



Passivhaus en viviendas sociales en Chile.

Caso de estudio: Chiloé.

Daniel Medina Sánchez

Seminario de investigación

Sostenibilidad y hábitat

Profesora guía: Luz Cárdenas Jirón.

Semestre otoño 2022

Santiago, Chile

Agradecimientos

Durante este crucial proceso de la carrera, me resulta indispensable reconocer el apoyo y presencia de todas y todos quiénes han contribuido a llevar a cabo tanto esta investigación como el recorrido que me conduce hasta acá.

A mi profesora guía, Luz Cárdenas Jirón, a quién tengo el agrado de conocer desde los inicios de la carrera y cuya experiencia y vocación han formado parte importante de los conocimientos que he consolidado durante estos años.

A mi padre y a mi pareja que han mantenido una confianza ciega durante todo este periodo, incluyendo aquellos momentos en los que encontrar el rumbo no ha sido trabajo fácil.

A mis compañeras y compañeros, que he ido conociendo a lo largo de la carrera, quiénes con sus experiencias, perspectivas y calidad humana han hecho de este recorrido algo agradable y sumamente valioso.

En lo que a la investigación respecta, un especial agradecimiento a la Constructora e Inmobiliaria Bedecarratz, quiénes con su excelente disposición y amabilidad, han sido una pieza clave de este proceso, facilitando información importantísima para acercar el estudio a la vasta experiencia que poseen en la construcción de viviendas el sur de Chile.

Y a todos quiénes han contribuido durante este proceso, entendiéndolo como una experiencia holística, acogiendo todos los malos y buenos momentos que me han enriquecido para enfrentar los presentes desafíos y los que están por venir.

Índice

1. Introducción	4
2. Problematicación	5
2.1. Problema de investigación	5
2.2. Pregunta de investigación	5
2.3. Hipótesis	5
3. Objetivos	5
3.1. Objetivos Generales	5
3.2. Objetivos Específicos	5
4. Caso de estudio: Chiloé	6
4.1. Viviendas Sociales	6
5. Antecedentes	8
5.1. Consumo energético	8
5.1.2. Acondicionamiento térmico	9
5.1.3. Estándar Passivhaus y reglamentación térmica nacional	11
5.1.4. Estudio y aproximación del estándar al territorio nacional	13
6. Metodología	15
6.1. Procedimiento de investigación	16
8. Instrumentos	17
8.1. PassivHaus Planning Package	17
9. Marco Teórico	21
9.1. PassivHaus	21
9.2. 5 principios PassivHaus	22
9.3. PassivHaus en Chile	24
9.4. Calificación energética de viviendas CEV	25
9.6. Confort Ambiental	28
9.6.1. Variables	28
9.7. Consumo y demanda energética	29
9.8. Brecha demanda energética	30
9.9 Net Zero Building	30
9.10. Sostenibilidad	30
10. Referentes Passivhaus	32
10.1. Referentes nacionales	32
11. Análisis de Informe CEV para Viviendas Sociales	43
12. Análisis Caso de Estudio: Villa Sector Sargento Candelaria, Chonchi, Chiloé.	50
13. Informe CEV – Caso de Estudio	52
14. Análisis comparativo PassivHaus	59
11. Conclusiones	85
12. Referencias	87
13. Anexos	92

1. Introducción

En la actualidad, las viviendas sociales se han posicionado como uno de los ejes fundamentales a abordar de cara a la demanda habitacional a nivel nacional y con ello la oportunidad de, en materia de cambio climático, enfrentar el déficit de acondicionamiento térmico que muchas de estas viviendas han heredado, producto de la reglamentación térmica vigente que exige un piso mínimo que se encuentra a un nivel insuficiente, exigencia que recrudece en las zonas más extremas del país (CEV, 2019). En este estudio, se aborda la factibilidad actual de implementación del estándar Passivhaus en las viviendas sociales en Chile, específicamente, en la localidad de Chiloé, una de las zonas climáticas más demandadas del país y cómo esta se podría optimizar a partir del piso mínimo de la reglamentación térmica vigente. En este escenario, el estándar PassivHaus ofrece una interesante oportunidad de exploración para mejorar y aprovechar su potencial, el cual posee importantes resultados a nivel internacional, el cual puede significar un avance sustancial en el acondicionamiento térmico para viviendas sociales en Chile.

Las motivaciones de este trabajo se sustentan en torno al desafío nacional de carbono neutralidad acordada por Chile para el año 2050, reducir la huella y emisiones de carbono que hasta ahora genera la industria de la construcción y otorgar alternativas para desincentivar el uso de combustibles fósiles como medio de calefacción activa para cubrir las carencias que, muchas de las familias del sur del país se ven en la necesidad de utilizar.

2. Problematización

2.1. Problema de investigación

Déficit térmico en viviendas sociales de la isla grande de Chiloé bajo los principios del estándar PassivHaus.

2.2. Pregunta de investigación

¿Cuáles son las variables más relevantes del estándar PassivHaus que evidencian un déficit térmico en las viviendas sociales en Chiloé?

2.3. Hipótesis

Existe una brecha de eficiencia energética en las viviendas sociales de Chiloé producto de la escasa consideración de variables integradas en el estándar PassivHaus.

3. Objetivos

3.1. Objetivos Generales

Demostrar la existencia de brechas de eficiencia energética en las viviendas sociales de Chiloé a partir de una evaluación centrada en el estándar PassivHaus.

3.2. Objetivos Específicos

- 1.** Conocer las brechas existentes en materia de acondicionamiento térmico para viviendas sociales en Chiloé con respecto de PassivHaus como referente internacional.
- 2.** Identificar las principales variables del estándar PassivHaus que puedan influir favorablemente en mejorar el acondicionamiento térmico de las viviendas sociales en Chiloé.
- 3.** Evaluar las variables PassivHaus en las viviendas sociales de Chiloé, para medir y comparar su potencial implementación y mejora de las condiciones térmicas existentes.

4. Caso de estudio: Chiloé

La Isla grande de Chiloé, perteneciente a la X Región de Los Lagos, se encuentra caracterizada en la zona climática del extremo sur (SE), según la norma chilena Nch1079. Of.2008. La zona climática del extremo sur comprende desde Chiloé hasta Tierra del Fuego, siendo descrita como una región de constantes precipitaciones, gran nubosidad y humedad.

Figura 1

Características climáticas y valores medios según NCH1079

ZONA	Localidades más importantes	Temperatura °C				Insolación cal/cm ² día		Soleamiento horas sol día		Humedad relativa %		Nubosidad décimas		Precipitación mm		Vientos predominantes	Heladas		Nieve días año	Salinidad		Altura
		Media		Oscilación diaria		E	J	21 Dic	21 Jun	E	J	E	J	Anual	máx 1 día		Meses	N° Años		Atmósfera	Suelo	
		E	J	E	J																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
SI SUR INTERIOR	Los Angeles																					
	Traiguén	18,0	7,4	16,5	7,5	520	130	14,7	9,3	60	86	3,2	7,4	1 208	137	S	May/Sep.	15	0,4	-	-	-
	Angol																					
	Curacautín	Templado	Frio	Alta	Baja	Normal	Muy Baja				Alta	Muy Alta	Baja	Alta	Muy Alta				si (sobre 400 m)	no	no	> 100 m < 700 m
	Temuco																					
Loncoche																						
Osorno	14,9	6,3	17,2	7,6	< 450	(100)	15,0	9,1	70	86	-	-	1 330	-	-	Mar/Oct.	38	0,5	-	-	-	
SE SUR EXTREMO	Ancud	13,8	7,9	6,5	4,7	450	90	15,1	9,0	82	87	6,1	7,8	2 148	119	N y W	May/Sep.	(18)	0,1	-	-	-
	Castro																					
	Aysén	14,1	4,5	7,6	5,0	(450)	(80)	15,5	8,5	76	90	7,8	8,2	2 940	171	S-W	Abr/Oct.	> 20	si (hacia el E y S)	si	no	< 500 m
	Puerto Natales	Frio	Muy Frio	Baja	Baja	Normal	Muy Baja				Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Muy Alta							
Punta Arenas	11,2	2,2	8,2	4,7	490	80	16,8	7,4	68	80	6,7	5,9	416	98	W	Abr/Oct.	52	18				
AN ANDINA	Potrerillos	13,7	8,5	8,6	8,3	> 600	> 300	13,7	10,4	39	23	1,5	2,4	62	114	S-W y E	May/Oct.	15	2,1	-	-	> 3 000 m en el N
	El Teniente	15,5	4,3	9,7	8,4	(560)	(200)	14,4	9,8	40	61	2,0	5,2	1 073	159	N-E	Feb/Oct.	68	37	no	no	> 1 000 m en el centro
	Lonquimay	15,5	1,5	20,9	9,4	(580)	(150)	14,8	9,4	59	82	3,5	7,8	1 850	129	S y S-W	En/Dic.	145	28			> 800 m en el Sur

Nota. Fuente: Minvu

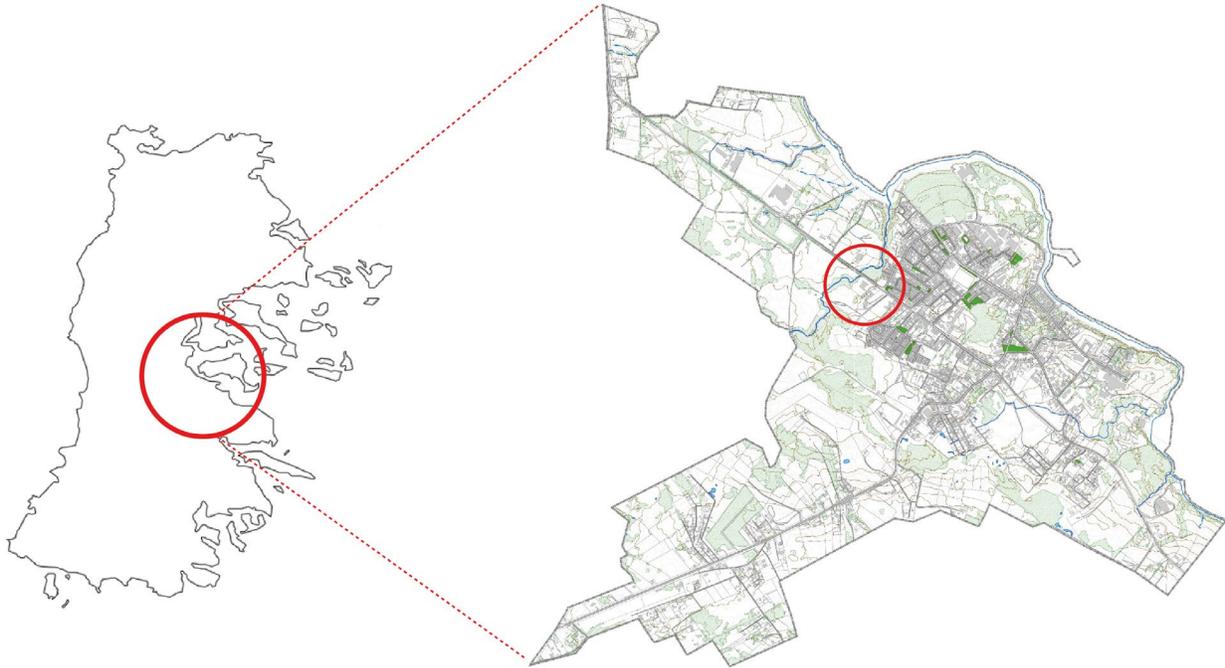
La temperatura tiende a ser bastante baja, con cortos periodos de verano y radiación moderada, disminuyendo la incidencia del calor gradualmente en el sentido oeste a este, lo que se traduce en heladas y nieve en zonas de mayor altitud. Finalmente, destacan una gran cantidad de biomas costeros en sus sectores de menor altitud, con presencia de microclimas entre las zonas marítimas y el interior.

4.1. Viviendas Sociales

Para llevar a cabo la investigación en la isla grande de Chiloé, se analizarán las condiciones térmicas de un proyecto de vivienda social de la zona, con el fin de evaluar las condiciones existentes en Chiloé, en base al emplazamiento y sus condiciones geográficas particulares.

Figura 2

Ubicación caso de estudio en la Isla Grande de Chiloé



Nota. Elaboración propia a partir del mapa de Chonchi de la consulta SURPLAN.

4.2.0 Chonchi: Villa Sector Sargento Candelaria.

Figura 3

Constructora e inmobiliaria Bedecarratz



Nota. Fecha de entrega: 2020.

Cantidad de viviendas: 158.

Financiamiento: Programa Fondo Solidario DS 49.

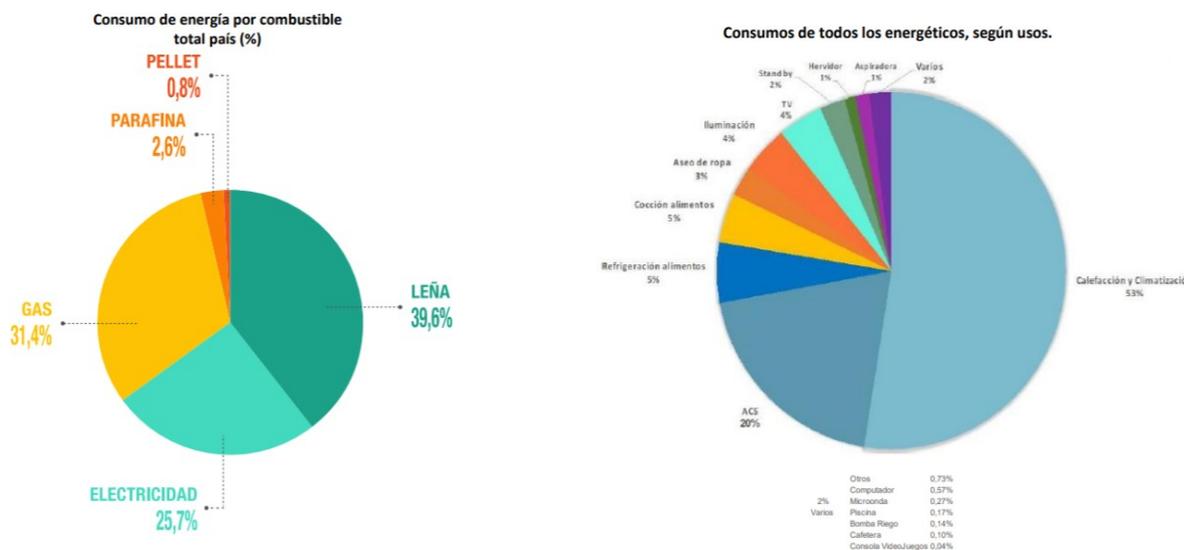
Fuente: <https://bedecarratz.cl/Proyectos/villa-sector-sargento-candelaria-chonchi/>

5. Antecedentes

5.1. Consumo energético

En la Isla grande de Chiloé, al igual que en gran parte de la zona sur del país, existe una enorme dependencia de sistemas activos de energías no renovables, para el acondicionamiento térmico de las viviendas. Un informe redactado el año 2018, en colaboración con el Ministerio de Energía, buscaba caracterizar los usos de energía en los hogares nacionales, donde se evidencia la gran dependencia de combustibles como la leña en la macrozona sur y austral de Chile.

Figura 4
Informe final de caracterización residencial

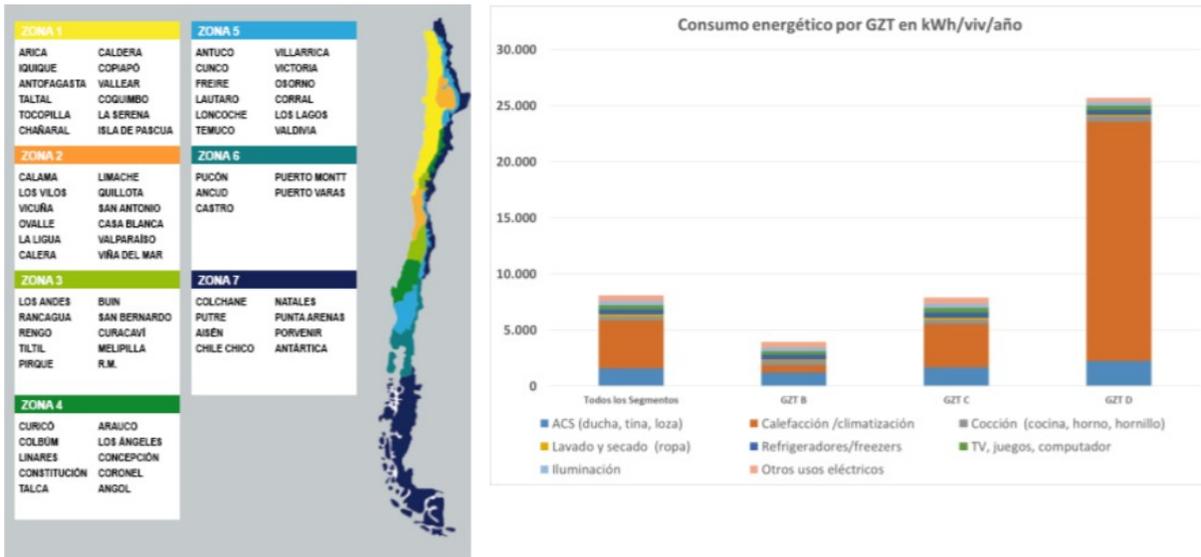


Nota. Fuente: https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf

Junto con lo anterior, se evidencia que el principal gasto de energía destinado a las viviendas va en directa relación y constante aumento con respecto a los sistemas de calefacción y climatización. El análisis se lleva a cabo mediante el uso de las 7 zonas geográficas térmicas (GZT), correspondientes a la Nch 1079 of 2000, en vista que el análisis se compara con su símil del año 2010, el cual considera la zonificación previa que regía en esa fecha.

Figura 5

Mapa de zonificación térmica y consumo energético por GZT



Nota. Fuente: https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf

El gráfico evidencia un importante consumo que se desborda en la zona térmica D, que incluye la zona 6 y 7 del análisis entre Puerto Montt y Punta Arenas. Asimismo, revela que el consumo energético que las viviendas que incluyen la Isla grande de Chiloé alcanzan más de 20.000 kWh por vivienda al año, algo más del 75% del consumo anual de energía total en una vivienda promedio.

La excesiva dependencia del consumo de leña para el acondicionamiento térmico de las viviendas en la zona sur de Chile ya otorga algunas luces sobre el déficit térmico que presentan las viviendas en esta zona, sin contar con la enorme cantidad de emisiones de carbono a la atmósfera, que se traduce tanto dentro como fuera de las viviendas, en un potencial agente de enfermedades respiratorias constante.

