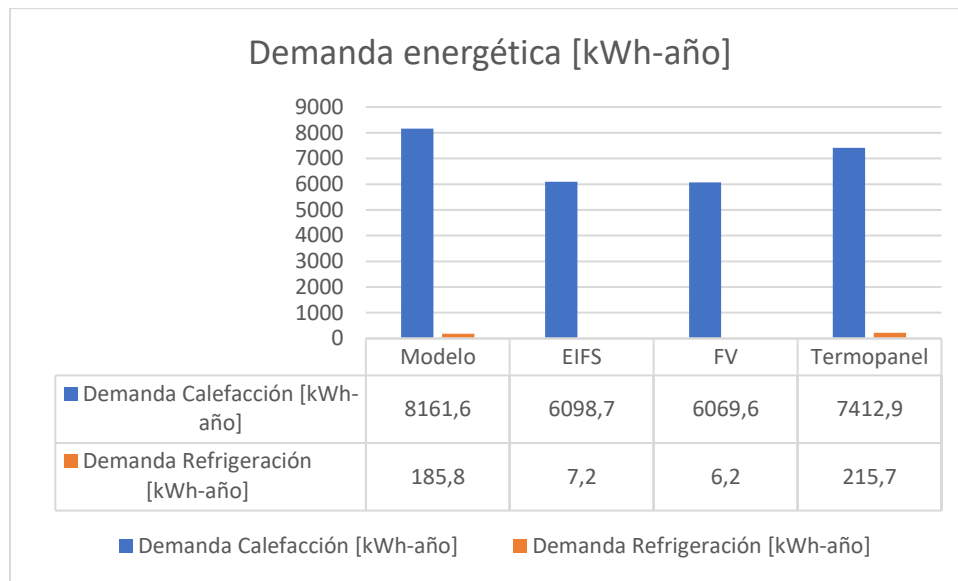
6.3.1. DEMANDA ENERGÉTICA

La demanda energética se encuentra en los resultados de cada modelo evaluado en el sistema CEV en donde se comparan los indicadores de la vivienda base, con los valores de los modelos propuestos. Se observa en el Gráfico 6.13 que la demanda de calefacción de la vivienda con ventanas termopanel es 748,7 [kWh-año] menor a la demanda de la vivienda modelo, no llegando a ser una mejora significativa. En la misma línea, la demanda de calefacción del EIFS y la fachada ventilada presentan buenos resultados, con 2062,9 [kWh-año] y 2092[kWh-año] de ahorro respectivamente.

Con respecto a la demanda de refrigeración, se observa que en general, la vivienda de referencia no cuenta con grandes requisitos de refrigeración y que este requerimiento se concentra en entre diciembre y febrero, situación muy similar a lo que ocurre en la vivienda con ventanas termopanel. Se evidencia que las soluciones que se enfocaron en los muros disminuyen casi completamente la demanda de enfriamiento.

Gráfico 6.13

Comparación de demandas energéticas entre viviendas



Fuente: Elaboración propia

Al comparar las demandas energéticas de cada una de las viviendas con respecto a la vivienda base, se observa que todos presentan indicadores favorables en este aspecto, aunque se puede visualizar fácilmente que las viviendas con EIFS y fachada ventilada presentan los mejores resultados con respecto a la demanda energética, ambas con una disminución de más de 2000[kWh-año] con respecto a la vivienda modelo.

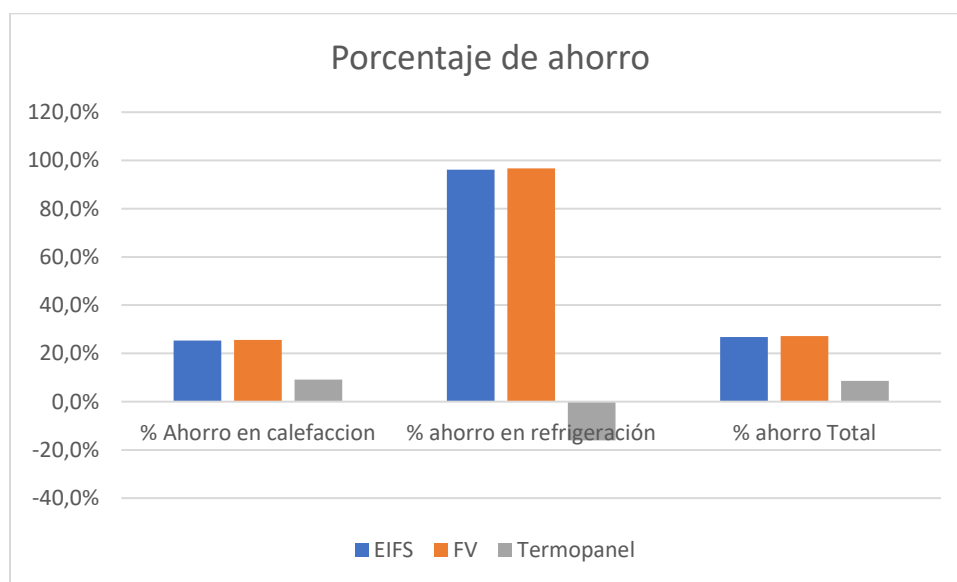
6.3.1. PORCENTAJE DE AHORRO ENERGÉTICO

En los resultados del sistema CEV, los porcentajes de ahorro de los modelos evaluados se referían a la comparación con la vivienda de referencia incorporada en el sistema, sin embargo, para los fines de este estudio es necesario conocer el porcentaje de ahorro de las soluciones constructivas en su demanda energética con respecto a la vivienda modelo.

Se observa en el Gráfico 6.14 que tanto el revestimiento exterior EIFS y la fachada ventilada presentan resultados muy similares, casi idénticos, lo que se puede explicar que el valor U de transmitancia entre estos es muy similar, y, al no contar con alguna otra modificación, los resultados generales tienden a parecerse. Dichos resultados muestran un ahorro energético de un 26,9% para la vivienda con EIFS y un 27,2% para la vivienda con fachada ventilada. Lo que les permite tener a ambas viviendas una nota de calificación C.