El mal uso de la leña, debido a su combustión con altos porcentajes de humedad, integra más del 80% de la contaminación medioambiental del sur de Chile, con cerca de 558 microgramos por metro cúbico en periodos de emergencia ambiental (MMA, 2016). A largo plazo, esto puede producir enfermedades incluso como el cáncer, y a corto plazo, producir exacerbación de enfermedades respiratorias crónicas (Guerrero, 2018).

5.1.2. Acondicionamiento térmico

La reglamentación térmica vigente, que exige los pisos mínimos de acondicionamiento térmico para viviendas en el país, evidencia un atraso considerable con respecto a las exigencias actuales, lo cual solamente ha sido combatido por el ministerio de vivienda y urbanismo mediante la disposición de manuales y líneas de certificación para mejorar la eficiencia energética en la que se encuentran las viviendas construidas bajo el estándar normativo obligatorio a partir del año 2007.

Figura 6

Línea temporal de instrumentos regulatorios nacionales



Nota. Ministerio de energía 2021.

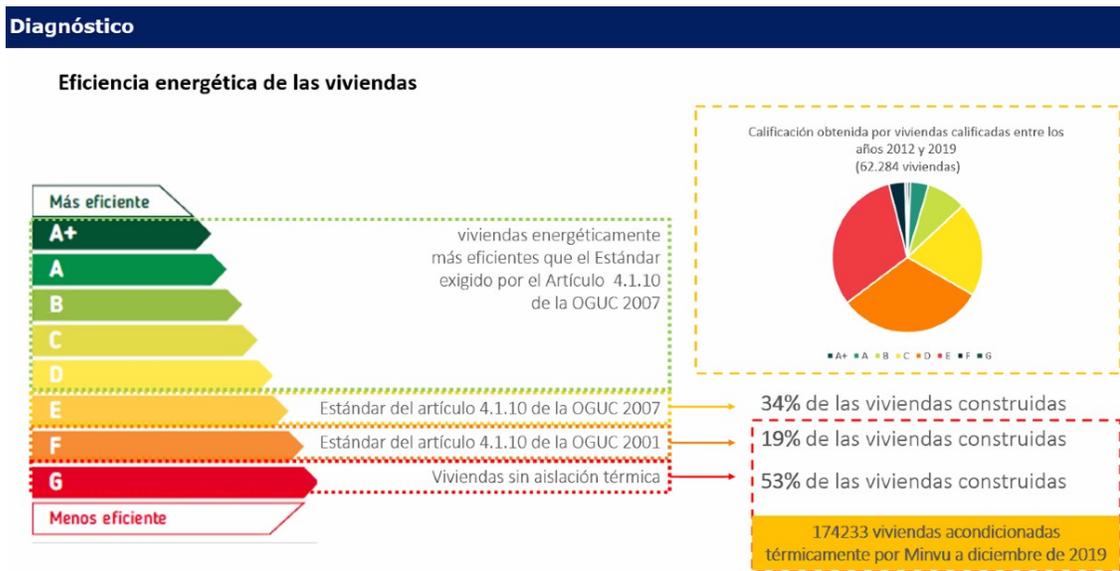
El gráfico muestra la evolución de los instrumentos que buscan certificar y elevar el estándar térmico de las construcciones. Se puede apreciar que, existen distintas iniciativas por parte de las autoridades por integrar herramientas que guíen un mayor y mejor acondicionamiento térmico, sin embargo, el hecho de que no sean obligatorias, dificulta que las nuevas construcciones se acondicionen con una calificación altamente eficiente, manteniéndose en el estándar con aislación térmica mínima que exige el artículo 4.1.10 de la OGUC (2007).

Cabe destacar que, dentro de lo planificado y esperando para la tercera versión de la reglamentación térmica nacional, se incluye el actualizar la zonificación térmica acorde con la

Nch1079 de 2019, que considera 9 zonas en vez de las 7 que considera la versión de 2008 (Blender, 2016). Este aspecto en particular es de vital importancia considerarlo, en la búsqueda de alcanzar mayor precisión en la obtención de datos y cómo acercar las condiciones climáticas al caso de estudio a realizar durante el proceso de investigación que se busca llevar a cabo en contraste con el estándar PassivHaus.

Figura 7

Reacondicionamiento y certificaciones CEV 2012 – 2019



Nota. Diagnóstico empleado en el marco de reacondicionamiento térmico a viviendas certificadas.

El diagnóstico presentado por Minvu muestra la calificación obtenida por más de 250.000 viviendas, las cuales fueron construidas previo o durante la entrada en vigor de las reglamentaciones térmicas de 2001 y 2007. Dentro de este espectro, el 72% de las viviendas construidas, fueron reacondicionadas para alcanzar los pisos mínimos del estándar normativo actual durante los años del diagnóstico, dejándolas en un nivel mínimo con respecto a la certificación térmica (CEV), que es uno de los últimos instrumentos empleados para medir y certificar las condiciones de las viviendas.

5.1.3. Estándar Passivhaus y reglamentación térmica nacional

Con el contexto nacional existente y el estándar propuesto por la reglamentación de 2007, resulta de gran relevancia el poder comparar, en un primer acercamiento, el estándar nacional a través de la certificación energética de viviendas CEV, el cual califica como mínimo y poco eficiente la reglamentación actual, mientras que el estándar PassivHaus, lo perfila como uno de alta eficiencia energética y referente que conduce las interrogantes de esta investigación.

Figura 8

Resumen aislación térmica mínima de la envolvente opaca según reglamentación térmica vigente

ZONA TÉRMICA	TECHUMBRE			MUROS			PISOS VENTILADOS		
	Complejo techumbre		Material aislante	Complejo muro		Material aislante	Complejo piso ventilado		Material aislante
	U_{max}	$R_{t min}$	$R100_{min}$	U_{max}	$R_{t min}$	$R100_{min}$	U_{max}	$R_{t min}$	$R100_{min}$
	W/m ² ·K	m ² ·K/W	–	W/m ² ·K	m ² ·K/W	–	W/m ² ·K	m ² ·K/W	–
1	0,84	1,19	94	4,00	0,25	23	3,60	0,28	23
2	0,69	1,67	141	3,00	0,33	98	0,87	1,15	98
3	0,47	2,13	188	1,90	0,53	126	0,70	1,43	126
4	0,38	2,63	235	1,70	0,59	150	0,60	1,67	150
5	0,33	3,03	282	1,60	0,63	183	0,50	2,00	183
6	0,28	3,57	329	1,10	0,91	239	0,39	2,56	239
7	0,25	4,00	376	0,60	1,67	295	0,32	3,13	295

Nota. Elaboración: María Blender. Recuperado de: <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=3698>

El estándar PassivHaus, requiere de ciertas obligaciones básicas acorde con lo establecido en la experiencia obtenida en Europa, la cual, en primera instancia, no debería variar sus principios para llevarla a cabo en nuestro país. Según lo expuesto por Gantioler (2010), tenemos como principales parámetros para su certificación:

- Demanda energética máxima para calefacción menor a 15 kWh/m²a
- Demanda energética máxima para refrigeración menor a 15 kWh/m²a
- Nivel de hermeticidad variable de 0.6 a 1 ACH (50Pa).
- Un consumo de energía primaria para todos los sistemas (calefacción, refrigeración, ACS, electricidad, etc.) no superior a 120 kWh/m²a
- Temperaturas superficiales interiores de la envolvente térmica durante invierno >17 °C.
- Para edificios con calefacción y refrigeración por aire, se acepta como alternativa, la posibilidad de climatizar a la temperatura deseada con el flujo de aire sin utilizar recirculación.

5.1.4. Estudio y aproximación del estándar al territorio nacional

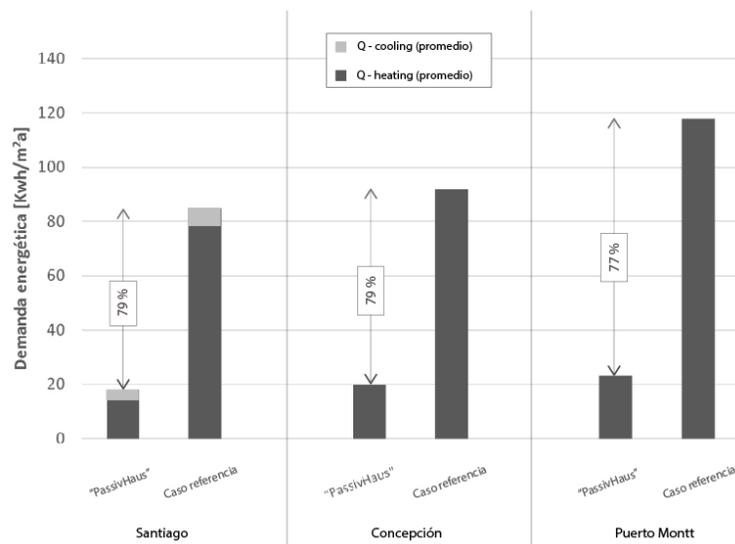
Es a partir de esta base, es que se llevó a cabo un estudio en el año 2012 en nuestro país, al mando de la Universidad del Biobío en conjunto con la Hochschule Biberach, en el cual se exploró la factibilidad del estándar PassivHaus, en contraposición con la reglamentación vigente, realizando simulaciones en 3 zonas climáticas distintas del país y con esto, medir y comparar viviendas acondicionadas con la reglamentación térmica de 2007 y otras con el estándar PassivHaus previamente señalado.

El resultado mostró datos alentadores sobre el potencial del estándar en nuestro país, junto con importantes conclusiones que sirven de guía para adentrarse en la discusión acerca de los beneficios que puede traer esta certificación con cifras concretas que vayan en directo beneficio de las familias, mejorando su calidad de vida y reduciendo considerablemente el consumo energético de las viviendas.

Los puntos más relevantes de este estudio y que pueden ir en directa ayuda a desarrollar la investigación en Chiloé, es que una de las ciudades analizadas fue el caso de Puerto Montt, localidad que comparte parte importante de las características climáticas de la isla.

Figura 9

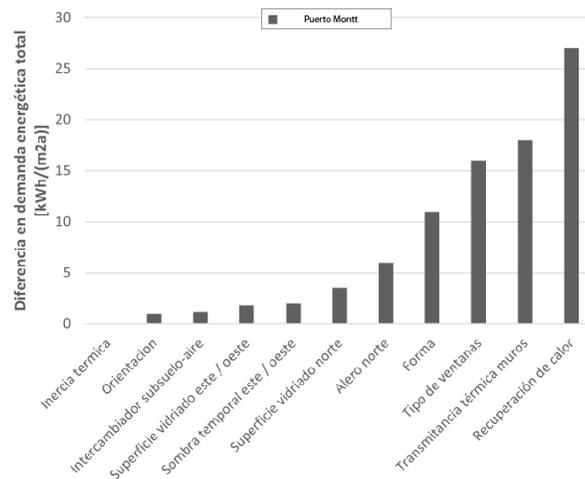
Demanda energética del estándar "Passivhaus" en Chile



Los principales resultados del estudio comparan la demanda energética entre ambos estándares (kWh/m²a). En los tres casos, la reducción en la demanda, para el caso PassivHaus, alcanza casi el 80%, parámetro que está en las bases teóricas que busca cumplir la certificación, lo cual es una reducción altamente significativa.

Figura 10

Alto confort interior con mínimo consumo energético a partir de la implementación del estándar “Passivhaus” en Chile.



Nota. Fuente: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2012000200011&lng=en&nrm

Asimismo, los resultados arrojaron para el caso específico de Puerto Montt, una influencia fundamental en los sistemas de calefacción del estándar en directa relación con la reducción de la demanda energética.

Además, se hace un especial énfasis en el hecho de que, en cada clima distinto, aplican estrategias diferentes del estándar PassivHaus para alcanzar el porcentaje de eficiencia deseado, sin necesidad de cumplir con la totalidad de los criterios, si no que adaptando cada uno según su necesidad en un entorno específico. Lo segundo, tiene que ver con la comparación entre estándares, explicando el hecho de que, si se toma en cuenta la certificación CEV nacional, una casa certificada con PassivHaus, equivale a una certificación CEV A+.

Finalmente, se destaca el hecho de que las viviendas con la certificación PassivHaus involucran una mayor inversión inicial, sin embargo, esta se compensa con el costo de operación, que puede ser hasta un 80% menor que una construcción tradicional, sin mencionar que la inversión se recuperaría en el corto plazo con el ahorro para las familias que reducirían sus gastos en calefacción para sus casas.

6. Metodología

Para llevar a cabo esta investigación, resulta fundamental la obtención de datos cuantitativos derivados de las condiciones higrotérmicas que presenta el caso de estudio en particular. En esta materia, el uso de herramientas digitales para el modelado 3D e información técnica específica de las viviendas, permiten obtener las propiedades de los materiales involucrados, espesores de muros y cualidades de la envolvente para enfrentar la demanda energética en cada vivienda.

Una de las ventajas que proporciona el análisis de viviendas sociales en el caso de estudio, al centrarse en viviendas nuevas, son las tipologías predeterminadas con las cuales las constructoras desarrollan sus proyectos, lo que permite, el poder establecer un espectro representativo de las viviendas, el poder modelarlas acorde a las especificaciones técnicas requeridas por la normativa correspondiente y con esto poder evaluarlas bajo las condiciones climáticas específicas de la Isla Grande de Chiloé, lo que dicta las directrices más importantes a tener en cuenta en términos de acondicionamiento térmico.

6.1. Procedimiento de investigación

Durante la primera etapa de la investigación, se recabó información técnica con respecto a los casos de estudio, mediante el contacto con los actores involucrados con los proyectos inmobiliarios y revisión de documentos que formaron parte de la concepción de este, con el fin de obtener datos específicos de las viviendas sociales que permitan un modelado preciso para su posterior análisis. En segunda instancia, la información obtenida deberá permitir el levantamiento de un modelo 3D, el cual deberá incluir las especificaciones técnicas y consideraciones de la envolvente, las que se someterán a un análisis en base a los criterios del estándar PassivHaus.

El análisis permitirá comprender el estado de las condiciones térmicas de las viviendas del caso de estudio, a partir de los 5 principios base del estándar PassivHaus para generar un cuadro comparativo que dé respuesta a las interrogantes que la investigación propone con respecto a la brecha térmica en las viviendas y con esto concluir la investigación con eventuales ideas y/o propuestas tentativas que el ejercicio desvele.

Junto con lo anterior, se complementarán las bases del estándar PassivHaus con la calificación energética de viviendas (CEV), desarrollada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu) en conjunto con el Ministerio de Energía, la cual permitirá estandarizar los criterios del análisis a un plano nacional, logrando diagnosticar las principales características, virtudes y deficiencias que presentan las viviendas sociales del caso de estudio propuesto.

8. Instrumentos

8.1. PassivHaus Planning Package

El PassivHaus Institut, a partir de su desarrollo de su estándar y las variables que lo conforman, implementó el PassivHaus Planning Package, un software de modelamiento, simulación y medición de proyectos que desean obtener un alto rendimiento energético que los califique para el estándar PassivHaus. Entre sus funciones adicionales, permite simular escenarios acordes a la zona climática del proyecto, estimar el consumo y demanda energética y medir el rendimiento de equipos de calefacción y ventilación pasiva.

Figura 11. Interfaz de la versión plugin del software ejecutado en Sketchup.



Nota. Fuente: <https://designph.org/wiki/tiki-index.php?page=designPH+manual>

El software también maneja compatibilidades con otros softwares de modelado como Sketchup y Revit dentro del mundo BIM, lo cual lo hace más amigable con la posibilidad de poder evaluar cualquier proyecto de arquitectura que se pueda desarrollar e incluso poder ejecutarlo con proyectos existentes con la información técnica correspondiente.

Consideraciones

Pese a reconocer la versatilidad e idoneidad del software para su uso en el curso de esta investigación, se decidió explorar otras alternativas debido al tiempo que emplearía el manejo autodidacta el programa, en conformidad con los plazos pactados para realizar el seminario de investigación presente. Adicionalmente, el manejo de esta herramienta, junto con un criterio para interpretar sus resultados, se emplea oficialmente por el Instituto PassivHaus en todas sus sedes, proceso que conlleva invertir cursos de capacitación y certificación que otorgan la facultad de PassivHaus Designer, los cuales no fueron compatibles con los plazos y alcances específicos que se desean alcanzar en esta investigación.

8.2 Motor de cálculo y planilla de balance térmico dinámico PBDT

La calificación energética de viviendas, impulsada por el MINVU, otorga para profesionales de la construcción y evaluadores, una serie de herramientas de cálculo prácticas para llevar a cabo los procesos de precalificación y calificación térmica de sus proyectos, mediante 3 planillas en formato Excel, los que se encuentran disponibles en la página oficial del Minvu dedicada para la realización de CEV.

Figura 12. Interfaz de la Planilla 1 PBDT para Datos de Arquitectura.

1.1 - Datos generales e identificación del proyecto	
1	Tipo de Calificación: <input type="text" value="Pre calificación"/> Vivienda nueva
2	Región: <input type="text" value="Región de Los Lagos"/>
3	Comuna: <input type="text" value="Chonchi"/>
4	Zona Térmica Proyecto: <input type="text" value="G"/>
5	Demarcación de la vivienda: <input type="text" value="2"/>
6	Identificación de la vivienda a evaluar: <input type="text" value="Vivienda social seminario caso 1"/>
7	Nombre del proyecto: <input type="text" value="CEV Caso 1"/>
8	Dirección de la vivienda: <input type="text" value="Caso chonchi 1"/>
9	Tipo de vivienda: <input type="text" value="Casa Anclada"/>
10	Rol vivienda: <input type="text" value="sin dato"/>
11	Evaluador energético: <input type="text" value="Daniel Medina"/>
12	Rol registro de Evaluadores: <input type="text" value="anclado"/>
13	RUT Evaluador: <input type="text" value="sin dato"/>
14	Versión Planilla: <input type="text" value="2.2"/>
15	Caso interno Evaluador: <input type="text" value="si"/>
16	Iteración Evaluador: <input type="text" value="si"/>
17	Solicitado por: <input type="text" value="Daniel Medina"/>
18	RUT Mandante: <input type="text" value=""/>
1.2 - Descripción general de los elementos de la envolvente (esto sólo se utiliza en la confección del certificado)	
19	Muro principal: <input type="text" value="Muro con aislación por de materialidad con U= [w/m2K] espesor sólido [cm] y espesor aislante de [cm]"/>
20	Muro secundario: <input type="text" value="Muro con aislación por de materialidad con U= [w/m2K] espesor sólido [cm] y espesor aislante de [cm]"/>
21	Piso principal: <input type="text" value="Piso con aislación por con U= [w/m2K]"/>
22	Techo principal: <input type="text" value="Techo con aislación por con U= [w/m2K] y espesor aislante de [cm]"/>
23	Techo secundario: <input type="text" value="Techo con aislación por con U= [w/m2K] y espesor aislante de [cm]"/>
24	Ventilana principal: Vidrio y Marco: <input type="text" value="Vidrio Vidrio Monolítico (VM) Sin espaciador con U= 5.8 [w/m2K] y factor solar de 0.87"/>
25	Ventilana secundaria: Vidrio y Marco: <input type="text" value="Vidrio Vidrio Monolítico (VM) Sin espaciador con U= 5.8 [w/m2K] y factor solar de 0.87"/>
26	Puerta principal: <input type="text" value="Puerta Madera Sólida con U= 1.91 [w/m2K] y 0% de vidrio"/>
1.3 - Descripción general de los sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria	
27	Sistema de calefacción: <input type="text" value="Sin sistema específico, solamente dotado del gas licuado que puede proveer a sistemas activos de calefacción"/>
28	Sistema de agua caliente: <input type="text" value="Agua caliente mediante red de gas licuado alimentada por balones de gas instalados en la vivienda"/>
2 - Dimensiones de la vivienda	
3. Tablas Envolvente: <input type="text" value="CEV-CEVE"/>	

Nota. Elaboración propia a partir del Informe CEV para el caso de estudio.

Datos de Arquitectura PBDT 01

La primera planilla (PBDT 01), es la que se destina para ingresar toda la información pertinente al proyecto, incluyendo variables como su zona térmica, orientación, alcance de su programa, descripción técnica de sus elementos constructivos, junto con todos los detalles formales que caractericen a la vivienda en una fase previa a su evaluación. Un aspecto para destacar es la inclusión de tablas de cálculo energético, transmitancias térmicas y todo lo relacionado con elementos constructivos, necesarios para completar dichas planillas sin necesidad de una memoria de cálculo excesiva o demasiado compleja.

Motor de Cálculo PBDT 02

Con la información de la primera planilla completa y en orden, la segunda planilla recopila lo realizado en ella para llevar a cabo una simulación energética que permita evaluar la vivienda en base a los criterios establecidos por la CEV. La planilla permite elegir entre un análisis no oficial, el cual se traducirá a una precalificación aproximada sólo con los datos de arquitectura o una simulación con un caso referencial, vivienda que se simula con los aspectos mínimos necesarios acordes con la reglamentación térmica vigente, lo que permite contrastar con esta para dar la calificación final, tanto arquitectónica de la vivienda como del rendimiento de sus equipos.

Datos de Equipos y Resultados PBDT 03

Lo que realice el motor de cálculo de la planilla PBDT 02 será arrojado a la planilla PBDT 03, junto con el apartado para llevar a cabo el análisis de equipos, ya sea de calefacción interna, ventilación pasiva, refrigeración, paneles fotovoltaicos y cualquier otro equipamiento que la vivienda disponga para mejorar sus características energéticas. Adicionalmente, arrojará su calificación con la etiqueta distintiva de la certificación, gráficos y balances térmicos, así como también el desempeño de los equipos descritos en las planillas anteriores.

Las herramientas dispuestas por el Minvu para realizar estas mediciones, se acompaña también del *Manual de procedimientos para la calificación energética de viviendas en Chile (2019)*, el cual detalla el uso e interfaz de las planillas, el proceso técnico y administrativo de la calificación como tal, interpretación de sus resultados y algunos ejemplos prácticos para llevar a cabo los ejercicios de transmitancia térmica, resistencia y balance de materiales.

Figura 13. Previsualización de un informe CEV con resultados arquitectónicos y rendimientos energéticos



Nota. Extraído directamente del Manual CEV del Minvu.

Consideraciones

A partir de la limitada interacción con PassivHaus Planning Package, las planillas de la CEV surgieron como una gran alternativa para llevar a cabo la investigación propuesta, en vista a que maneja criterios de certificación nacionales, incluyendo la reglamentación vigente y con esto la posibilidad de evaluar la vivienda bajo un estándar y lenguaje que pueda compartir con el PassivHaus. A partir de esto, se logró obtener resultados referenciales concretos de la vivienda, en conjunto con la documentación técnica a disposición por parte de la constructora Bedecarratz a cargo del caso de estudio.

Entre las facultades que se requieren para elaborar un informe de calificación energética de viviendas CEV, incluye una certificación como evaluador, la cual se obtiene mediante cursos y capacitaciones que el propio Minvu ofrece a profesionales de la construcción, otorgando un perfil y pertinencia para desempeñarse en esta área y realizar estos documentos, los cuales permiten validar las prestaciones de la vivienda para aprobar los permisos de obra, conforme cumplan con la reglamentación térmica vigente.

A raíz de lo anterior y considerando la no competencia que me precede actualmente para realizar un informe per se, es que se utilizaron los datos referenciales de la planilla para luego entrecruzarlos con un informe CEV oficial, correspondiente a una de las viviendas del caso de estudio, la cual dispone el Minvu para su consulta pública a través de su herramienta de búsqueda de viviendas certificadas, consultado durante el periodo de investigación. (Búsqueda de viviendas, Minvu. 2022).

9. Marco Teórico

9.1. PassivHaus

En primer lugar, es relevante considerar cómo se define el concepto de “PassivHaus”, el cual se puede entenderse como: “término alemán para una construcción en un país u otro lugar en concordancia con estándares estrictos y altamente específicos de eficiencia energética” (Cleveland & Morris, 2015). Una PassivHaus, es una edificación en la que “el confort térmico (ISO 7730) se garantiza solo por calentamiento o refrigeración del flujo de aire, de acuerdo con el volumen de intercambio requerido para la calidad del aire interior (DIN 1946) sin utilizar ayuda adicional al aire recirculado “(Feist, 2005).

El principal objetivo de este estándar es otorgar a las construcciones con la filosofía de la PassivHaus, la capacidad de minimizar la necesidad de calefacción de espacios y refrigeración de las formas de construcción, y de esta forma, conseguir un bajo consumo energético. Asimismo, busca generar buenas condiciones de aire interior y confort térmico (Cleveland & Morris, 2015).

En su origen, el estándar PassivHaus tuvo sus inicios en Alemania en el año 1988, con la colaboración entre el profesor sueco Bo Adamson y el alemán Wolfgang Feist. La primera construcción Passivhaus fue construida en Darmstadt, Alemania, en 1991, la cual buscaba conseguir un consumo energético del 10% de una casa normal de hoy (Cutland, 2012). En esencia, una obra con este sistema puede ser construida de diversas formas estéticas, así como también, otros métodos constructivos pueden ser tomados en cuenta (Cutland, 2012).

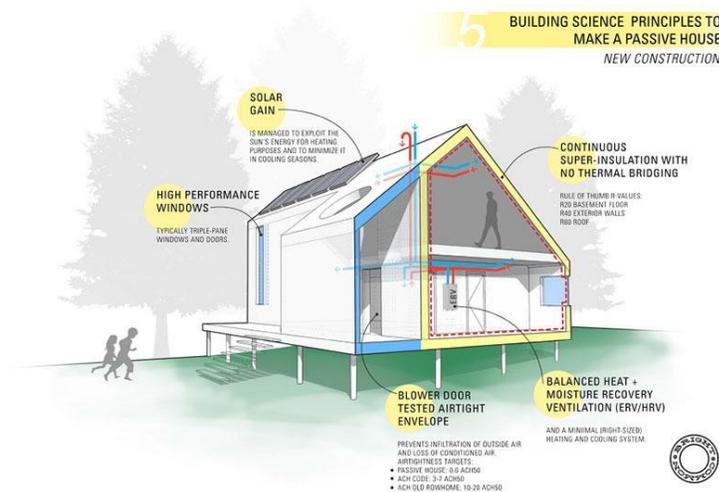
Actualmente, la comunidad multidisciplinar entendida con el estándar Passivhaus, ha buscado extender el campo de evaluación de este sistema en zonas con baja o nula experiencia al respecto, mediante la rehabilitación de viviendas, supermercados, industrias, edificios públicos, etc, con el fin de nutrir con nueva información y desafíos a la PassivHaus, con el fin de perfeccionar y avanzar sobre nuevos territorios (Wassouf, 2010).

9.2. 5 principios PassivHaus

Dentro de las variables que considera la PassivHaus en su estándar, el instituto, con reciente filial en nuestro país, establece 5 principios fundamentales para que una edificación alcance el nivel óptimo para ser acogida dentro del estándar.

Figura 14

Principios de construcción para crear una “Passive House”



Nota. Fuente: <https://myk-arq.es/como-construir-una-passivhaus/>

9.2.1 Máximo aislamiento

Junto con los puntos previamente mencionados, el máximo aislamiento térmico dependerá de un grosor determinado en pisos, muros exteriores y cubiertas, con especial trabajo en el diseño y detalles constructivos para llegar a un máximo nivel de eficiencia energética sin el uso de sistemas de calefacción externos.

9.2.2 Puertas y ventanas de alto desempeño

Acorde con el punto anterior, los principales vanos que pueden dificultar el alcanzar una envolvente libre de puentes térmicos, son precisamente las puertas y ventanas, las cuales deben poseer una ubicación e instalación de alta calidad para salvaguardar el trabajo hecho por la envolvente mantener un trabajo simbiótico que potencien las condiciones térmicas del interior.

9.2.3 Envoltente libre de puentes térmicos

La envolvente térmica, debe mantener una ausencia absoluta de puentes térmicos, permitiendo con esto el reducir el consumo energético provenientes de sistemas activos, patologías como hongos producidos por la condensación interna y desbalances térmicos en algunas zonas de la vivienda.

9.2.4 Hermeticidad del aire

La hermeticidad del aire deriva de los puntos anteriores en una PassivHaus, logrando una construcción libre de infiltraciones de aire en su envolvente indeseadas. Lo anterior depende de un preciso manejo y cuidado en las uniones de los distintos elementos de la envolvente, permitiendo en un entorno hermético el poder controlar la temperatura interior, evitar pérdidas de calor y minimizar la participación de sistemas activos.

9.2.5 Ventilación con recuperación de calor

El sistema de ventilación mecánico de una PassivHaus debe ser capaz de renovarse de manera constante, controlando los flujos de aire internos de la vivienda, con el fin de garantizar una excelente calidad de aire. Lo anterior incluye: filtros de ventilación para evitar material particulado externo, junto con un sistema de recuperación térmica, a través del acondicionamiento del aire que ingresa, con el fin de aprovechar sus propiedades térmicas para el interior de los recintos, previo a su expulsión hacia el exterior.

9.3. PassivHaus en Chile

Desde su surgimiento en Darmstadt, Alemania, el PassivHaus Institute ha extendido sus redes de influencia mediante la acreditación de certificaciones por todo el mundo, contando con miles de proyectos certificados en más de 40 países, junto con la participación de más de 23 filiales en todo el mundo.

A pesar de los más de 30 años de trayectoria de esta certificación, su relación con nuestro país e incluso con nuestra región ha sido bastante discreta, teniendo el primer y único edificio certificado a la fecha con PassivHaus en Chile, a la sucursal del banco BCI en la comuna de Vitacura en Santiago en el año 2012.

Actualmente, se ha establecido la PassivHaus Institute en Chile en el año 2019, siendo la primera filial en Latinoamérica, manteniéndose en constante actualización y acercando sus parámetros de certificación a nuevos proyectos, contando a la fecha con 13 proyectos en proceso de certificación en Chile y varios más ingresados para este fin en proceso de construcción.

Pese a mantenerse en un estado aún prematuro, se han fijado las bases para acercar el estándar a una experiencia en el territorio nacional, dejando un espacio a la experimentación y compatibilidad de la certificación internacional adecuada a las condiciones particulares del país.

9.4. Calificación energética de viviendas CEV

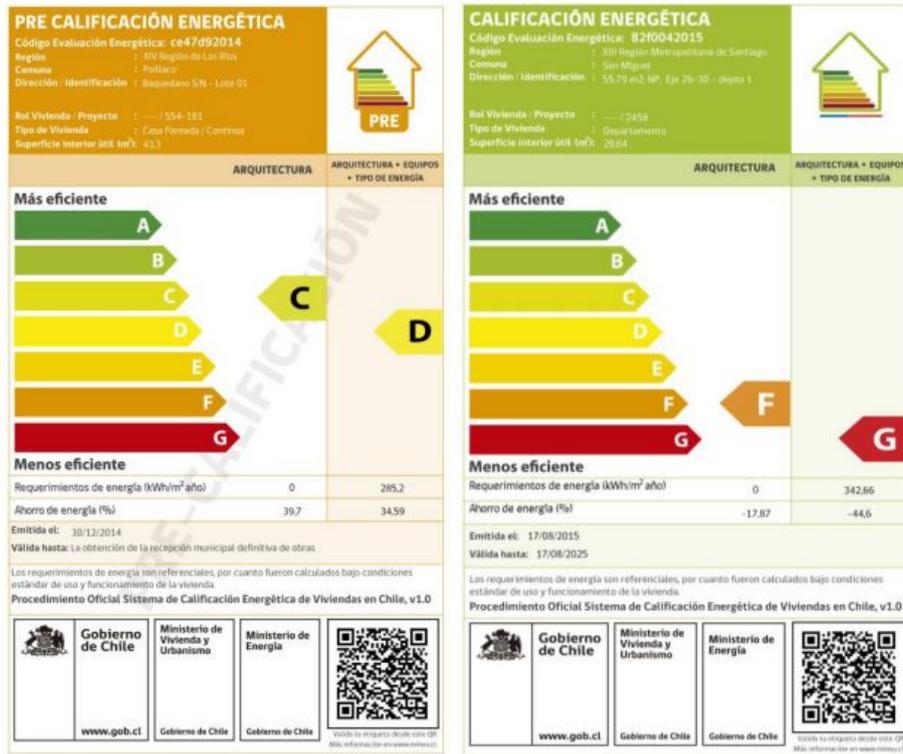
La calificación energética de viviendas en Chile (CEV) es un instrumento válido para el territorio nacional, realizado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu) en conjunto con el Ministerio de Energía. Cumple la función de calificar, referenciar, informar y evaluar los distintos proyectos de vivienda con respecto a sus requerimientos energéticos en una zona térmica determinada, con el propósito de conocer las capacidades de las viviendas frente a las necesidades y desafíos que ofrece el entorno en el cual se emplazan (Minvu, 2019).

Cabe destacar que, dentro de la calificación energética, esta discrimina entre calificación arquitectónica y calificación de consumo de energía, donde la primera evalúa la demanda energética en términos de calefacción, iluminación, ventilación, nivel de infiltración, aislamiento térmico y enfriamiento, las cuales dependen directamente de cómo el proyecto aprovecha las propiedades de su envolvente y diseño para dotarse de ganancias solares y variables presentes en la zona térmica correspondiente. Por otra parte, la calificación de consumo mide este parámetro para el gasto en calefacción, iluminación, uso de agua caliente y ventilación de la vivienda, lo que se vincula directamente con el uso de equipos y/o sistemas activos o pasivos de energía, mediante artefactos que hagan uso de recursos renovables o no renovables según sea su caso.

9.4.1 Tipos de calificación

Dentro del espectro que abarca la calificación energética de viviendas, esta se divide en dos tipos según su grado de especificación. La primera, entendida como precalificación, atiende a un requerimiento arquitectónico, en el cual evalúa a proyectos que posean el permiso de edificación aprobado por la dirección de obras municipales correspondiente, cumpliendo una función referencial sobre las cualidades de los equipos de energía y desempeño de la envolvente térmica del proyecto, las que, en esta etapa previa a la evaluación final, permite generar modificaciones específicas según sea necesario. Finalmente, la calificación como tal se otorga a la obra definitiva, con una vigencia de 10 años y sujeta a cualquier disposición o cambio que se genere en los criterios a evaluar en la certificación misma.

Figura 15. Etiquetas de precalificación y calificación energética de viviendas.

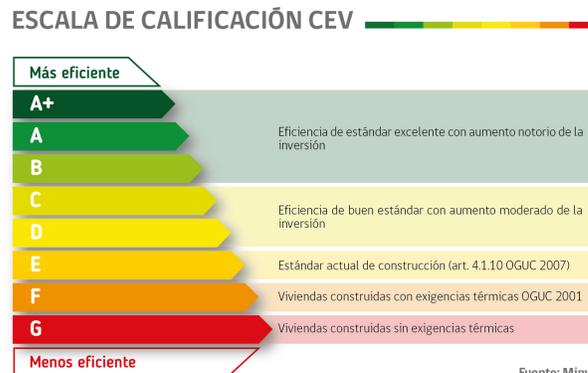


Nota. Extraído a partir del Manual CEV del Minvu.

9.4.2. Etiquetado de eficiencia Energética

Como se enfatiza en la descripción principal, el proceso de certificación CEV pondera mediante un análisis teórico y estimado el rendimiento de las viviendas, el cual se divide en una escala de 8 categorías, las cuales van desde la calificación más eficiente A+ hasta la menos eficiente G (Minvu, 2019).

Figura 16. Calificación CEV según exigencias térmicas.



En la escala CEV dispuesta por la certificación, se destaca que aquellas viviendas con el estándar vigente y obligatorio de construcción, otorgado por el artículo 4.1.10 de la OGUC (2007), se acogen a la calificación E, nivel en el cual se ubican una gran cantidad de viviendas sociales, cuyos presupuestos se limitan a cumplir con la normativa vigente, datos que se evidencian en el informe de reacondicionamiento y certificaciones CEV, explorado en el apartado de la problemática de la presente investigación. Cabe resaltar también, la importancia de la inversión en la eficiencia de los proyectos de vivienda, entendiendo que un proyecto privado de mayores recursos tendrá mayores facultades de acercarse a un nivel más eficiente que los de recursos limitados como es el caso de las viviendas de carácter social.

9.4.3. Consideraciones y convenciones de la certificación

La calificación CEV, que busca posicionar a las viviendas según su nivel de eficiencia energética, posee convenciones en las que basa su criterio de evaluación. En primer lugar, el concepto de *eficiencia energética* se entiende en la gestión de viviendas como la “relación entre la cantidad de energética consumida por los usuarios y el producto final obtenido, el cual se traduce en una vivienda con calefacción, iluminación, generación de agua caliente sanitaria y confort térmico adecuados” (Minvu, 2019).

Por otra parte, el enfoque destinado a viviendas sociales establece la distinción entre *viviendas nuevas y existentes*, entendiendo las primeras como aquellas que cuentan con permiso de edificación o modificaciones de este, en una fecha posterior a enero de 2007 o cuya recepción final de obra nueva no posea un rango mayor a 5 años de antigüedad (Minvu, 2019).

9.5. Envoltente Térmica

En lo que respecta al concepto de envoltente térmica, la reglamentación térmica vigente, en su primera etapa del año 2000 y artículo 4.1.10, se especifican consideraciones para el acondicionamiento térmico de las techumbres en las construcciones.