Gráfico 6.14

Porcentaje de ahorro de viviendas propuestas con respecto a la vivienda modelo



Fuente: Elaboración propia

En el caso de las ventanas, el porcentaje negativo en el ahorro de refrigeración demuestra que, al instalar ventanas termopanel, aumenta la demanda de refrigeración. Esto se puede explicar en base a los gráficos de flujo energético, que muestran que en enero es necesaria una alta ventilación y las ventanas termopanel, al tener un valor de transmitancia térmica más bajo, impiden el intercambio de energía, lo que aumentaría la demanda de refrigeración en estos periodos.

Sin embargo, el ahorro energético de la vivienda con ventanas termopanel es notorio, pero no es lo suficientemente alto para modificar la nota D obtenida por la vivienda modelo, entregando solo un 8,6% de ahorro adicional con respecto a esta..

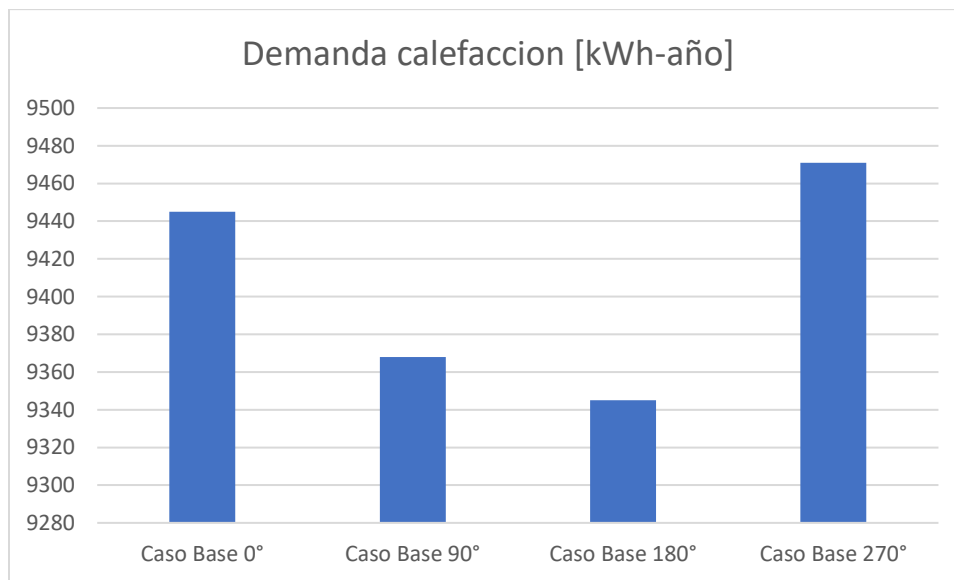
6.3.2. ORIENTACIÓN DE LA VIVIENDA

Para analizar como repercute la orientación de la vivienda en su desempeño térmico, solo se analizará la vivienda modelo y sus resultados, esto debido a que, al observar las tablas de orientación de todos los modelos, se puede apreciar que si bien, no contemplan los mismos valores, varían de la misma forma si se cambia su orientación.

Se observa en el Gráfico 6.15 que el valor en el que varía la demanda de calefacción dependiendo de su orientación no es muy significativo, por lo que se grafica desde un valor alto en el eje Y. Sin embargo, estos valores no son despreciables, ya que se observa que una vivienda girada en 180° puede ahorrar 100 [kWh-año], mientras que una vivienda girada en 270° puede gastar 26 [kWh-año] de energía adicional.

Gráfico 6.15

Demanda de calefacción según orientación



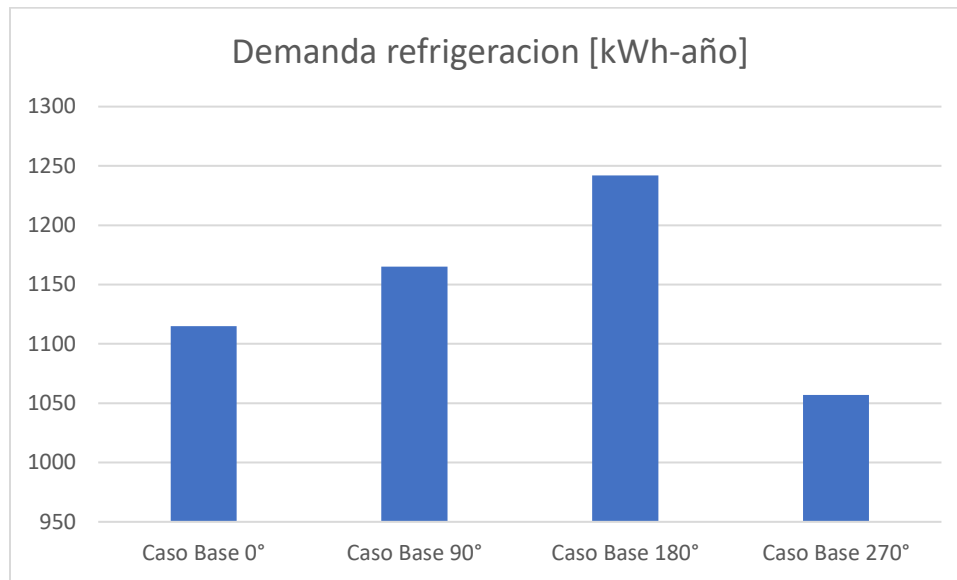
Fuente: Elaboración propia

En el caso de la demanda de refrigeración, Según el Gráfico 6.16, una vivienda girada en 180° puede llegar a gastar 127 [kWh-año], mientras que una vivienda girada 270° puede

ahorrar alrededor de 58 [kWh-año]. Por lo que un giro de 180° produce las mayores variaciones, pero se contrarrestan, ya que si bien puede ahorrar 100[kWh-año] en calefacción, gasta 127 [kWh-año] más en refrigeración.

Gráfico 6.16

Demanda de refrigeración según orientación de vivienda base



Fuente: Elaboración propia

Se determina, por lo tanto, que existen diversas modificaciones en la orientación que puede mejorar el comportamiento térmico de la vivienda, pero que en este caso la mejora no es significativa, y considerando la logística necesaria para cambiar la orientación de las viviendas en el proyecto, es recomendable no modificar este aspecto.