Posteriormente, en la segunda etapa de reglamentación en 2007, agrega en este enunciado los muros exteriores, pisos ventilados y ventanas de grandes luces, conformando así lo que entendemos por envolvente térmica.

Dentro de las consideraciones previo a abordar una envolvente térmica, está el hecho de que los parámetros mínimos para cumplir con la reglamentación, variará según la zona climática en la cual se encuentre el proyecto, el tipo de tipología de la edificación en particular (vivienda aislada, pareada o departamento) y morfología según su grado de exposición con el exterior, aspectos que influyen de manera determinante en el desempeño térmico de la envolvente (CDT, 2015).

9.6. Confort Ambiental

Acorde con la Organización Internacional de Normalización, se define el confort como “Condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico en el que se encuentra” (ISO 7730, 2006). La Achee (2016), define el confort como el “rango de condiciones del entorno consideradas como aceptables dentro de un espacio habitable”.

9.6.1. Variables

Confort Higrotérmico.

Se considera como la sensación de bienestar que tiene el ser humano con el entorno en el que interactúa. Cabe destacar, que aquella condición es potencialmente subjetiva, puesto que la sensación tiende a variar en cada individuo, lo que complejiza su traducción a parámetros físicos precisos al estar sujeto a una multiplicidad de factores internos y externos, derivados de aspectos como su metabolismo, actividad y condición física, entre muchos otros (ISO 7730, 2006).

Confort Lumínico.

Rango alcanzable cuando es posible visualizar todos los elementos contenidos en un recinto, sin que la persona sienta molestia o fatiga visual en el proceso. Esto se logra mediante un adecuado tratamiento de iluminación natural que contribuya en el bienestar físico y fisiológico de las personas, junto con una gestión de colores adecuada para los ambientes (Achee, 2016).

Calidad del Aire.

Alcanzado a través de una renovación constante del aire y una humedad relativa del aire, destinadas a un entorno construido. Su adecuada gestión, permite combatir la presencia de material particulado que atenten contra la salud o malestar de las personas (Achee, 2016).

Confort Acústico.

Lograble cuando las actividades realizadas en una instancia en particular, no se ven alteradas por ruidos excesivos que atenten contra la comunicación, descanso o salud de las personas (Achee, 2016).

9.7. Consumo y demanda energética

El consumo energético, se puede estimar como aquella cifra que mide el gasto empleado para mantener un confort al interior de las viviendas. Busca satisfacer las necesidades correspondientes a climatización, calefacción y uso de artefactos eléctricos. Por otra parte, la demanda energética tiene relación con la cantidad necesaria para alcanzar dicho confort, la cual dependerá del rendimiento que posea los distintos sistemas pasivos o activos de acondicionamiento (Bustamante, 2009).

Dentro de sus alcances, se precisa destacar que, tanto el consumo como la demanda energética, estimados en la fase de diseño y construcción de un proyecto son responsabilidad que recae en el profesional pertinente, quien debe velar por reducir estos índices en la medida de lo posible. Sin embargo, la demanda y consumo de energía final de una vivienda, recae en lo que soliciten sus usuarios finales, los que, mediante la implementación de equipos o consumos no estimados, pueden alterar los indicadores previstos dentro de esta materia (CEV, 2019).

9.8. Brecha demanda energética

Se refiere a la “denominación común para definir la diferencia entre la eficiencia energética prevista en el proyecto y la real del edificio en uso”. Avalada por innumerables estudios en Europa y el Reino Unido, el concepto se empezó a explorar en búsqueda de aquellos factores que generan dicha brecha de eficiencia energética, en especial cuidado entre aquel acondicionamiento térmico previsto previo a la concepción de un proyecto y el que posee la obra acabada (Dollard, 2018).

9.9 Net Zero Building

Como una tendencia de excelente recepción a nivel mundial, la Net Zero Building, es una estrategia que busca reducir la huella de carbono en la concepción y gestión de construcciones en todas sus fases de desarrollo. Para llevar a cabo estas estrategias, se deben integrar tecnologías de construcción asociadas con el diseño arquitectónico en y para las edificaciones (Sudhakar, et al., 2019).

El consejo de la Unión Europea definió en una de sus juntas directivas como las construcciones con cantidad casi nula o muy baja energía, la cual se sustenta en gran medida por energía procedente de fuentes renovables (Directiva UE, 2010). Un aspecto importante sobre lo discutido en esta directiva fue la propuesta de aumentar considerablemente los edificios con este estándar durante la última década, lo cual ha permitido a proyectos, el acogerse al estándar PassivHaus, como un gran aliado en busca de alcanzar una edificación Net Zero.

9.10. Sostenibilidad

En la concepción de lo que hoy se entiende como sostenibilidad, ha existido un proceso de constante evolución, en la cual, durante la década de los 70 y 80, buscaban limitar el crecimiento para no agotar los recursos disponibles. Sin embargo, dicha limitación, evoluciona en los 90, buscando un crecimiento verde, que dialogue con alternativas de desarrollo que velen por la prosperidad de las personas y a su vez no comprometan el medio ambiente (Cárdenas-Jirón, L., 1998).

Dentro de los conceptos con los que dialoga y se sustenta el estándar PassivHaus, está el comprender la sostenibilidad en la gestión y concepción de proyectos de arquitectura. La sostenibilidad, acorde con lo descrito por el arquitecto alemán Micheel Wassouf en su libro “De la casa pasiva al estándar Passivhaus” (2014), se puede desglosar en tres aspectos esenciales: la sostenibilidad ecológica, que se acerca a la idea más global de la sostenibilidad, la que combate el cambio climático, en busca de proteger del medio ambiente sin comprometer los recursos de las futuras generaciones. El segundo enfoque, se relaciona con una sostenibilidad económica, relevante a la hora de gestionar proyectos, cuyo principal objetivo es asegurar un bienestar económico y protección de los recursos naturales frente a la explotación por parte de intereses económicos externos. Finalmente, el tercer enfoque, apela a la sostenibilidad social, donde se busca la gestión social del hábitat, integrando a los ciudadanos en la toma de decisiones y generando espacios de participación para generar un equilibrio entre los distintos actores que inciden en los procesos que suceden antes, durante y después de la construcción de un edificio de diversa naturaleza.

El enfoque anterior, es clave para otorgar un grado evolutivo y progresivo a la idea de sostenibilidad en las construcciones, tomando en cuenta el enfoque simplista y normativo con el que actualmente se examinan los conceptos de sostenibilidad asociados a la construcción (Wassouf, 2014). En este sentido, el enfoque integrador expuesto por Wassouf, permite evaluar conceptos como el estándar PassivHaus, en una dimensión que asocie el entorno próximo y global en el cual se sitúan los proyectos, con el fin de acercar los conceptos a la comunidad y que sean más y mejor incorporados a localidades con escasa experiencia en la materia, como resulta coincidente con el caso de estudio de la investigación a realizar.

10. Referentes Passivhaus

10.1. Referentes nacionales

10.1.0. Plan de Descontaminación Atmosférica PDA

Llevado a cabo el análisis y recopilación de casos nacionales que tengan en consideración criterios asociados a mejorar las condiciones energéticas de las viviendas por encima de la normativa nacional vigente, se hace presente el Plan de Descontaminación Atmosférica PDA (D.S.N°8/2015), el cual consiste en una serie de instrumentos comunales de manejo ambiental desarrollados por el Ministerio del Medio Ambiente, con el fin de mitigar y reducir en un plazo de 10 años, las emisiones contaminantes de carácter antropogénicos que saturan y concentran material particulado en el aire altamente perjudiciales para la salud.

Desarrollado como parte relevante de la problemática que motiva la presente investigación, la zona sur de nuestro país concentra parte importante de los niveles de contaminación atmosférica, las cuales derivan del mal uso de leña como sistema de calefacción en viviendas, descontrol en las emisiones de fuentes físicas de carácter industrial, la saturación de vehículos motorizados, viviendas con escaso o nulo acondicionamiento térmico, entre otros agentes que mantienen a muchas comunas a un nivel crítico de calidad del aire respirable (Mma, 2015).

En lo que a viviendas respecta, el plan incluye indicaciones para el mejoramiento de las condiciones térmicas de viviendas nuevas, junto con un uso y mejoramiento de artefactos para la calefacción de estos, lo que se traduce en un índice de transmitancia térmica muy por encima de la normativa térmica vigente, ocasionado por un aumento en el espesor de aislante en la envolvente térmica y una reducción considerable de la demanda térmica anual para los proyectos entrantes.

Figura 17. Referencia de Disposiciones térmicas PDA Temuco y Padre de las casas.

	CUBIERTA		MURO		PISO		VENTANA	DEMANDA TÉRMICA
	U	AISLANTE	U	AISLANTE	U	AISLANTE	U	CALEFACCIÓN
	W/m ² K	cm	W/m ² K	cm	W/m ² K	cm	W/m ² K	kWh/m ² año
Normativa Térmica Actual	0,33	12	1,6	2	3,8	0	3,6	130
PDA Temuco y Padre Las Casas [2015]	0,33	12	0,45	8	3,8	0	3,6	105

Nota. Fuente: SDE EEChile.

Actualmente, los PDA tienen radios comunales de influencia a lo largo de todo el país, de acuerdo con las ciudades y sectores más críticos en materia medioambiental. Con respecto al caso de estudio de la presente investigación, el Ministerio del Medio Ambiente presenta para la Región de Los Lagos, un PDA vigente para la comuna de Osorno y actualmente se está desarrollando el anteproyecto para incluir un nuevo PDA en la macrozona centro-norte de la región, incluyendo desde Puerto Montt hasta San Pablo (Mma 2021), lo que si bien no considera la construcción de un plan para la isla grande de Chiloé, permite evidenciar que frente a los problemas expuestos, los que no distan de la realidad de la isla, este debería considerarse en el corto/mediano plazo.

10.1.1. Condominio Parque Los Tineos, Valdivia

El proyecto Parque Los Tineos, ubicado en el sector de Isla Teja en la ciudad de Valdivia, es un conjunto residencial de carácter privado desarrollado por Teja Sur Inmobiliaria, el cual destaca por abordar distintos criterios de eficiencia energética que le permiten ahorrar hasta un 79% de energía anual promedio, acercándolo al estándar PassivHaus mediante el uso de sus principios que le permiten gozar de una gran calidad y reducir la demanda por calefacción. La propuesta consta de 3 etapas con tipologías mixtas, las cuales se dividen en 28 viviendas aisladas, 2 conjuntos de departamentos y 6 viviendas y un strip center que responde a las necesidades de los habitantes.

Figura 18. Condominio Parque Los Tineos



Nota. Fuente: [Teja sur – Parque Los Tineos](#)

Dentro de sus principales características, destacan el empleo de una envolvente continua en su diseño, la cual se recubre con 16 centímetros de poliestireno expandido en muros, 30 centímetros para cubierta y 15 para pisos ventilados. Lo anterior, permite generar un “efecto termo” alrededor de la vivienda, la que, debido a su gran espesor, descarta la presencia de puentes térmicos, los que acostumbran a aparecer en juntas constructivas de espesores más limitados, como los que se estiman en la normativa nacional vigente.

Figura 19. Detalles constructivos y envolvente térmica del proyecto

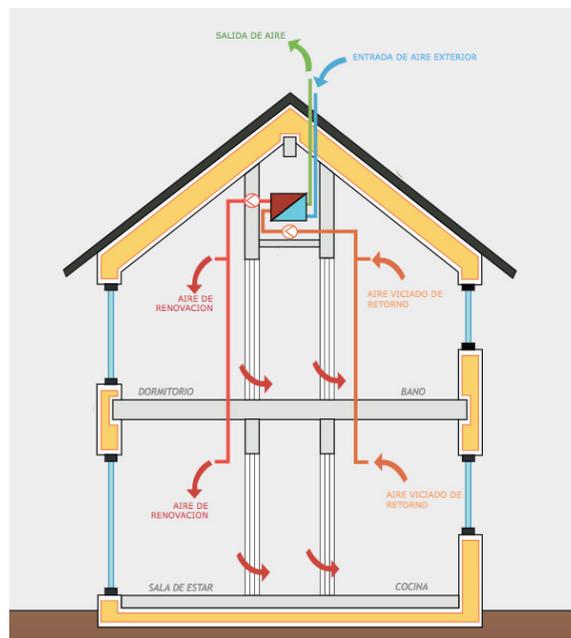


Nota. Fuente: [EEChile Passivhaus – Parque Los Tineos](#)

Las condiciones de la envolvente descritas generan un aumento en la temperatura interior, la que se busca mantener estable ante los cambios de temperatura recurrentes durante el cambio día/noche o en distintas estaciones del año, para lo cual se recurre al uso de ventanas termo panel de alto rendimiento, junto con un especial cuidado de instalación de estas en el espesor comprendido para la envolvente, aislándola del contacto con muros que acostumbran generar puentes térmicos al perjudicar las propiedades de las ventanas eficientes por estar en contacto con materialidades que cumplen roles estructurales.

Junto con lo anterior, las viviendas se complementan con un sistema pasivo de ventilación con recuperación de calor, la cual permite renovar el aire interior de manera permanente y limita el uso de ventanas con el fin de ventilar, lo que a su vez evita el ingreso de material particulado; un sistema de calentamiento de aire que mantiene la temperatura interior estable y un mecanismo de tuberías que distribuyen y facilitan el flujo de aire en todos los rincones de la casa.

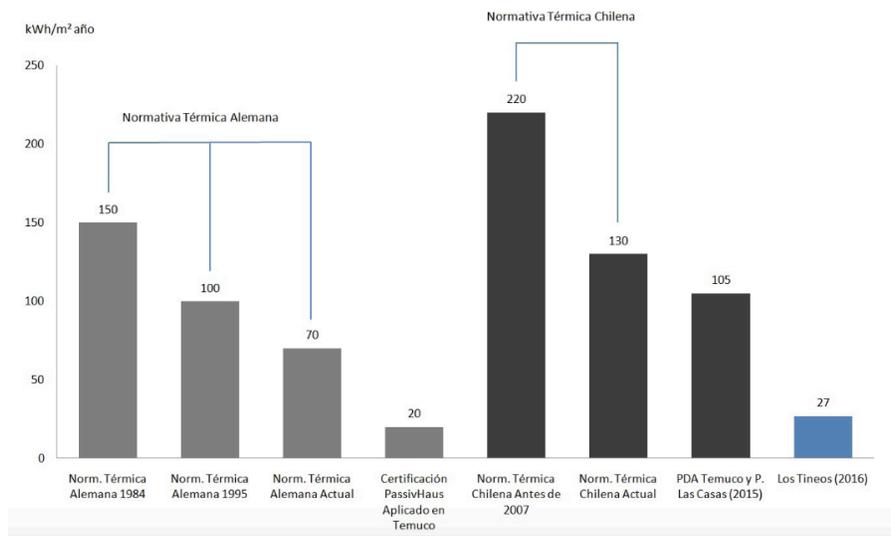
Figura 20. Sistema de ventilación con recuperación de calor.



Nota. Fuente: [EEChile – Los Tineos](#)

Todas las facultades anteriores, le permiten al proyecto un alto rendimiento en eficiencia energética, controlando las variables pasivas que le presenta el entorno y reducir notablemente la demanda energética anual, con tan solo 27 kWh/m²a; 80% más eficiente que lo estipulado por la normativa térmica nacional vigente y un desempeño que se asemeja al estándar PassivHaus, que considera 20 kWh/m²a para su certificación.

Figura 21. Demanda energética anual. Normativa alemana y chilena.



Nota. Fuente: [EEChile – Parque Los Tineos](#)

10.1.2. Condominio Frankfurt, Temuco

Entre los referentes de mayor interés para la investigación, resalta el Condominio Frankfurt en Temuco, un proyecto que consta de 34 viviendas de 180m² promedio, que destaca por ser el primer conjunto habitacional con una central distrital energética en funcionamiento de Chile.

Figura 22. Condominio Frankfurt



Nota. Fuente: [A2s – Condominio Frankfurt](#)

En un contexto habitacional local y regional que comparte los problemas expuestos para el caso de estudio de la presente investigación, se encuentran con una base considerable de viviendas con escaso o nulo acondicionamiento térmico y una gran dependencia de la combustión a leña, generalmente húmeda para calefacción interna que se traduce en una elevada demanda energética domiciliar y consigo una mayor contaminación atmosférica (SMA, 2021), problemas que se consideraron como base del proyecto para el año 2007 y que en la actualidad lamentablemente se sigue padeciendo.

A partir de lo mencionado, el proyecto propone reducir el consumo energético de las viviendas propuestas a través de una serie de objetivos colectivos que contemplan la consideración de variables pasivas en su diseño, tales como la hermeticidad, orientación, eficiencia volumétrica, entre otras, con el fin de lograr un estándar constructivo de alto desempeño para alcanzar rangos de confort adecuados.

Además, se consideran capacitaciones al personal para el entendimiento y ejecución de la obra en términos de eficiencia energética y por último un proceso de certificación que permita medir los indicadores mencionados para acercarse al menor consumo energético posible por vivienda.

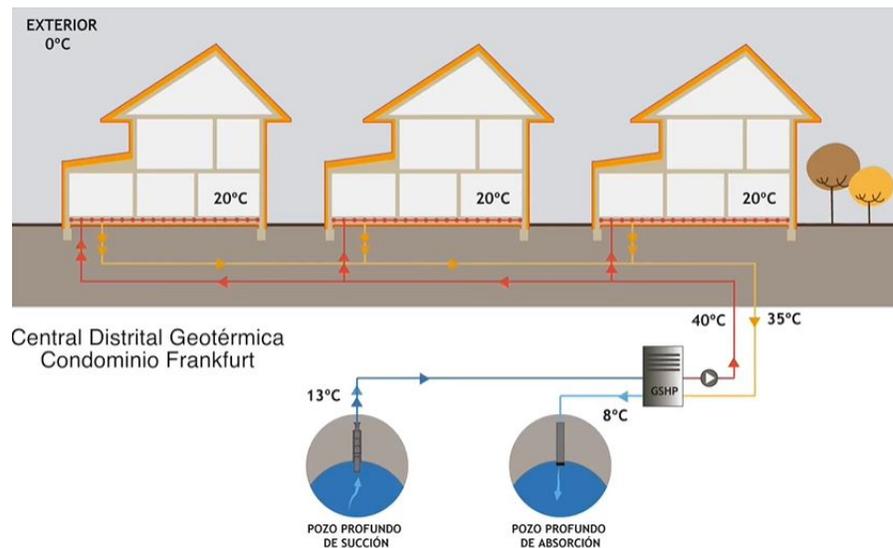
Figura 23. Distribución distrital Condominio Frankfurt.



Nota. Fuente: [Werner Baier – Condominio Frankfurt – Ministerio de Energía](#)

Para lograr este objetivo de bajo consumo, se implementó una central distrital geotérmica para calefacción mediante el uso de losas radiantes y suministro de agua caliente sanitaria, las cuales se distribuyen mediante cañerías y bombas hacia las 34 viviendas del conjunto, garantizando un confort térmico interno constante.

Figura 24. Sistema distrital Condominio Frankfurt.



Nota. Fuente: [Werner Baier – Condominio Frankfurt – Ministerio de Energía](#)

La implementación de este sistema permitió el descartar sistemas de calefacción adicionales en las viviendas, alejando los servicios de combustión tradicionales que han mantenido en alerta a las autoridades sanitarias de la zona. Asimismo, los gastos asociados a agua, electricidad y calefacción presentaron una disminución considerable para los vecinos, aspecto que fue monitoreado desde la entrega de las viviendas en 2007 y su evolución durante los años siguientes, evidenciando un ahorro de hasta el 80% en comparación a una vivienda tradicional basada en el estándar nacional e incluso las recomendaciones sugeridas por el Plan de Descontaminación Atmosférica de Temuco previamente mencionado.

Figura 25. Comparación consumo energético vivienda convencional y vivienda Frankfurt

CALEFACCION		AGUA CALIENTE SANITARIA		AGUA FRIA Y ALCANTARILLADO		ELECTRICIDAD	
2.828	350.662	408	357.816	406	466.620	11.519	1.306.406
Prom Anual	145.102	Prom Anual	148.062	Prom Anual	193.084	Prom Anual	540.582
m2/año	756	Casa/mes	12.338	Casa/mes	16.090	Casa/mes	45.048
m2/día	2,07	Habit/mes	2.056	Habit/mes	2.682	Habit/mes	7.508
\$/kWh	28	\$/m3	877	\$/m3	1.149	\$/kWh	113
Vivienda Convencional	1.602.500		644.256		443.016		540.000
Gasto \$/m2/año CF	756		1.527		2.533		5.348
Gasto \$/m2/año VC	12.820		17.974		21.518		25.838
% Ahorro Anual	94,11%		91,51%		88,23%		79,30%
\$ Ahorro Anual	1.457.398		1.953.593		2.203.524		2.202.943

Nota. Fuente: [Werner Baier – Condominio Frankfurt – Ministerio de Energía](#)

10.1.3. Sendero Bayo, Valdivia.

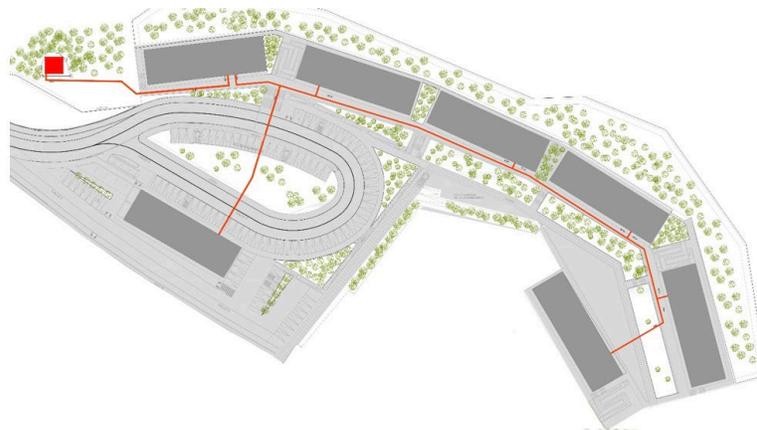
Figura 26. Render Objetivo Proyecto Sendero Bayo



Nota. Fuente: [PassivHaus Austral – Sendero Bayo Edificio 2](#)

El proyecto Sendero Bayo se ubica en la región de Los Ríos, un conjunto de 48 departamentos destinados a viviendas estudiantiles, divididas en 8 edificios de 4 niveles cada uno, los cuales con un dispondrán de una central distrital de energía, con el fin de brindar calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). Actualmente, se encuentran en proceso de ser el primer proyecto en Latinoamérica en obtener la certificación PassivHaus premium, lo que compromete al proyecto en la búsqueda de reducir la contaminación atmosférica en la zona al brindar una alternativa efectiva al alto consumo de leña, reduciendo el gasto de calefacción en invierno y de enfriamiento en verano.

Figura 27. Plano general Proyecto Sendero Bayo



Nota. Fuente: [EEChile – Central distrital, calefaccion y enfriamiento. Proyecto Sendero Bayo](#)

La certificación PassivHaus premium, exige por parte de los proyectos una demanda energética renovable igual o menor a los 30 kWh/m²a, junto con una generación de este tipo de energía de 120 kWh/m²(terreno)a, entendiendo el terreno como huella proyectada por el edificio en cuestión (PAEE, 2018).

Para llevar a cabo un sistema que permita alcanzar el estándar Passivhaus de mayor exigencia, el proyecto se sustenta de diversas medidas de carácter sustentable, a partir del uso de bombas de calor para el suministro de agua caliente sanitaria; un sistema distrital para calefacción y enfriamiento; tratamiento, reutilización y recuperación de aguas grises y negras y el uso de una micro central hidroeléctrica para la demanda energética de los edificios (Austral, 2021).

Figura 28. Esquema Sistema Distrital y tuberías aisladas

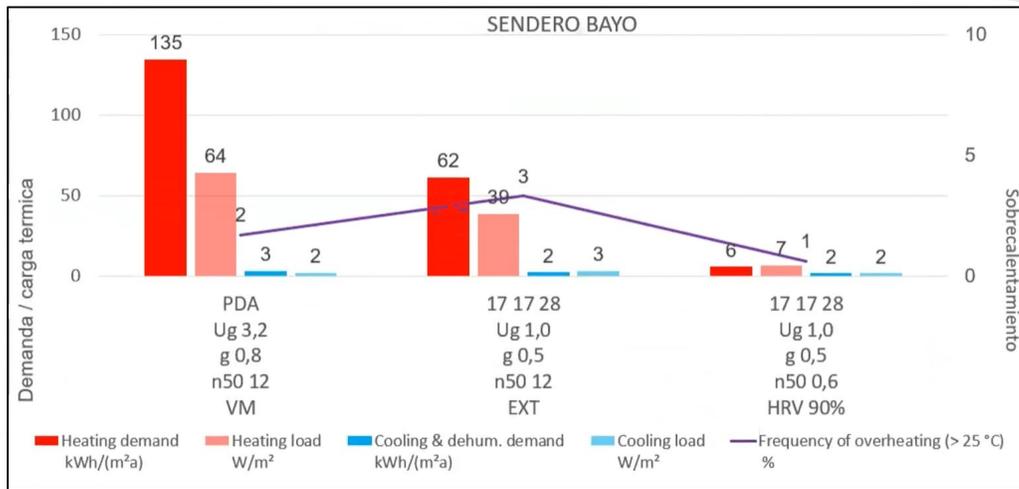


Nota. Fuente: [EEChile – Central distrital, calefaccion y enfriamiento. Proyecto Sendero Bayo](#)

Mediante una unidad central ubicada en el primer edificio del conjunto, se distribuye a través de tuberías aisladas el suministro de agua caliente para preservar el calor, disponiendo de diversas vías de inyección, retorno y recirculación, las que permiten un flujo constante de calor hacia las viviendas para mantener un nivel constante de calefacción interna en las viviendas y para el los escenarios en verano, se usa este mismo sistema pero con suministro de refrigeración para combatir el sobrecalentamiento de la misma, generando un mecanismo de intercambio de flujos que resulta fundamental para lo propuesto por el estándar PassivHaus.

Todo lo anterior, se traduce en una muy baja demanda energética, tanto de calefacción como refrigeración durante todo el año, un antecedente que se permite observar a través del modelamiento y simulación del edificio bajo el criterio de una vivienda PassivHaus.

Figura 29. Resultados modelamiento térmico Proyecto Sendero Bayo.



Nota. Fuente: [PassivHaus Austral – Central Distrital y reutilización aguas grises proyecto Sendero Bayo](#)

Lo contenido dentro del análisis mediante el uso de herramientas de modelamiento térmico para la evaluación del proyecto, se realizó considerando 3 escenarios y su respectivo contraste. En el primer caso, se considera siguiendo el estándar impuesto por el Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) de Valdivia, el cual arroja **135 kWh/m²a** por demanda de calefacción, carga que se ve radicalmente disminuía en el tercer escenario donde se implementa el estándar PassivHaus, el cual demanda para el edificio **6 kWh/m²a**. Cabe destacar, que, para las 3 propuestas, la demanda de refrigeración es baja y similar, lo cual responde a las condiciones de diseño pasivo del proyecto que presentan propiedades altamente eficientes en todos los casos expuestos.

11. Análisis de Informe CEV para Viviendas Sociales

A partir del Informe Técnico CEV proporcionado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en 2017, el cual diagnostica el estado térmico de todas las viviendas evaluadas o preevaluadas a través de su calificación para consumo, demanda y sus variables más relevantes a considerar en cada zona térmica establecida, lo que permite entender los criterios generales que se abordan en las viviendas sociales y como estos determinan su calificación y rendimiento en términos de eficiencia energética.

Figura 30. Clasificación de viviendas según letras de calificación energética de viviendas (Demanda).

VIVIENDAS LETRAS CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	PRECALIFICACIÓN		CALIFICACIÓN		TOTAL	
	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%
A	302	1,0%	11	0,0%	313	1,08%
B	796	2,7%	105	0,4%	901	3,10%
C	3257	11,2%	1359	4,7%	4616	15,90%
D	6070	20,9%	3105	10,7%	9175	31,60%
E	6567	22,6%	5755	19,8%	12322	42,43%
F	1138	3,9%	382	1,3%	1520	5,23%
G	124	0,4%	67	0,2%	191	0,66%
TOTAL	18254	62,7%	10784	37,1%	29038	100%

Nota. Fuente: [Minvu – Informe Técnico CEV 2017](#)

Entre de los resultados relevantes, se abordan 29.038 viviendas de diversas tipologías (aisladas, pareadas/continuas y departamentos), donde se evidencia que la mayoría de las viviendas corresponden a una calificación tipo E con un 42,43%, el cual a su vez se relaciona con el estándar térmico nacional de 2007 que rige de manera obligatoria como piso mínimo para todas las viviendas nuevas, mayoría seguida por las calificadas con letra D con un 31,60%, que corresponden a viviendas que presentan mejoras, ya sea en equipamiento energético como condiciones constructivas en su solución. Por otro lado, la calificación tipo A, la que se relaciona con un estándar eficiente como el PassivHaus presente en la investigación, se limita a un escaso 1,08% con 313 viviendas ingresadas.

Otro aspecto relevante de este primer catastro es el evidente contraste entre viviendas precalificadas y calificadas, siendo estas últimas tan sólo un 37,1% del total registrado, lo que a su vez es posible relacionar con la mayoría de las viviendas calificadas tipo E, entendiendo que el proceso de precalificación basta para comprobar que las viviendas evaluadas cumplen el estándar exigido por la norma chilena de 2007, objetivo a lo que se acoge la mayoría de los proyectos.

Figura 31. Clasificación de viviendas según letras de calificación energética y tipo de proyecto (Demanda)

TIPO DE VIVIENDA	VIVIENDAS PRIVADAS				VIVIENDAS SOCIALES				VIVIENDAS MIXTAS				TOTAL			
	PRE		CALIFICACIÓN		PRE		CALIFICACIÓN		PRE		CALIFICACIÓN		PRE		CALIFICACIÓN	
LETRA DE CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%
A	300	1,0%	10	0,0%	1	0,0%	1	0,0%	1	0,0%	0	0,0%	302	1,0%	11	0,4%
B	747	2,6%	84	0,3%	49	0,2%	21	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	796	2,7%	105	0,36%
C	1206	4,2%	102	0,4%	1992	6,9%	1249	4,3%	59	0,2%	8	0,0%	3257	11,2%	1359	4,68%
D	694	2,4%	300	1,0%	5091	17,5%	2779	9,6%	285	1,0%	26	0,1%	6070	20,9%	3105	10,69%
E	964	3,3%	97	0,3%	5398	18,6%	5526	19,0%	205	0,7%	132	0,5%	6567	22,6%	5755	19,82%
F	21	0,1%	1	0,0%	1117	3,8%	381	1,3%	0	0,0%	0	0,0%	1138	3,9%	382	1,32%
G	13	0,0%	0	0,0%	111	0,4%	67	0,2%	0	0,0%	0	0,0%	124	0,4%	67	0,23%
TOTAL	3945	13,6%	594	2,0%	13759	47,4%	10024	34,5%	550	1,9%	166	0,6%	18254	62,7%	10784	37,5%

Nota. Fuente: [Minvu – Informe Técnico CEV 2017](#)

En lo que a viviendas sociales respecta, concentran el 82% del total de viviendas clasificadas con 23.783 unidades, las cuales mantienen la tendencia a ser calificadas con la letra E, junto con una significativa tendencia a completar su proceso de calificación energética, a diferencia de otros tipos de viviendas registradas en el informe.

Figura 32. Demanda y consumo por zona térmica en kWh/m²a.

VIVIENDAS	PRECALIFICACION		CALIFICACION		PROMEDIO	
	DEMANDA	CONSUMO	DEMANDA	CONSUMO	DEMANDA	CONSUMO
ZONA 1 - A	20,9	85	28,3	100,4	26,7	97,2
ZONA 1 - B	54	242,7	62,1	144,8	56,6	143,4
ZONA 2 - A	92	260,6	98,1	177,5	95,5	170,2
ZONA 2 - B			211,4	273,9	211,4	273,9
ZONA 3 - A	182,3	258,5	148,5	293,3	177,1	263,8
ZONA 3 - B	166,9	234			166,9	134
ZONA 4 - A	158,9	287,3	199,5	303,1	169,8	291,6
ZONA 4 - B						
ZONA 5 - A	227,3	319	226,8	330	227,2	322,7
ZONA 5 - B						
ZONA 6 - A	885,9	1.503,5	215,6	383,9	704,7	1.200,7
ZONA 6 - B						
ZONA 7 - A	305,8	605,3	291,4	597,2	301,3	602,8
ZONA 7 - B	173,4	372,8	237,8	436,1	200,4	399,3

Nota. Fuente: [Minvu – Informe Técnico CEV 2017](#)

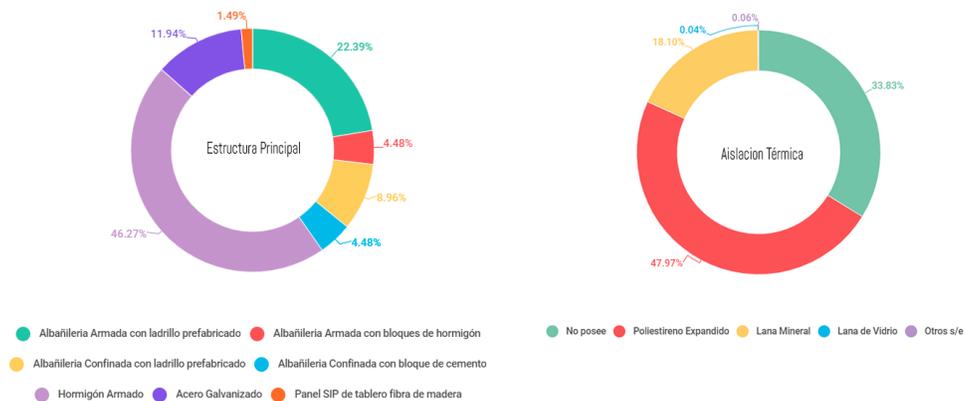
Finalmente, la demanda y consumo en cada zona térmica (ver anexo 2) establece una demanda promedio para la zona térmica 6 del caso de estudio, con **704,7 kWh/m²a** y un consumo promedio de **1.200,7 kWh/m²a**, indicadores que se pueden contrastar con los valores de referencia del mismo informe, que promedian una demanda de 174,1 kWh/m²a y 357,3 kWh/m²a a nivel nacional. Como se puede evidenciar, los índices son bastantes elevados en la zona de interés, lo que responde a la presencia de importantes concentraciones urbanas en la región de Los Lagos como Puerto Montt, Castro, Ancud, Osorno y Puerto Varas (Gore Los Lagos).

Las bajas temperaturas constantes y gran consumo energético son problemáticas que han sido expuestas en la investigación presente y que, si bien pueden presentar variables más extremas para la zona térmica 7 del extremo sur, estas se atenúan en contraste con la densidad poblacional de cada una.

Envolvente, equipos y sistemas

Junto a lo expuesto en el informe en términos de demanda y consumo energético, se entregan también importantes resultados de las certificaciones con respecto a la preferencia de las viviendas sociales para la composición de su envolvente, lo cual resulta de vital interés para entender los indicadores del punto anterior. Junto con esto, se desvela la tendencia acerca de la incorporación de sistemas y equipos energéticos con los cuales se complementan y califican las condiciones de las viviendas, permitiendo entender el cómo estas se están enfrentando las solicitudes y necesidades particulares a lo largo del territorio nacional.

Figura 33. Materialidad estructura principal y aislación térmica de viviendas sociales

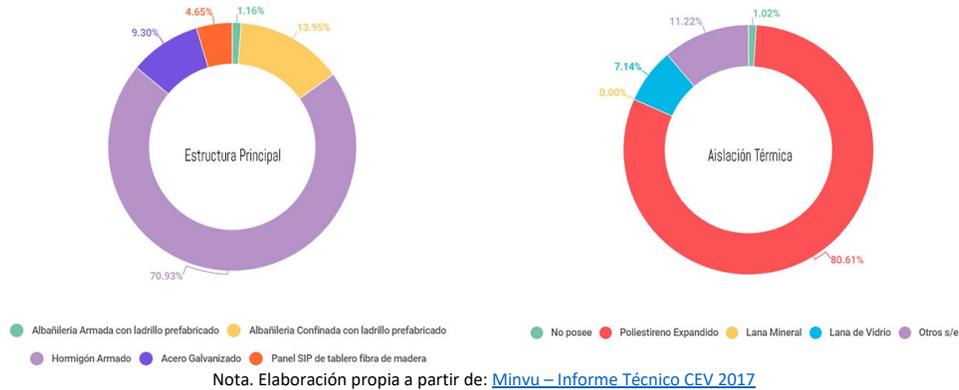


Nota. Elaboración propia a partir de los datos de: [Minvu – Informe Técnico CEV 2017](#)

La información recabada por el informe en términos de materialidad, revelan una tendencia en la composición de la estructura principal de viviendas sociales del uso de hormigón armado y de albañilería armada con ladrillos prefabricados, junto con el uso de poliestireno expandido y lana mineral como principales materiales destinados a la aislación térmica.