6.3.3. FLUJOS ENERGÉTICOS DE LA ENVOLVENTE

Al analizar los flujos energéticos de la vivienda modelo en el Gráfico 6.3, se puede afirmar que una gran fuga de energía viene por parte de los muros, lo que explica por qué las soluciones que se enfocaron en mejorar la transmitancia térmica de estos presentan tan buenos resultados.

Se aprecia que en Julio, mes representativo del invierno, los flujos energéticos son en su mayoría negativos, lo que implica que, para disminuir la demanda de calefacción en estos periodos, es importante disminuir la pérdida de energía de la vivienda a través de la envolvente. En enero, al ser el mes más caluroso, la mayor cantidad de la energía proviene del sol, por lo que una buena ventilación es determinante para disminuir la demanda de refrigeración.

Se observa que, tanto en la solución de ventanas y muros, el flujo del elemento que se modificó varía considerablemente, por lo que se aprecia el impacto de la mejora en el flujo energético. Además de esto, en el caso de las soluciones de muros (Gráfico 6.6 y Gráfico 6.12) se observa que el flujo energético de estos disminuye y se asimila a las pérdidas por el contacto con el terreno y la techumbre, lo que entrega directrices acerca de cómo seguir mejorando el desempeño energético de la vivienda en estos casos.

7. DISCUSIÓN

En este capítulo se discute acerca de los resultados obtenidos en el análisis de factibilidad para el diseño de una vivienda evaluada mediante el sistema de calificación energética de viviendas, detallando las conclusiones con respecto a temas específicos abordados durante todo el desarrollo de esta memoria, así como las conclusiones generales con respecto a los objetivos planteados.

ACERCA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS

Se puede concluir que la Calificación Energética de Viviendas es un sistema de evaluación de viviendas que detalla, mediante una extensa y completa guía de uso, una gran cantidad de información con respecto al comportamiento térmico de una vivienda, así como información relevante para plantear posibles mejoras constructivas para aumentar la eficiencia energética.

Se plantea que el estudio de esta herramienta debiera ser potenciado de diversas formas, ya sea desde la academia o desde programas públicos de desarrollo profesional. La razón de esto es debido a dos factores; el primero consiste en la alta funcionalidad de la herramienta, la cual entrega diversas directrices para mejorar el comportamiento de la vivienda y que no necesariamente implican un costo extra. El segundo factor corresponde a la pronta obligatoriedad del uso de esta herramienta a nivel nacional a partir del 2023, lo que hace indispensable su promoción.

Esta herramienta, sin embargo, no está exenta de limitaciones que restringen su uso o afectan los resultados obtenidos. Factores como el hecho de que no se pueda especificar un rango de infiltraciones, o que no cuente con métodos de determinación en terreno de las características de la envolvente, generan que los resultados no sean del todo precisos. En resumen, la CEV y sus resultados entregan proyecciones cercanas a los posibles valores

reales, lo que sirve como una referencia muy cercana, pero no perfecta, del comportamiento térmico de la vivienda.

Si fuera posible proyectar posibles mejoras a la herramienta CEV, se recomienda abordar dos ámbitos fundamentales. En primer lugar, se señala que la herramienta permite incorporar energías renovables dentro de sus elementos, como paneles fotovoltaicos. Sin embargo, el aporte que estos elementos hacen en el consumo, no se traduce en una mejor nota de calificación, por lo que la primera recomendación es poder incorporar estos elementos para que modifiquen el porcentaje de ahorro energético, y de esta manera incentivar su uso.

Como recomendación final, se plantea presentar un método de evaluación de las características térmicas en terreno, para poder obtener resultados más precisos, y en la misma línea, formar un índice nacional con todas las posibles mejoras disponibles, para poder proyectar de ante mano la mejor solución y de esta forma, contribuir de manera colectiva al desarrollo de tecnologías que promuevan la eficiencia térmica de las viviendas

ACERCA DE LA EFICIENCIA TÉRMICA EN VIVIENDAS

El estudio realizado se enfoca principalmente en determinar distintas características térmicas de las viviendas y determinar mediante comparación cuál de estas es la óptima. De esta forma, fue posible indagar acerca de los elementos que intervienen en la eficiencia térmica de una vivienda y sus características.

Se observa que las soluciones propuestas presentan un buen desempeño, tanto en aspectos térmicos, como técnicos y económicos, por lo que son alternativas idóneas para mejorar una vivienda. No obstante, existen muchas otras modificaciones que pueden contribuir en aumentar la eficiencia térmica de una vivienda, por lo que siempre se deben buscar e idear nuevas alternativas de ahorro energético y evaluar su pertinencia en cada caso.

Mediante los resultados, es posible observar que diversos elementos de la envolvente además de los muros y las ventanas presentan un alto flujo de energía, lo que entrega

información acerca de diversas alternativas que se pueden emplear para aumentar la eficiencia. En este escenario, modificaciones relativas a los pisos, a la techumbre o al control de puentes térmicos resultan ser eficaces en mejorar el comportamiento térmico de una vivienda.

Se puede observar también, que el comportamiento térmico de la vivienda varía entre climas y temperatura, por lo que evaluar la eficiencia térmica de una vivienda en un sector con bajas temperaturas puede presentar grandes diferencias con la misma vivienda en zonas de altas temperaturas. Esto se debe a que a baja temperatura exterior es necesario priorizar la disminución de la pérdida de energía por medio de la envolvente, mientras que, para altas temperaturas exteriores, se debe priorizar la ventilación de la vivienda y la disminución en la entrada de energía por medio del sol y el contacto con el terreno.

Con todo esto, se hace evidente que el estudio de la eficiencia térmica en viviendas debe ser una directriz relevante al estudiar proyectos habitacionales de distinta índole, ya que este factor es determinante en el bienestar de los ocupantes de la vivienda, así como un factor relevante en el ahorro de energía.

ACERCA DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PROPUESTAS

Luego de finalizado el estudio, se pueden determinar diversas características de las soluciones constructivas propuestas. Para entender mejor su comparación, se resumen toda la información recopilada en la Tabla 7.1, mostrando la complejidad de la implementación de dicha solución, su ahorro energético con respecto a la vivienda modelo, y su impacto en el presupuesto.