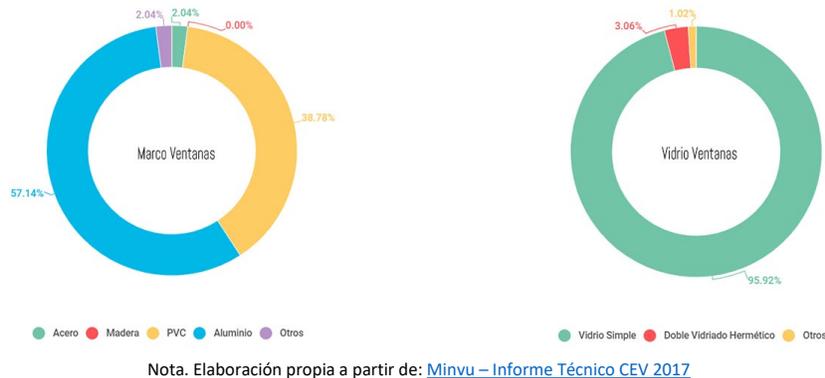
En relación con lo último, destaca entre las preferencias de aislación térmica el hecho de que cerca de un tercio de las viviendas sociales calificadas, no presentan aislación térmica alguna en su proceso de certificación.

Figura 34. Materialidad estructura principal y aislación térmica de viviendas privadas.



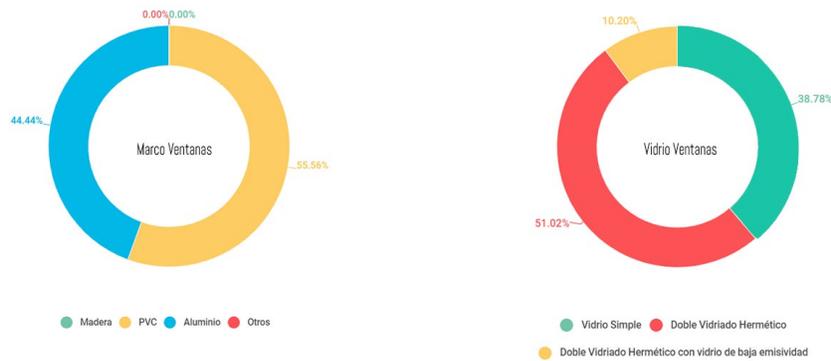
En comparación al catastro para viviendas privadas, el hormigón armado y poliestireno expandido se consolidan como la principal elección para la estructura principal y aislación térmica respectivamente, junto con una disminución en las viviendas sin aislante a un porcentaje mínimo.

Figura 35. Materialidad marcos y vidrios en ventanas de viviendas sociales.



En la composición y estructura de ventanas, se puede apreciar una inclinación a ventanas de aluminio de vidriado simple, siendo esta una de las alternativas más económicas en la industria, pero gran transmitancia térmica si se aprecia en términos de acondicionamiento (CChc).

Figura 36. Materialidad marcos y vidrios en ventanas de viviendas privadas

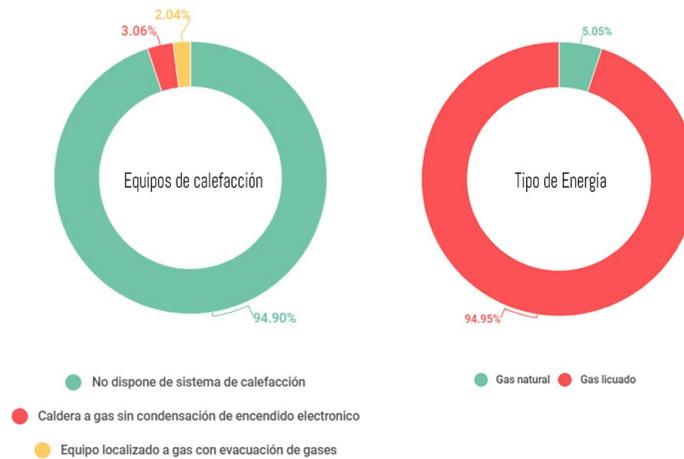


Nota. Elaboración propia a partir de: [Minvu – Informe Técnico CEV 2017](#)

En el contexto de las viviendas privadas, las ventanas de PVC y doble vidriado hermético se imponen por sobre la composición mostrada en las viviendas sociales, mejora que contribuye en la conservación del calor en el interior de las casas.

Sistemas de Calefacción

Figura 37. Tipo de equipos y energía utilizados para calefacción en viviendas calificadas

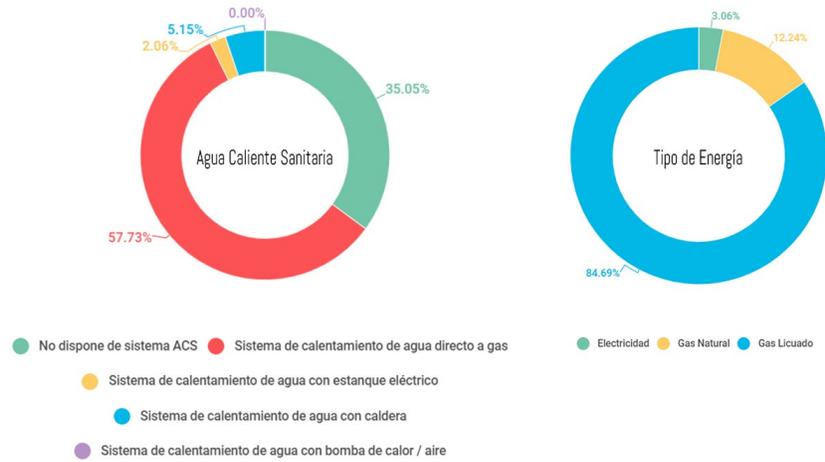


Nota. Elaboración propia a partir de: [Minvu – Informe Técnico CEV 2017](#)

Entre los equipos y sistemas incorporados para las viviendas, los destinados a proveer calefacción son bastante escasos, con tan sólo un 5% de las viviendas certificadas con algún sistema especializado, los cuales sustentan su energía en el gas natural y licuado, este último el más usado por su disponibilidad, capacidad de almacenamiento, transporte e instalación mediante cilindros.

Sistemas de Agua Caliente Sanitaria ACS

Figura 38. Tipo de equipos y energía utilizados para ACS en viviendas calificadas.

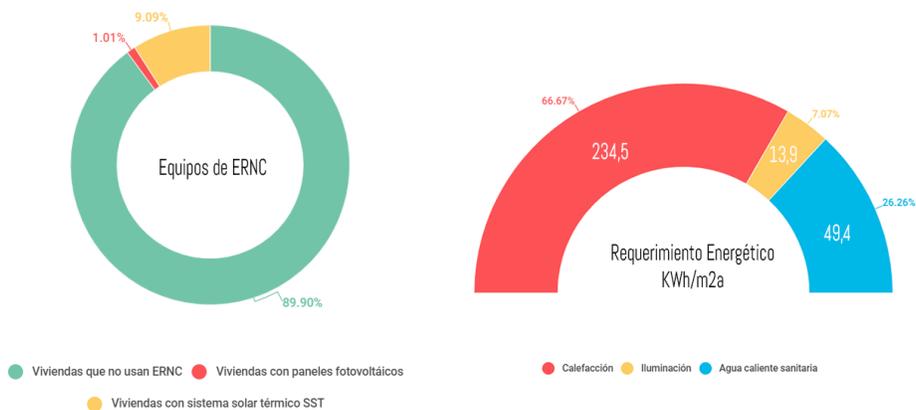


Nota. Elaboración propia a partir de: [Minvu – Informe Técnico CEV 2017](#)

En el área que comprenden los sistemas de agua caliente sanitaria ACS, su preponderancia en consumo y demanda lo sitúa como un equipamiento más disponible en las viviendas nuevas, con un 65% de los casos. Al igual que en los sistemas de calefacción, el sistema ACS de mayor uso es el de calentamiento de agua con conexión directa a gas, manteniendo la preferencia por el gas licuado y natural para su funcionamiento, junto con un uso minoritario de electricidad para el caso de sistemas con estanques eléctricos.

Equipos de ERNC y Requerimientos promedio

Figura 39. Presencia de equipos de ERNC y requerimientos energéticos por vivienda.



Nota. Elaboración propia a partir de: [Minvu – Informe Técnico CEV 2017](#)

La incorporación de equipos de energías renovables no convencionales en viviendas se relaciona a un nivel equivalente al de los equipos de calefacción, debido a la utilidad y potencial para proveer energía para este propósito. Entre los equipamientos más frecuentes, están los sistemas fotovoltaicos y solares térmicos, este último el de menor presencia, pero uno de los de mayor versatilidad para atender demandas de calefacción, ACS e iluminación dependiendo su capacidad e integración.

Cabe resaltar que la ausencia de equipos de ERNC y de sistemas propiamente tal como para el caso de la calefacción, influyen directamente en las emisiones de CO₂ equivalente que las viviendas generan anualmente, con **68,6 kgCO₂/m²a** promedio por vivienda.

Finalmente, y teniendo en cuenta los promedios de las viviendas captadas, la escasa dotación de equipamiento destinado a calefacción en las viviendas influye en el alto porcentaje de requerimiento energético en esta materia, entendiéndose que la demanda no cubre el consumo necesario, lo que deriva en la utilización de equipos de calefacción disponibles en el mercado, como entufas, calefactores y cocinas a leña para cubrir la brecha presente en esta categoría.

12. Análisis Caso de Estudio: Villa Sector Sargento Candelaria, Chonchi, Chiloé.

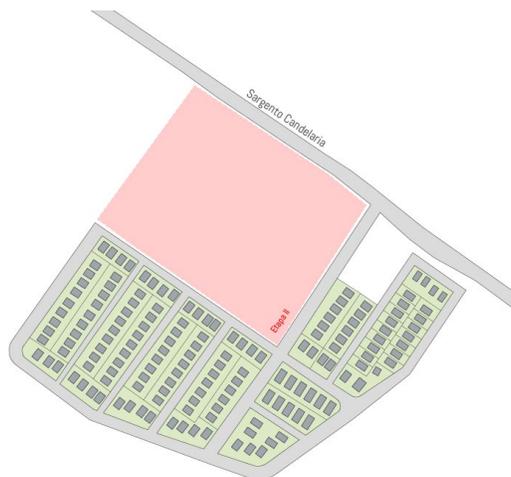
Figura 40. Proyecto Villa Sargento Candelaria, Chonchi, 2022



Imagen 1. Proyecto Villa Sargento Candelaria, Chonchi, 2022. Recuperado de: [Bedecarratz – Proyecto Villa Sargento Candelaria](#)

Destinado al análisis específico de viviendas sociales del caso de estudio propuesto, el proyecto de la Villa Sargento Candelaria es un proyecto financiado por el programa de fondo solidario DS49 y desarrollado por la Inmobiliaria Bedecarratz. El en conjunto se contemplan dos etapas de construcción, la primera en últimas etapas de ejecución a la fecha (ver imagen 1) y la segunda en etapa en fase de estudio dentro del mismo complejo.

Figura 41. Mapa de ubicación Proyecto Villa Sargento Candelaria etapa I y II



Nota. Elaboración propia.

El proyecto se ubica por fuera del límite de área urbana de Chonchi, a unos 15 minutos de la plaza de la ciudad. Se compone de 158 viviendas, las que se conectan a la ruta de Sargento Candelaria del cual recibe el nombre y que conecta directamente con Castro y Dalcahue a través de la ruta 5 hacia el norte de la Isla Grande de Chiloé.

Figura 42. Elevación frontal, planta de primer y segundo piso de vivienda



Nota. Proyecto Villa Sargento Candelaria. Elaboración propia.

En lo que respecta a las viviendas, disponen de 2 tipologías diferentes; una para personas con capacidades diferentes de 51,97m² en un solo nivel y una vivienda tipo de 44,6m² que es la más frecuente entre todas las viviendas del proyecto (ver imagen 2). Ambas tipologías incluyen versiones con ampliaciones, destinadas a aumentar la capacidad habitacional de las mismas y con ello sus superficies útiles, con 13,59m² y 9,6m² respectivamente.

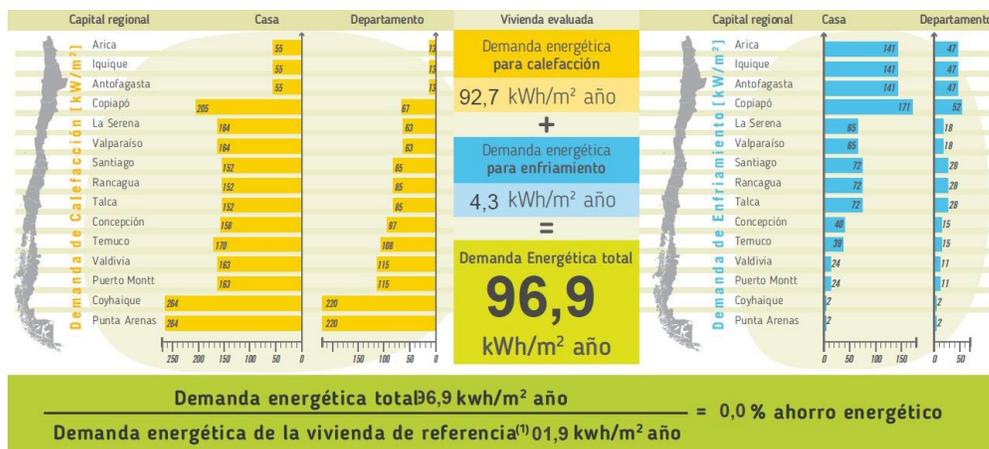
Dentro de su programa, destaca un volumen aislado de dos niveles, dividido entre las áreas de servicio y estar en el primer nivel, el cual se complementa con el patio y el segundo nivel que considera dos habitaciones.

13. Informe CEV – Caso de Estudio

Balance General

La precalificación energética otorgada por la planilla de balance térmico y motor de cálculo del Minvu posiciona a la vivienda con una **etiqueta E** en arquitectura y una **etiqueta C** en energía, lo que oscila entre el 0% y 5% de ahorro energético, el cual a su vez coincide con el piso mínimo que exige el artículo 4.1.10 de la OGUC 2007. La demanda energética global se estima en **96,9 kWh/m²a**, dividida entre una demanda de calefacción de **92,7 kWh/m²a** y **4,3 kWh/m²a** en demanda de enfriamiento.

Figura 43. Demanda energética promedio según zona térmica y tipología en kWh/m²a.



Nota. Elaborado a partir de: Precalificación energética de viviendas, Minvu.

El gráfico posiciona la demanda energética total de la vivienda con respecto al promedio nacional registrado para su tipología, en este caso, vivienda aislada y referencia regional, Puerto Montt, correspondiente a la zona más próxima a Chiloé. Adicionalmente, se dividen los promedios por calefacción y enfriamiento, para lo cual la vivienda se ubica por debajo de los promedios regionales de ambas categorías, lo cual la ubica en un escenario favorable con respecto a la media, pese a lo lejos que se encuentra de un estándar de gran eficiencia. Por último, el análisis arroja un 0,0% de ahorro energético, considerando la demanda energética total sobre la demanda energética de la vivienda de referencia con los pisos mínimos del artículo 4.1.10 de la OGUC, entendiendo que todo esfuerzo o propiedad de la vivienda que esté por sobre estas características, sumará en favor de un porcentaje de ahorro energético positivo.

Consumo energético, sistemas y equipos

Figura 44. Distribución de consumo energético total.

REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA			kWh/m ²	%	CONSUMO POR m ² 293,8 kWh/m ² año	EMISIONES DE CO ₂ e 67,5 kgCO ₂ /m ² año
Agua caliente sanitaria			61,5	0,2		
Iluminación			5,8	0,0		
Calefacción			226,5	0,8		
Energía renovable no convencional			0	0		

Este indicador corresponde a la cantidad de CO₂ equivalente emitido por su vivienda, según el requerimiento de energía primaria total.

		DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS PROYECTADOS	CONSUMO PROYECTADO	%
+	Calefacción	No posee	10094,6 kWh	0,8
+	Iluminación	Iluminación por defecto	259,6 kWh	0,0
+	Agua caliente sanitaria	Calefont 7 litros tiro forzado	2742,0 kWh	0,2
-	Energía renovable no convencional	Sin energía renovable no convencional	0 kWh	0
Consumo requerido total			13096,2 kWh	

		DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE REFERENCIA	CONSUMO PROYECTADO	%
+	Calefacción	En base a combustión de Gas licuado	4720,8 kWh	0,7
+	Iluminación	Iluminación por defecto	122,6 kWh	0,0
+	Agua Caliente Sanitaria	En base a combustión de Gas licuado	2243,4 kWh	0,3
-	Energía renovable no convencional	Sin generación de energía renovable	0 kWh	0
Consumo requerido total			7086,8 kWh	

Nota. Elaborado a partir de: Precalificación energética de viviendas, Minvu.

Para el consumo energético, el análisis proyecta **293,9 kWh/m²a**, los que resultan del consumo requerido total (arquitectura + equipos + tipo de energía utilizada), dividido en los 44,6m² de la vivienda.

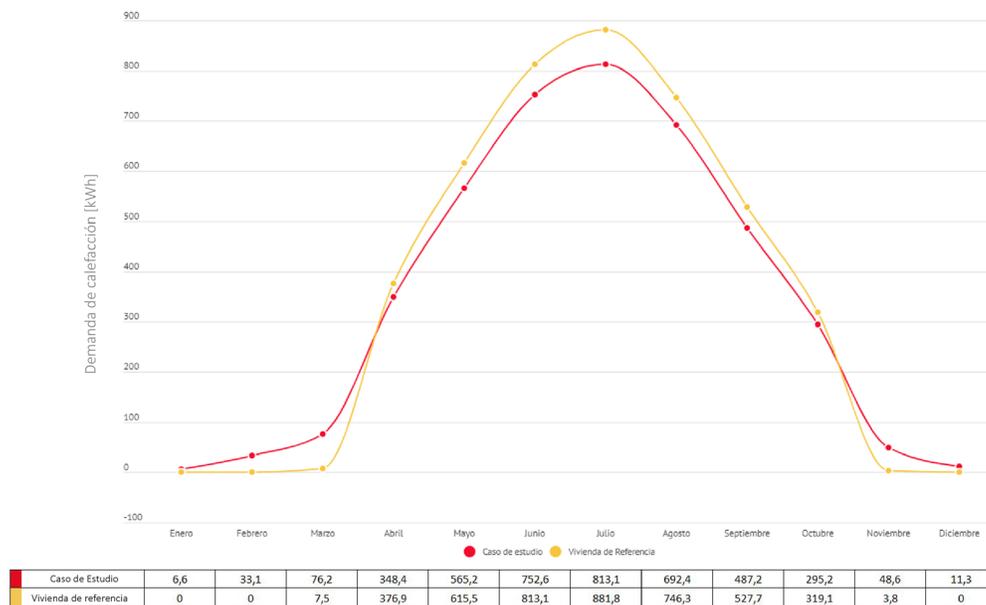
Un interesante aspecto de este apartado del análisis, resulta en la comparación entre los equipos básicos que se proyectan entre la vivienda del caso de estudio y la referencial que ocupa la certificación, puesto que el parámetro más significativo en términos de consumo, se da en el equipo de calefacción interna, basado en la referencia en un equipo a combustión a gas licuado, el cual permite estimar un consumo de casi un 50% menor al de una vivienda sin sistema de calefacción incluido, entendiendo que estas últimas recurren a aparatos externos de mayor consumo y contaminación en la mayoría de los escenarios analizados en la región. Junto con esto, la iluminación por defecto, a pesar de que no se especifica su origen y/o consumo base por elemento, se puede entender las diferencias de consumo, si por ejemplo contrastamos el rendimiento entre ampollas LED y halógenas, siendo esta una decisión que implica un mayor coste inicial pero mayor ahorro a largo plazo, aspecto que tiene una gran importancia tanto en este apartado como en toda la investigación presente. Por último, los dos aspectos que tienen mayor coincidencia con el caso de referencia son el no uso de equipos con uso de ERNC y el sistema de ACS, que se centra en el uso de combustión a gas licuado y para el caso de estudio, la utilización de un calefón de 7 litros, ambos bastante compatibles y relacionables en rendimiento y consumo.