Tabla 7.1

Resumen indicadores relevantes modelos de vivienda propuestos

CASO	COMPLEJIDAD	% AHORRO	AUMENTO CD
EIFS	media	27%	\$ 948.058
Ventanas termopanel	baja	9%	\$ 596.150
Fachada ventilada	alta	27%	\$ 2.828.120

Fuente: Elaboración propia

Se puede determinar cuál es la mejor solución en base a diversos criterios. En este caso, la variable más relevante es el porcentaje de ahorro debido a que es la temática central de este estudio, seguido por el costo asociado a su realización y luego la complejidad que esta presenta.

En este escenario se determina a simple vista que la mejor opción de entre las propuestas es la vivienda con revestimiento exterior EIFS con un ahorro de 2246 [kWh-año], lo que equivale, por ejemplo, al consumo eléctrico de aproximadamente 4 refrigeradores en un año. En el caso de la fachada ventilada, se observa que se llega a un porcentaje de ahorro casi idéntico, pero su complejidad y el alto aumento en los costos no la convierte en la opción ideal. En el caso de las ventanas termopanel, si bien su complejidad y costos son bajos, el porcentaje de ahorro no es lo suficientemente significativo para modificar la nota en la CEV.

Es necesario señalar que cada solución constructiva presenta características particulares que se aplican a este estudio, y que en diversos proyectos pueden variar dependiendo de las necesidades. Aspectos como la separación entre vidrios en las ventanas termopanel, o el espesor del aislante en las soluciones de muro pueden hacer variar estos resultados e invertir las posibles soluciones óptimas. De la misma forma, la zona climática y la ubicación del proyecto también son particulares de este caso y en caso de modificar este aspecto, es posible que los resultados sean distintos, por lo que es necesario evaluar estas variables al extrapolar estos resultados.

CONCLUSIÓN GENERAL

El análisis de factibilidad para el diseño de una vivienda con un alto desempeño energético basado en el sistema de calificación energética de viviendas, entrega diversos resultados que permiten identificar si se cumplieron los objetivos planteados al principio del estudio, en base a lo presentado en el caso estudio, el método, los resultados y su análisis.

Se determina que las soluciones constructivas propuestas para mejorar la eficiencia que corresponden al revestimiento exterior EIFS, ventanas termopanel y fachada ventilada son soluciones idóneas al contexto en el cual se plantea este estudio, en cuanto a ahorro, costo y factibilidad, aunque no son las únicas alternativas y es necesario investigar acerca de más y mejores soluciones para futuros proyectos, con el fin de disminuir progresivamente el consumo energético en el sector habitacional.

Con respecto a la evaluación térmica mediante la herramienta CEV, se determina que fue posible evaluar todos los modelos de vivienda para poder compararlos, y que en el proceso de comprender el sistema CEV para poder aplicarlo, fue necesario explorar nuevos conocimientos acerca del comportamiento térmico de diversos elementos, así como variables como el consumo energético y la demanda de energía, lo que resulta enriquecedor no solo para fines de este estudio, sino también para la comprensión de las implicancias que conlleva el uso de elementos de eficiencia energética.

Con respecto a la evaluación, fue posible encontrar el modelo óptimo según los criterios establecidos, el cual corresponde a la vivienda con el revestimiento exterior EIFS. Esta solución equilibra de mejor manera aspectos de eficiencia térmica, técnicos y económicos. Sin embargo, este estudio es solo aplicable a este caso en particular ya que existen diversas variables que, al no mantenerse constantes, pueden modificar los resultados, por lo que hay que observar dichos resultados considerando las limitaciones existentes.

En líneas generales, fue posible analizar el desempeño energético de distintas propuestas constructivas con un alto desempeño energético, propuestos mediante el estudio de un proyecto inmobiliario en la región de Valparaíso para la empresa GyO, los cuales

fueron evaluados mediante el sistema de Calificación Energética de Viviendas, obteniendo sus respectivas notas de calificación y la solución óptima entre las alternativas existentes.

Para finalizar, se insta a personalidades del sector de la construcción, tanto jurídicas como naturales, a tomarse en serio la problemática energética que aqueja al planeta y en la cual, la construcción tiene un papel fundamental que cumplir. Estrategias gubernamentales apuntan en esa dirección, pero sin el compromiso de los trabajadores y profesionales de la construcción es imposible lograr un avance significativo. Se hace imperativo atender variables como la sustentabilidad y el desarrollo al mismo nivel que las utilidades. Solo de esta forma se podrá avanzar en dirección a ser una sociedad consciente y responsable con el medio ambiente.

8. REFERENCIAS

- Acevedo, M. (2021). *Análisis y evaluación de un proyecto inmobiliario con eficiencia energética en la quinta región para la empresa GyO*. Valparaíso.
- Araneda, P., & Gonzalez, M. T. (2017). *Construcción de indicadores estratégicos y desarrollo de metodología de medición y reporte, para el seguimiento del impacto del programa Construye 2025 en el sector construcción*.
- Cámara Chilena de la Construcción. (2020). *Informe MACH 55 Macroeconomía y construcción*.
- Centro de investigación en tecnologías de la construcción UBB. (2014). *passivhaus chile*. Obtenido de [passivhaus-chile.cl](http://passivhaus-chile.cl/#Certificacion): <http://passivhaus-chile.cl/#Certificacion>
- Comision nacional de energías. (2019). *Precio medio de mercado sistema electrico nacional*.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2018). *Informe final de usos de la energía de los hogares en Chile*.
- EEChile. (31 de Julio de 2017). *EEChile.cl*. Obtenido de <https://www.eechile.cl/certificacion-leed/>
- Enerdata. (2020). *Global Statistical Yearbook*.
- Flández, M. (2017). *Análisis costo-beneficio al implementar mejoras constructivas térmicas para lograr una mayor calificación energética*. Santiago.
- Fondo Monetario Internacional. (2020). *Perspectivas de la economía mundial*.
- Instituto Nacional de Normalización. (2007). *NCh 853. Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*. Santiago.
- Instituto Nacional de Normalización. (2008). *NCh 3117 Comportamiento térmico de edificios - Transmisión de calor por el terreno - Métodos de cálculo*. Santiago: INN.
- Intergovernmental panel on climate change. (2014). *Mitigación del cambio climático*. Suiza.

- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2017). *Encuesta de caracterización socioeconómica nacional*.
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2020). *Encuesta de caracterización socioeconómica nacional en pandemia CASEN*.
- Ministerio de Energía. (2016). *Energía 2050 - Política Energética de Chile*. Santiago.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2007). *Artículo 4.1.10 Manual de aplicación reglamentación térmica*. Santiago: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2019). *Vol. 2 Manual de procedimientos calificación energética de viviendas en Chile*. Santiago: División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional - Ditec, Minvu.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2021). *Calificación energética de viviendas*. Obtenido de [calificacionenergeticadeviviendas.cl](https://www.calificacionenergetica.cl/): <https://www.calificacionenergetica.cl/que-evalua-la-calificacion-energetica-de-viviendas/>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2021). *Manual de aplicación de vivienda sustentable*. Santiago, Chile: División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional - Ditec, Minvu. Obtenido de [cvschile.cl](https://www.cvschile.cl/).

9. ANEXOS

Anexo A: Análisis de precios unitarios Revestimiento Exterior EIFS.

APU REVESTIMIENTO EXTERIOR EIFS					
		Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
Trazado (A)		MI	43	\$ 877	\$ 37.696
Materiales					\$ 85
	Lienza para trazado	Rollo	0,01	\$ 7.690	\$ 77
	Tiza para trazado	Unid.	0,0044	\$ 1.080	\$ 5
	Clavos 1 1/2"	Bolsa	0,0013	\$ 2.300	\$ 3
Mano de Obra					\$ 792
	Maestro carpintero	HD	0,02	\$ 30.000	\$ 600
	Desgaste herramientas	%	3		\$ 18
	Leyes sociales	%	29		\$ 174
Instalacion EIFS (B)		M2	91,3	\$ 12.765	\$ 1.165.445
Materiales					\$ 6.465
	Impermeabilizante red coat	Tineta	0,02	\$ 48.300	\$ 966
	Poliestireno Expandido 100x500x60 [mm]	Unid	2	\$ 1.090	\$ 2.180
	Adhesivo cementicio 25[kg]	Unid	0,2	\$ 9.400	\$ 1.880
	Malla de refuerzo muro 1,22x45,7[m]	Unid	0,02	\$ 38.500	\$ 770
	Esquinero Pvc	Unid	0,06	\$ 3.150	\$ 189
	Pintura base estandar 20[kg]	Balde	0,01	\$ 24.000	\$ 240
	Pintura grano muro 25 [kg]	Kit	0,01	\$ 24.000	\$ 240
Mano de Obra (C)					\$ 6.300
	Maestro	HD	0,1	\$ 30.000	\$ 3.000
	Ayudante	HD	0,1	\$ 25.000	\$ 2.500
	Desgaste herramientas	%	3		\$ 75
	Leyes sociales	%	29		\$ 725
Limpieza (D)		Global	1	\$ 7.260	\$ 7.260
Mano de Obra					\$ 7.260
	Jornal	HD	0,22	\$ 25.000	\$ 5.500
	Desgaste herramientas	%	3		\$ 165
	Leyes sociales	%	29		\$ 1.595
TOTAL (A+B+C+D)					\$ 1.210.400

Anexo B: Análisis de precios unitarios ventanas termopanel.

APU Ventanas Termopanel					
		Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
Ventana 1 y 2 1,97x1,65[m] (A)		Unid.	2	\$ 287.425	\$ 574.850
Materiales					\$ 254.425
	Ventana termopanel DVH 1,97x1,65[m] 6[mm] espaciador, e vidrio 4[mm]	Unid.	1	\$ 251.261	\$ 251.261
	Silicona Neutra incolora 310[ml]	Unid.	0,8	\$ 1.080	\$ 864
	Material auxiliar para instalacion ventana	Unid.	1	\$ 2.300	\$ 2.300
Mano de Obra					\$ 33.000
	Maestro cristalero	HD	0,5	\$ 30.000	\$ 15.000
	Ayudante cristalero	HD	0,5	\$20.000	\$ 10.000
	Desgaste herramientas	%	3		\$ 750
	Leyes sociales	%	29		\$ 7.250
Ventana 3 y 4 1,14x1[m] (B)		Unid.	2	\$ 98.216	\$ 196.432
Materiales					\$ 81.716
	Ventana termopanel DVH 1,14x1[m] 6[mm] espaciador, e vidrio 4[mm]	Unid.	1	\$ 78.984	\$ 78.984
	Silicona Neutra incolora 310[ml]	Unid.	0,4	\$ 1.080	\$ 432
	Material auxiliar para instalacion ventana	Unid.	1	\$ 2.300	\$ 2.300
Mano de Obra					\$ 16.500
	Maestro cristalero	HD	0,25	\$ 30.000	\$ 7.500
	Ayudante cristalero	HD	0,25	\$20.000	\$ 5.000
	Desgaste herramientas	%	3		\$ 375
	Leyes sociales	%	29		\$ 3.625
Ventana 5 y 6 0,42x1[m] (C)		Unid.	2	\$ 145.946	\$ 291.892
Materiales					\$ 129.446
	Ventana termopanel DVH 1,97x1,65[m] 6[mm] espaciador, e vidrio 4[mm]	Unid.	1	\$ 126.714	\$ 126.714
	Silicona Neutra incolora 310[ml]	Unid.	0,4	\$ 1.080	\$ 432
	Material auxiliar para instalacion ventana	Unid.	1	\$ 2.300	\$ 2.300
Mano de Obra					\$ 16.500
	Maestro cristalero	HD	0,25	\$ 30.000	\$ 7.500
	Ayudante cristalero	HD	0,25	\$20.000	\$ 5.000
	Desgaste herramientas	%	3		\$ 375
	Leyes sociales	%	29		\$ 3.625
TOTAL					\$ 1.063.174

Anexo C Análisis de precios unitarios revestimiento exterior fachada ventilada.