Emisiones de carbono

En lo que corresponde a emisiones de carbono equivalente, se calculan **67,5 kgCO₂/m²** emitido por año, valor levemente por debajo de los **68,6 kgCO₂/m²** promediados a nivel nacional. Entre las principales causas de las emisiones, existe el consumo requerido por la vivienda, producido en gran medida por la inexistencia de un sistema de calefacción interno y a la ausencia de sistemas de ERNC (CEV, 2017).

Demanda energética: balance de calefacción y refrigeración

Figura 45. Demanda de calefacción y rendimiento anual.

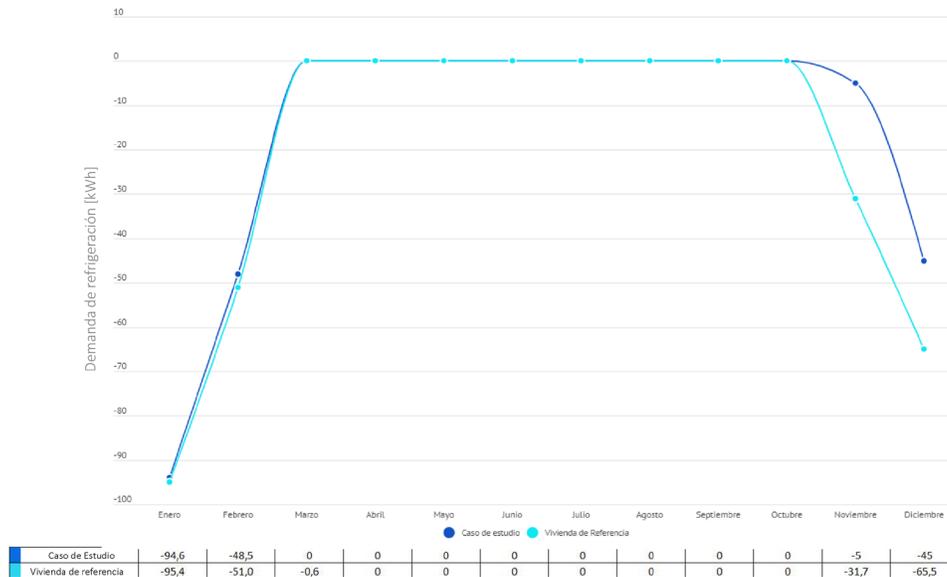


Nota. Elaborado a partir de: Precalificación energética de viviendas, Minvu.

El presente gráfico permite comparar la demanda energética por calefacción del caso de estudio y la vivienda de referencia, las cuales mantienen un balance bastante equilibrado entre sí tanto en invierno como en verano. Para los meses más fríos del año, el caso de estudio presenta una demanda menor en relación con el caso de referencia, aspecto que se invierte para los meses de mayor temperatura. Tomando en cuenta la posición de la vivienda de referencia como el estándar base normativo, ambos casos muestran una deficiencia para evitar las pérdidas de calor en invierno, lo que también acompaña la información del punto anterior con respecto al consumo y el nulo equipamiento en esta materia.

Para el caso de la calefacción en verano, los indicadores presentan un menor incremento, a lo cual se le puede atribuir mayor incidencia a su zona térmica que a sus propiedades internas, debido a la constante humedad relativa y baja oscilación térmica que se mantienen en gran medida estables durante todo el año.

Figura 46. Demanda de refrigeración y rendimiento anual.

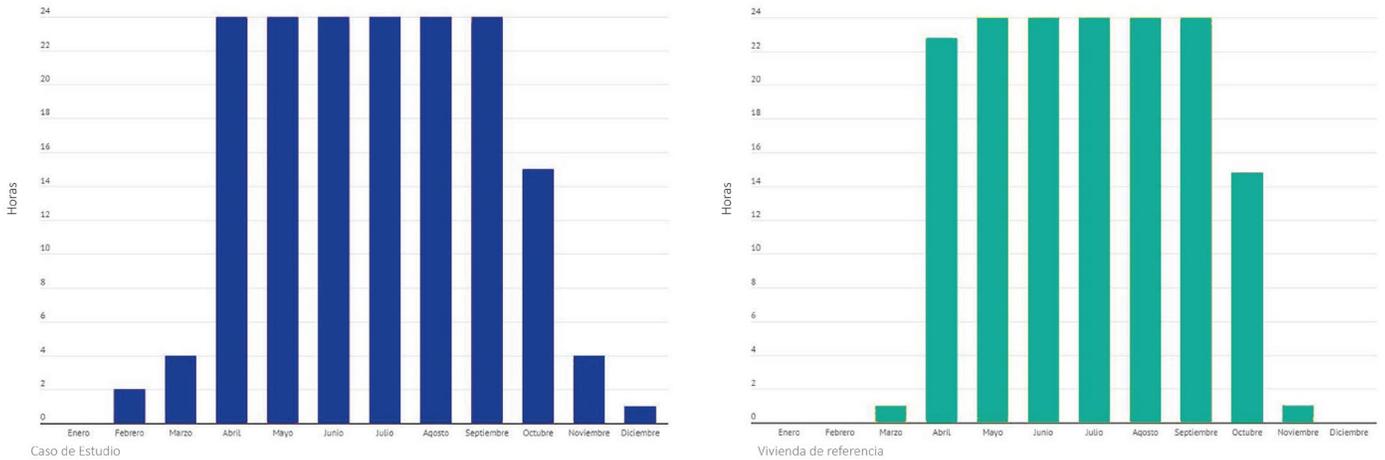


Nota. Elaborado a partir de: Precalificación energética de viviendas, Minvu.

En el contexto de la demanda en refrigeración, esta no presenta valores positivos en su análisis anual, con nula demanda de este tipo en 8 de los 12 meses, explicado por la alta demanda de calefacción en su contraparte. En los meses de verano, ambos casos muestran valores negativos, lo que es indicio de periodos de sobrecalentamiento al interior de los proyectos, variable que puede combatirse con algún sistema de ventilación o control de radiación según sea el caso.

Rango de confort sin equipos

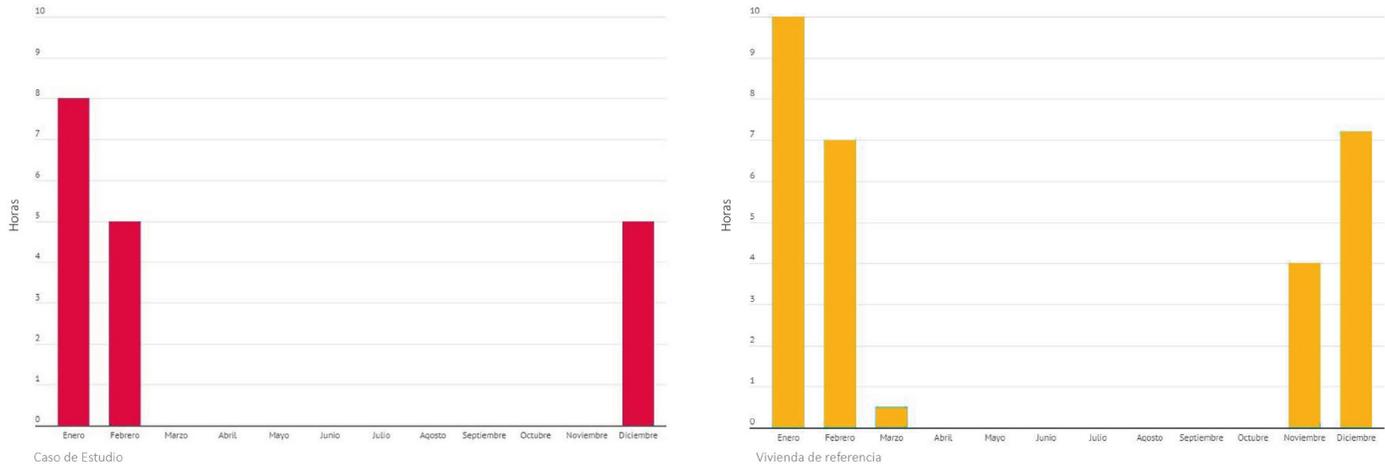
Figura 47. Horas bajo el rango de confort sin el uso de equipos.



Nota. Elaborado a partir de: Precalificación energética de viviendas, Minvu.

Para mostrar el comportamiento pasivo de la vivienda sin la incidencia de equipos, ya sea de calefacción o refrigeración, se mide la cantidad de horas que la casas se ubican por debajo del rango de confort ideal. Para ambos casos, existe un rango por debajo del rango de confort esperado durante el periodo de invierno, lo que implica que la vivienda no logra mantener el calor y requiere de equipos de calefacción durante las 24 horas del día durante estos meses. Para el caso de estudio en particular, esta situación se repite durante algunas horas durante el verano, lo que se puede trasladar al escenario de presentar pérdidas importantes de calor en la madrugada cuando la temperatura disminuye en mayor medida.

Figura 48. Horas sobre el rango de confort sin el uso de equipos.



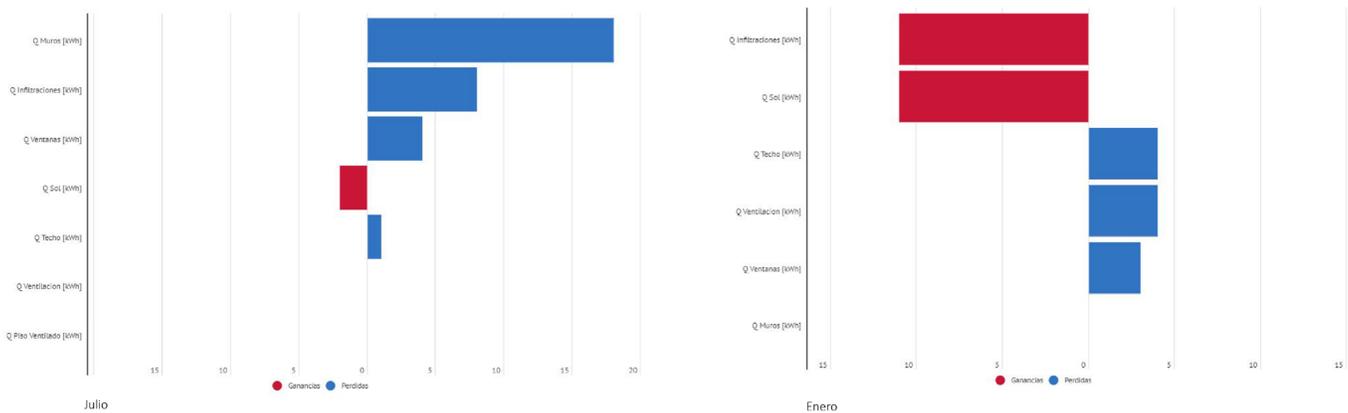
Nota. Elaborado a partir de: Precalificación energética de viviendas, Minvu.

Mientras tanto, el comportamiento pasivo en escenarios por sobre el rango de confort, genera instancias de sobrecalentamiento durante algunas horas del día en verano. Con un mejor pronóstico para el caso de estudio en este sentido, los periodos con sobrecalentamiento se limitan a los meses de verano de mayor temperatura, con un máximo de 8 horas en enero en las cuales la vivienda presenta un aumento, rendimiento que obtiene un contraste significativo con la vivienda de referencia, que padece de este problema durante mayor cantidad de horas y durante más meses del año.

Desempeño de Envoltente

Analizando el desempeño de la envoltente, se toman en cuenta las ganancias y pérdidas de dos meses con temperaturas opuestas, para observar cuales son los elementos de esta que mayor influencia tienen en el confort térmico interno de la vivienda.

Figura 49. Ganancias y pérdidas mensuales de la envolvente en kWh



Nota. Elaborado a partir de: Precalificación energética de viviendas, Minvu.

Durante el mes de julio, el mayor flujo térmico lo genera la pérdida a través de los muros, junto con pérdidas por infiltraciones y flujo a través de las ventanas y techo, marcando como única ganancia en una cantidad menor para lo obtenido a través de la radiación solar. Por contraparte, el mes de enero marca ganancias significativas por radiación e infiltración, esto último evidenciando un problema constante de la envolvente para el paso de frío y calor a través de sus elementos. En el caso de las pérdidas, estas se centran en un problema de ventilación, donde a través de las ventanas, circulación y flujo ascendente de calor hacia el techo, resulta un fenómeno en conjunto que explica las pérdidas de temperatura en este periodo de verano.

También vale mencionar que el flujo térmico en elementos de la envolvente como pisos ventilados y puntos térmicos específicos, pese a evaluarse en el caso de estudio, no presentan valores que impliquen cambios de temperatura al interior de la vivienda.

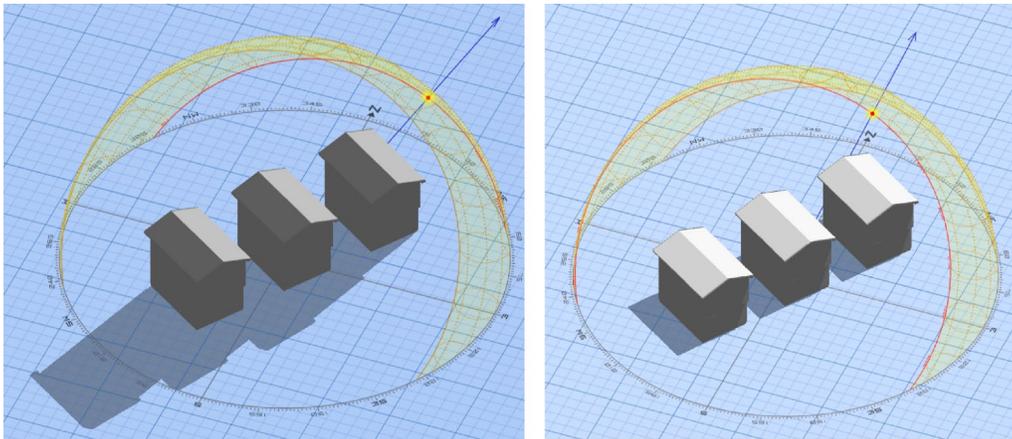
14. Análisis comparativo PassivHaus

1. Máximo Aislamiento

El primero de los principios básicos con el que uno asocia al estándar PassivHaus, recae en alcanzar un máximo aislamiento que se traduzca en una vivienda con inercia térmica que posea el control sobre su temperatura interna y la pueda administrar a su beneficio. Para un clima de características frío-templadas, esta inercia es necesaria considerando las diferencias de temperaturas que se pueden generar principalmente en invierno, entendiendo que un aislamiento deficiente puede echar por tierra cualquier esfuerzo por calefaccionar la vivienda y que esta se gestione en un consumo reducido como postula un proyecto PassivHaus.

En esta área, la transmitancia térmica es aquella característica que permite medir el grado y calidad de aislación presente en los proyectos, para lo cual la normativa nacional abordada también en el informe, fija los pisos mínimos requeridos para todos los elementos de la envolvente. Estos han de variar según sus propiedades térmicas, entendiéndose su capacidad de conducir (o no) el calor, resistencia y densidad propias y su espesor proyectado, entendiendo que en todo proyecto existe una composición constructiva de carácter estructural, al cual se le agregan capas de aislantes, barreras, revestimientos, entre otros. Es indispensable entonces, comprender que la suma de elementos que cumplan una función de aislante conformará una masa térmica que destinará sus esfuerzos a mantener la temperatura interior lo más estable posible ante las diferencias externas. Cuando esta masa ve sobrepasada su capacidad de sostener esta energía, esta se satura y se libera al exterior, escenario que centra la discusión sobre cómo funciona el aislamiento térmico y fija las bases de cómo abordarlo correctamente (Wassouf, 2014).

Figura 50. Simulación solar del caso de estudio en invierno y verano respectivamente



Nota. Elaboración propia

Las principales ganancias térmicas que ponen a prueba esta mecánica resultan del aporte por radiación solar, uso de artefactos y lo generado a partir de la actividad humana, estableciendo la necesidad en una vivienda que sea capaz de generar una inercia térmica, el uso de sistemas de ventilación que ayuden a controlar la temperatura interna y permitan liberar los excesos de esta de manera balanceada. Para aprovechar la ganancia solar. La orientación que propone el proyecto permite aprovechar la radiación solar en parte importante de sus fachadas y zonas de mayor uso del programa, beneficio que presenta un mejor desempeño en verano que en invierno, esto último debido a la proximidad entre viviendas, lo que genera una proyección de sombra que puede llegar a obstaculizar la radiación directa con el mismo rendimiento que presenta durante el verano (ver figura 50).

Figura 51. Tabla coeficiente mínimo de transmitancia térmica U [W/(m2K)] según zona Climática en el PHPP (Passive House Planning Package).