APU REVESTIMIENTO FACHADA VENTILADA					
		Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Precio Total
Trazado (A)		MI	43	\$ 877	\$ 37.696
Materiales					\$ 85
	Lienza para trazado	Rollo	0,01	\$ 7.690	\$ 77
	Tiza para trazado	Unid.	0,0044	\$ 1.080	\$ 5
	Clavos 1 1/2"	Bolsa	0,0013	\$ 2.300	\$ 3
Mano de Obra					\$ 792
	Maestro carpintero	HD	0,02	\$ 30.000	\$ 600
	Desgaste herramientas	%	3		\$ 18
	Leyes sociales	%	29		\$ 174
Capa aislante fachada ventilada (B)		M2	91,3	\$ 5.144	\$ 469.620
Materiales					\$ 4.826
	Impermeabilizante red coat	Tineta	0,02	\$ 48.300	\$ 966
	Poliestireno Expandido 100x500x50 [mm]	Unid.	2	\$ 990	\$ 1.980
	Adhesivo cementicio 25[kg]	Unid.	0,2	\$ 9.400	\$ 1.880
Mano de Obra					\$ 318
	Maestro	HD	0,01	\$ 30.000	\$ 300
	Desgaste herramientas	%	3		\$ 9
	Leyes sociales	%	29		\$ 9
Estructura soportante fachada ventilada ©		M2	91,3	\$ 10.162	\$ 927.745
Materiales					\$ 6.862
	Perfil C metalcon estructural 2,4[m]x0,85[m]	pieza	0,75	3450	\$ 2.588
	Escuadra de fijacion 4"	unid.	2	1090	\$ 2.180
	Tornillo autop. Cabeza hex. 1 1/2" x 12[mm]	unid.	0,1	7490	\$ 749
	Tarugo con tornillo 5[mm] 29 u.	bolsa	0,5	2690	\$ 1.345
Mano de Obra					\$ 3.300
	Maestro	HD	0,1	\$ 25.000	\$ 2.500
	Desgaste herramientas	%	3		\$ 75,0
	Leyes sociales	%	29		\$ 725,0
Revestimiento Fachada ventilada (D)		M2	91,3	\$ 18.131	\$ 1.655.401
Materiales					\$ 11.531
	Placa cementicia 1,2x2,4[m]	Unid.	0,35	\$ 18.990	\$ 6.647
	Tornillo autop. Cabeza lenteja 8[mm] x 1/2"	Unid.	0,2	\$ 2.230	\$ 446
	Cinta fibra de vidrio para juntas 50[mm]x90[mm]	Unid.	0,055	\$ 2.890	\$ 159
	Adhesivo cementicio 25[kg]	Unid.	0,2	\$ 9.400	\$ 1.880
	Pintura muro grano 25 [kg]	Kit	0,1	\$ 24.000	\$ 2.400
Mano de Obra					\$ 6.600
	Maestro	HD	0,2	\$ 25.000	\$ 5.000
	Desgaste herramientas	%	3		\$ 150,0
	Leyes sociales	%	29		\$ 1.450,0
TOTAL (A+B+C+D)					\$ 3.090.462

Anexo D: “Muro Hormigón Armado 10 [cm] espesor con placa Poligyp adherida” del listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico del MINVU.

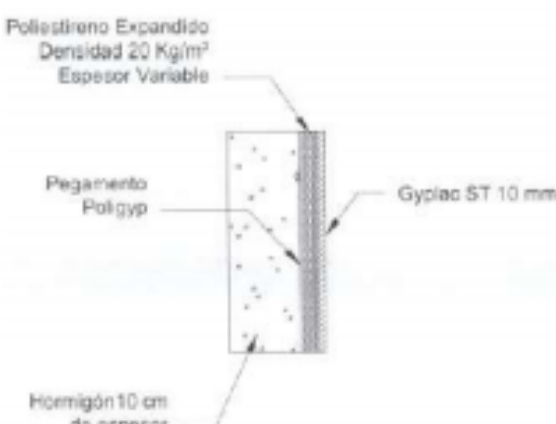
Código 1.2.M.A4.2	Muro Hormigón Armado 10 cm espesor con placa Poligyp adherida.
-----------------------------	--

A. Único valor de Resistencia (Rt) y Transmitancia (U) Térmica para la solución constructiva

RESISTENCIA TERMICA (Rt):	---- (m ² *K/ W)	TRANSMITANCIA TERMICA (U)	---- (W/m ² *K)
------------------------------	-----------------------------	------------------------------	----------------------------

B. En caso que se modifique el espesor del material aislante manteniendo el resto de la configuración constructiva:

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Rt (m ² *K/W)	0.53	0.53	0.53	0.79	0.79	1.00	1.79
U (W/m ² *K)	1.88	1.88	1.88	1.26	1.26	1.00	0.55
Espesor Aislante (mm)	10	10	10	20	20	30	60

Descripción de la Solución Constructiva			Genérico	----	Marca Comercial	X
<p>La solución está compuesta por un muro de hormigón de 10 cm de espesor, al cual se le adhiere Poligyp (no existen puentes térmicos). El Poligyp se adhiere al muro con Pegamento Poligyp. El Poligyp especial, se compone de una placa de yeso - cartón Gyplac estándar de 10 mm de espesor, la cual lleva adherida una placa de poliestireno expandido de densidad 20 Kg/m³ y espesor variable, desde 10 hasta 60 mm.</p>						
Forma de cumplir con las exigencias			Densidad material aislante	Institución		Vigencia
Certificado de ensaye	----	Cálculo (NCh 853)	X	20 kg/m ³	Soc. Industrial Romeral	NCh 853
<p>Planta:</p>  <p>Poliestireno Expandido Densidad 20 Kg/m³ Espesor Variable</p> <p>Pegamento Poligyp</p> <p>Hormigón 10 cm de espesor</p> <p>Gyplac ST 10 mm</p>				<p>Imagen (opcional)</p>		

Anexo E: “Muro Hormigón Armado 100 [mm] con revestimiento interior” del listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico del MINVU.

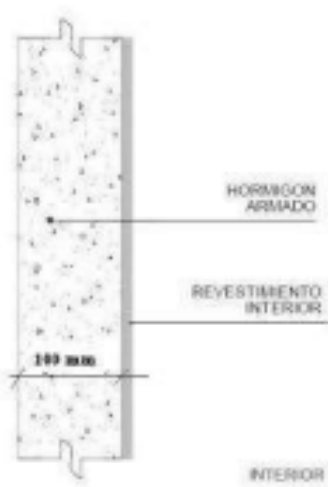
Código 1.2.G.A3	Muro de Hormigón Armado de 100 mm , con revestimiento interior
---------------------------	--

A. Único valor de Resistencia (Rt) y Transmitancia (U) Térmica para la solución constructiva

RESISTENCIA TÉRMICA (Rt):	0.27 (m ² *K/ W)	TRANSMITANCIA TÉRMICA (U)	3.74 (W/m ² *K)
------------------------------	------------------------------------	------------------------------	-----------------------------------

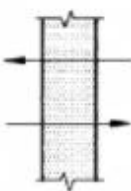
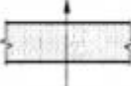

B. En caso que se modifique el espesor del material aislante manteniendo el resto de la configuración constructiva:

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Rt (m ² *K/ W)	---	---	---	---	---	---	---
U (W/m ² *K)	---	---	---	---	---	---	---
Espesor Aislante (mm)	---	---	---	---	---	---	---

Descripción de la Solución Constructiva				Genérico	X	Marca Comercial	----
Muro de hormigón armado de 100 mm de espesor o superior más un revestimiento interior consistente en placa de yeso cartón de 10 mm o enlucido de yeso de 20 mm.							
Forma de cumplir con las exigencias				Densidad material aislante	Institución		Vigencia
Certificado de ensaye	----	Cálculo (NCh 853)	X	----	Instituto Chileno del Cemento y el Hormigón		NCh 853
Corte:				Detalle (opcional)			
							

Anexo F “Tabla 2 Resistencias térmicas de superficies” de la NCh 853.

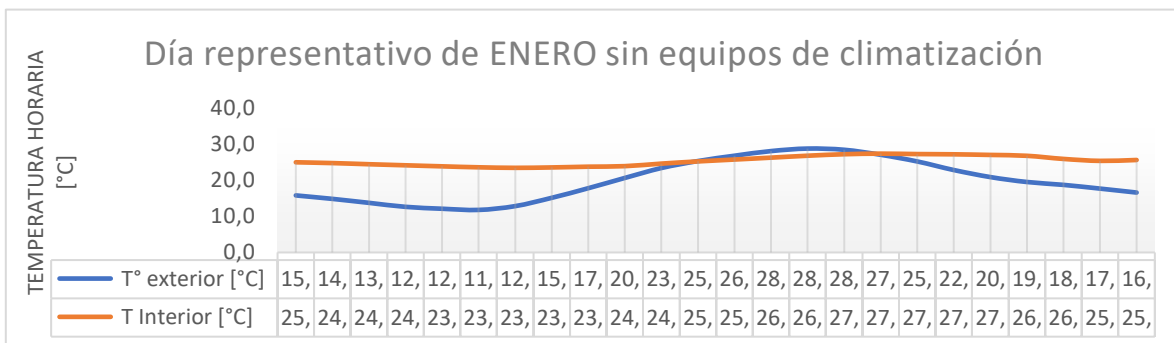
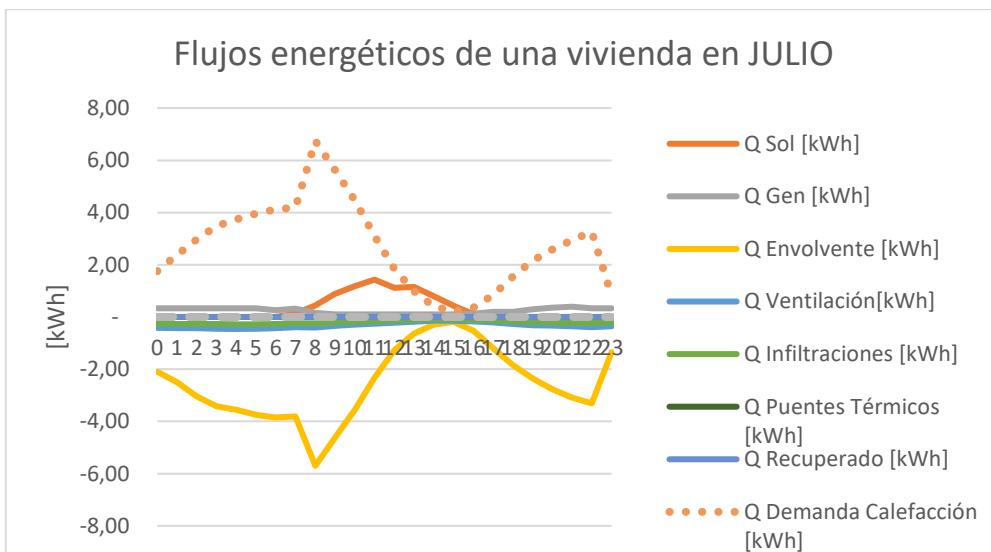
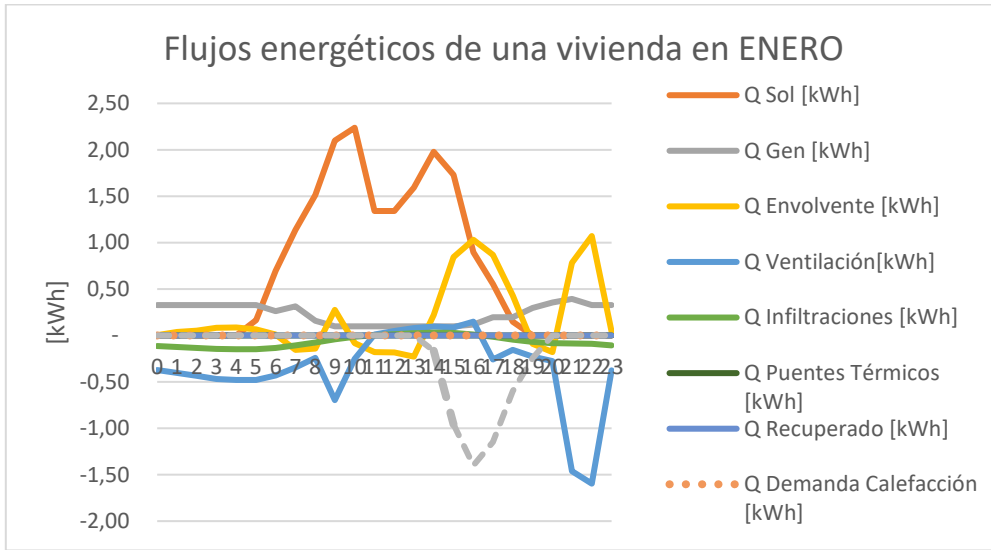
Tabla 2

Resistencias térmicas de superficie en $m^2 \times K/W$							
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que 60° respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

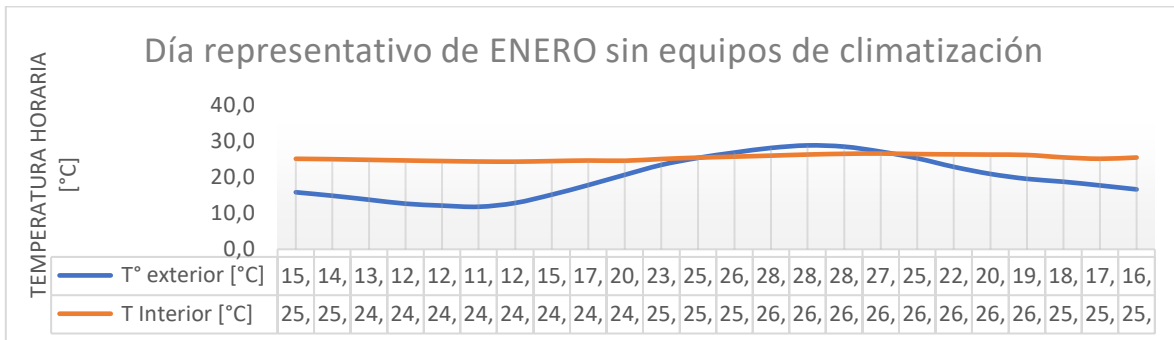
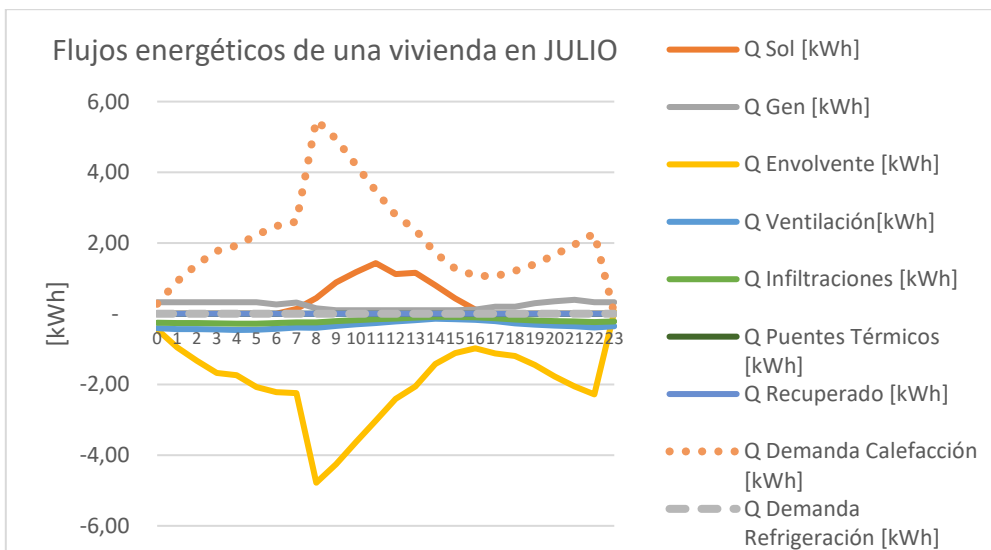
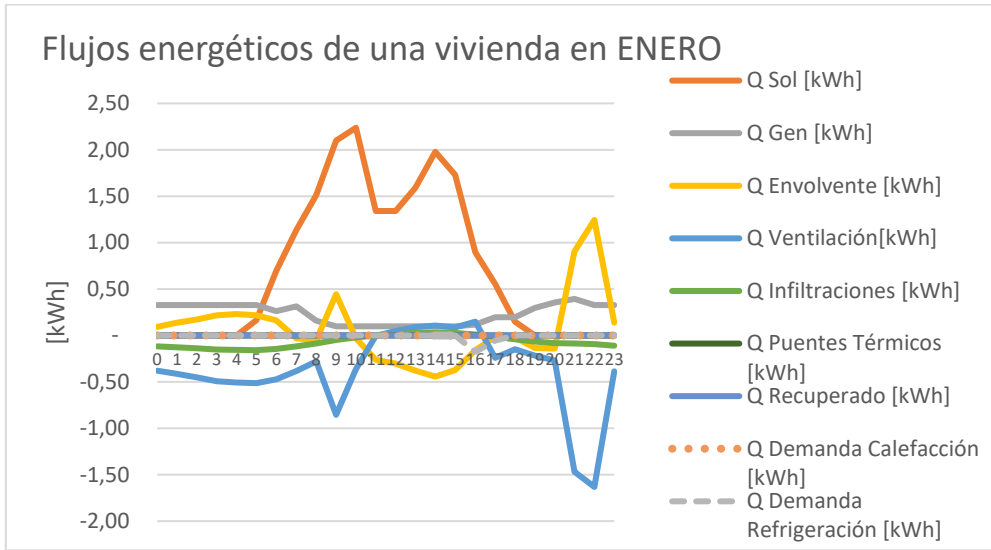
NOTAS

- 1) Estos valores se han obtenido experimentalmente por el método de NCh851.
- 2) Los valores de esta tabla corresponden a velocidades del viento en el exterior menores que 10 km/h. Para velocidades superiores se debe considerar $R_{se} = 0$.
- 3) Bajo condiciones de pérdidas térmicas por parte del local (invierno), en general, el flujo de calor es ascendente a través de techumbres y descendente a través de los pisos.
- 4) Bajo condiciones de ganancias térmicas por parte del local (verano), en general, el flujo de calor es ascendente a través de los pisos y descendente a través de las techumbres.

Anexo G: Gráficos PBDT 3 para vivienda modelo.



Anexo H: Gráficos PBDT 3 para vivienda con revestimiento exterior EIFS.



Anexo I: Gráficos PBDT 3 para vivienda con ventanas termopanel.