Zonas Climáticas según el PHPP (Passive House Planning Package)	Envolvente Opaca en contacto con el aire		Ventanas y Puertas exteriores
	Aislamiento por el Exterior	Aislamiento por el interior	Coeficiente máx. de Transmitancia de Calor
	Coeficiente máximo de Transmitancia de Calor (Valor = U) [W/(m2K)]		
Artica (Arctic)	0,09	0,25	0,45
Fria (Cold)	0,12	0,30	0,65
Fria Templada (Cold Temperate)	0,15	0,35	0,85
Cálida templada (Warm Temperate)	0,30	0,50	1,05
Cálida (Warm)	0,50	0,75	1,25
Calurosa (Hot)	0,50	0,75	1,25
Muy calurosa (very Hot)	0,25	0,45	1,05

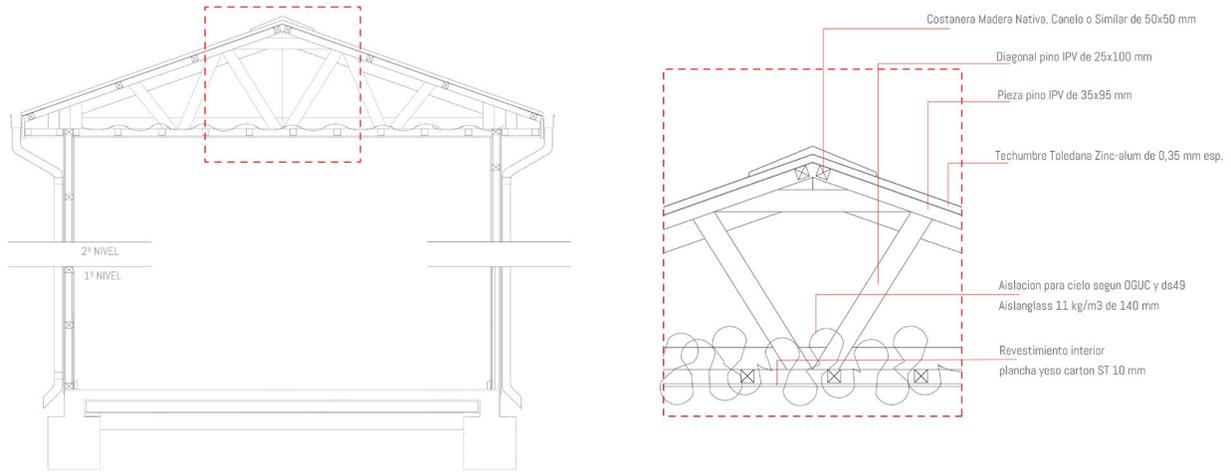
Nota. Fuente: <https://www.passivhauscostadelsol.com/2019/03/27/importancia-del-aislamiento-termico-y-el-passive-house/>

Dentro del área de PassivHaus y la zona climática asociada al caso de estudio (fría templada), fija un criterio para establecer un **coeficiente máximo de transmitancia térmica de 0,15 W/m²K para aislamiento exterior y 0,35 W/m²K para interiores**, lo que se traduce que se permiten 0,15 w de transferencia de energía por m2 por cada grado kelvin que exista de diferencia de temperatura (Wassouf, 2014). Al respecto, el artículo 4.1.10 y la norma térmica nacional Nch 849, establecen actualmente distintos valores transmitancia térmica para los distintos elementos de la envolvente, siendo de **0,28 W/m²K para techo, 1,10 W/m²K en muros y 0,39 W/m²k en pisos ventilados** (ver figura 51) para la zona térmica 6 involucrada para el caso de estudio.

En cuanto a consideración de espesores, un edificio PassivHaus en un clima frío o ártico, contempla espesores de entre 25 a 40 cm, en relación con coeficientes máximos de entre 0,09 a 0,15 W/m²K. Para contextos climáticos más cálidos, se mencionan espesores de 5 a 25 cm de *aislación*, bajo coeficientes que van desde los 0,15 hasta los 0,45 W/m²k (Wassouf, 2014).

Teniendo en cuenta las bases recomendables para lograr una adecuada aislación térmica, es posible evaluar el caso de estudio según su composición constructiva, materiales destinados a la aislación y el espesor existente con relación a los distintos parámetros de medición.

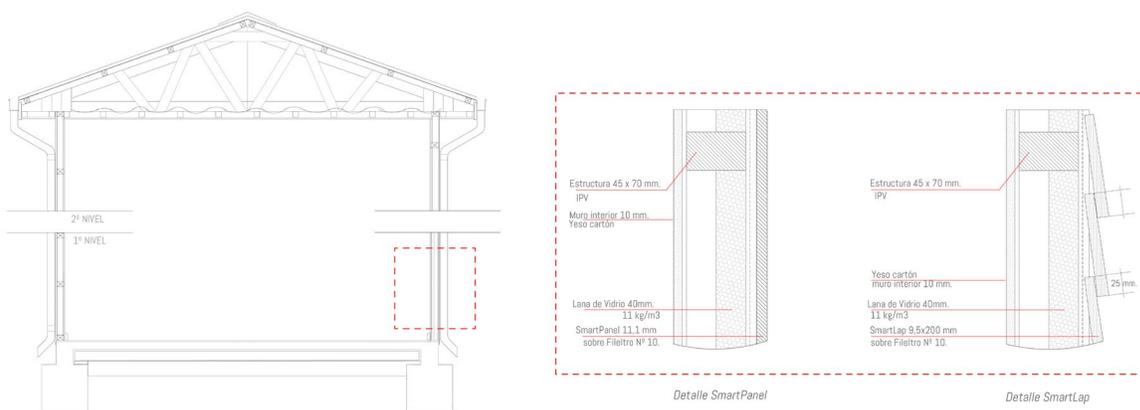
Figura 52. Detalle constructivo de techo. Proyecto Villa Sargento Candelaria



Nota. Elaboración propia.

En base a la composición constructiva del techo en el caso de estudio, el techo cuenta como principal aislante un rollo de lana de vidrio AislanGlass de *140mm de espesor* y un *U de 0,29 W/m²K*, solución que se encuentra levemente por encima de la reglamentación térmica (*0,28 W/m²K*), pero que califica como material aislante acorde a la *zona térmica 6 (R=329)* y que incluye un papel en una cara de papel Kraft, lo que funciona como barrera de vapor.

Figura 53. Detalle constructivo de muros. Proyecto Villa Sargento Candelaria

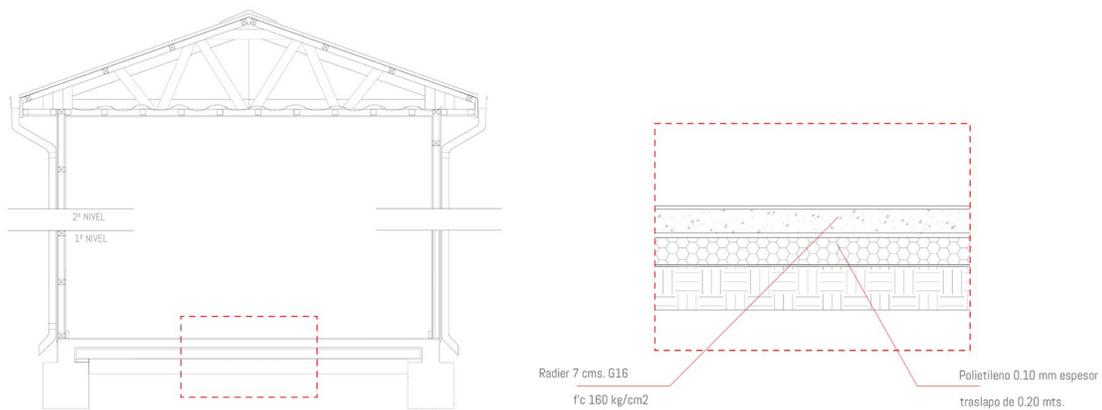


Nota. Elaboración propia.

En la composición de muros, constan de elementos de *2x3"*, junto a un aislante de lana de vidrio de 40mm, papel fieltro con aislación interior y materialidad en madera, lo que constituye un espesor estructural de 8,1 cm y un espesor aislante de 4 cm.

En cuanto al revestimiento, la constructora dispone de dos sistemas, a través del SmartLap y SmartPanel (ver figura 53) el primero con un sistema de tableros lisos y el segundo con tinglado, ambos considerados en la vivienda estudiada, implementándose el sistema SmartPanel para el primer piso y SmartLap para el segundo. La suma de estos elementos, entrega un coeficiente U de 0,848 (W/m²K), que se ubica por debajo de los 1,1 (W/m²K) de la reglamentación térmica.

Figura 54. Detalle constructivo de piso. Proyecto Villa Sargento Candelaria.



Nota. Elaboración propia.

El piso, a pesar de no considerarse como piso ventilado, incluye una losa de hormigón de 7 cm, con un $U = 3,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ y un aislante bajo piso de polietileno expandido de 0,10mm de $U = 1,63 \text{ W/m}^2\text{K}$, desmarcándose de los $0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$ que se exige por norma al no constituirse como ventilado.

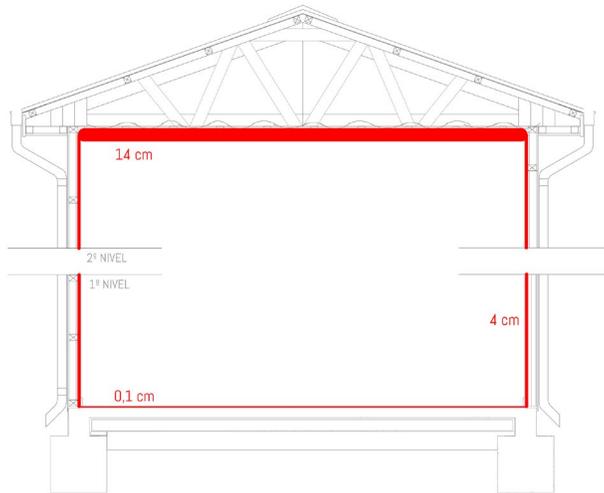
En el global de los aislantes del caso de estudio, existen disparidades en las condiciones de estos en los distintos elementos de la envolvente, entendiendo que estos se equipan en función de lo que la reglamentación térmica vigente les solicita por sobre el generar continuidad la conformación de una barrera térmica balanceada que pueda alcanzar la inercia térmica adecuada.

Regla del Lápiz para inercia térmica

Para detectar las ventajas y desventajas de los materiales aislantes en la vivienda, la regla del lápiz resulta un ejercicio sumamente útil, ya que se puede utilizar en todo tipo de planimetría, ya sea a un nivel esquemático o detalles constructivos, para contemplar todas las variables que se pueden interponer en alcanzar un nivel de aislación óptimo como lo requiere el estándar PassivHaus.

Al generar un trazado continuo a lo largo de la envolvente del proyecto, se puede dotar de un grosor de línea acorde al espesor de aislante presente en cada elemento de la edificación para detectar aquellas zonas con mejores condiciones de aislamiento y aquellas que poseen menores condiciones para mantener la temperatura interna a un nivel eficiente.

Figura 55. Regla del lápiz para aislación térmica.



Nota. Elaboración propia.

Pese a las diferencias notorias entre espesores de aislantes, esta configuración le permite calificar acorde a la reglamentación térmica nacional y certificarse a través del informe CEV con la etiqueta E como se explicitó en el detalle de este. Esto demuestra la distancia que existe en términos de criterios para capacitar a los proyectos, al asignarle distintas solicitudes a los elementos de la envolvente, sin considerar que la falta de continuidad o eventuales desprolijidades en las juntas de materiales puede encarecer aún más el desempeño térmico de las viviendas, aspecto que se profundiza en principios fundamentales del estándar PassivHaus como la hermeticidad. Hay una notable diferencia de espesores proyectables para considerar a una vivienda entre un caso que cumpla con la reglamentación térmica nacional y una con alto estándar de eficiencia energética, lo cual claramente implica diferencias en inversión y calidad de materiales, pero también de reglamentación y exigencias básicas para evitar que un bajo espesor de aislantes se traduzca en pérdidas constantes de energía, situación que también es apreciable en el informe CEV del proyecto, donde la principal pérdida mensual de la envolvente eran las que se producían a través de los muros.

En el programa de construcción sustentable impulsada por la calificación energética de viviendas, introdujo en su informe del año 2014, una serie de recomendaciones para mejorar las condiciones térmicas de la envolvente por sobre el mínimo de la reglamentación térmica nacional.

Figura 56. Mejoras de diseño para viviendas calificadas. Informe CEV 2014

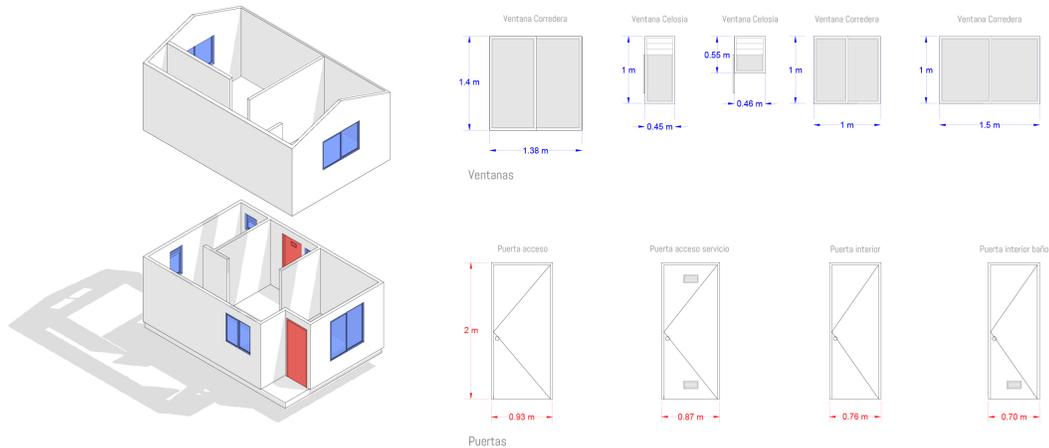
CALIFICACIÓN	MEJORAS EN EL DISEÑO
A	<ul style="list-style-type: none"> • Ventanas DVH, U inferior a 3 • 10 cm de aislación térmica en muro por sobre la OGUC • 5 cm de aislación térmica en techumbre por sobre la OGUC • Aislación de piso sobre terreno con KI = 1
B	<ul style="list-style-type: none"> • Ventanas DVH, U inferior a 3.6 • 5 cm de aislación térmica en muro por sobre la OGUC • 5 cm de aislación térmica en techumbre por sobre la OGUC • Aislación de piso sobre terreno con KI = 1
C	<ul style="list-style-type: none"> • 5 cm de aislación térmica de muro por sobre la OGUC • 5 cm de aislación térmica de techumbre por sobre la OGUC • Aislación de piso sobre terreno con KI = 1
D	<ul style="list-style-type: none"> • 5 cm de aislación térmica de muro por sobre la OGUC

Nota. Recuperado de: <https://www.calificacionenergetica.cl/media/CEV-2014.pdf>

Dentro de sus recomendaciones y tomando la base mínima reglamentaria con la *calificación E*, se entregan distintas medidas que pueden orientar al proyecto hacia una mejor calificación energética. Si tomamos de referencia que el caso de estudio posee una calificación E y el estándar PassivHaus se puede adquirir a partir de una calificación A en adelante, el aumento de espesor en aislación térmica para toda la envolvente es indispensable. De considerarse dicha mejora, implicaría aumentar de 14 a 20 cm de espesor de aislante para el techo, de 4 a 15 cm el espesor para muros y considerar una aislación de piso con al menos una transmitancia térmica lineal igual a 1.

2. Ventanas y puertas de alto desempeño

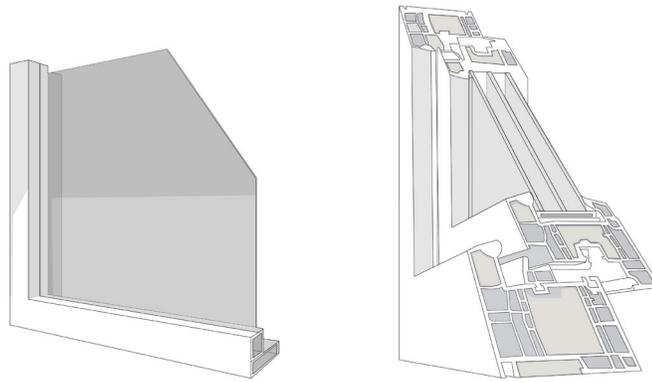
Figura 57. Inventario de puertas y ventanas.



Nota. Elaboración propia.

Las puertas y ventanas de la vivienda resultan de vital importancia de cara a entender como el proyecto enfrenta los flujos térmicos, sabiendo que a través de los vanos es donde mayor temperatura se pierde y también el rol de estos en la ventilación interna de las casas. La puerta de acceso principal y la de servicio, constan de **tableros HDF de alta densidad**, de mayor resistencia a la humedad y de mejor respuesta ante la pérdida de calor, aspecto que se considera versus las interiores que son de MDF y tableros de terciado corriente. En las puertas con adyacencia a zonas de humedad, como el baño y la cocina, se agregan pequeñas celosías para regular la ventilación en estas zonas, controlar la humedad interior y evitar la saturación de aire interno que puede generar eventuales fugas de gas en el último de los casos. Con respecto a las ventanas, son de PVC, **vidriado DVH, espaciador de 6mm y un U de 3,28 [W/M²k]**, divididas en correderas en zonas de dormitorio y estar y con celosías transparentes abatibles en sectores húmedos, cumpliendo la misma función que las puertas descritas anteriormente.

Figura 58. Esquema comparativo ventana de vidrioado simple y PassivHaus



Nota. Elaboración propia.

En la categoría de ventanas de alto desempeño en una vivienda PassivHaus, involucra una mezcla entre altas prestaciones térmicas proporcionadas por su materialidad y rigurosidad técnica en su montaje para aprovechar una máxima eficiencia energética a un consumo de lo más reducido posible.

Figura 59. Tablas 1 y 2. certificación Passivhaus en cristales y eficiencia energética en elementos transparentes.

Zona climática PH	Valor U aislado [W/m2k]	Valor U a muro [W/m2k]	Acristalamiento de referencia [W/m2k]
1. Polar	0.40	0.45	0.35
2. Frio	0.60	0.65	0.52
3. Frio-Templado	0.80	0.85	0.70
4. Calido-Templado	1.00	1.05	0.90
5. Calido	1.20	1.25	1.10
6. Caluroso	1.20	1.25	1.10
7. Muy Caluroso	1	1.05	0.90

Coefficiente perdida de calor ψ [W/mK]	Clase eficiencia PH	Descripcion
≤ 0.065	PhA+	Elemento muy avanzado
≤ 0.110	phA	Elemento avanzado
≤ 0.155	phB	Componente basico
≤ 0.200	phC	Componente certificable

Nota. Elaborado a partir de: <https://www.energiehaus.es/certificado-passivhaus-de-componentes-en-perfil-de-ventanas/>

El estándar PassivHaus, otorga una certificación especial a aquellas ventanas aptas para desempeñarse en un proyecto que busque este tipo de calificación energética, estableciendo parámetros específicos para lograr el mayor rendimiento posible y sumarse a una línea de envolvente eficiente en la vivienda. Los principales requisitos para que una ventana califique dentro del estándar, se exige un **coeficiente de transmitancia térmica global (K) igual o menor a 0,80 W/m²K** para el caso de ventanas aisladas e igual o menor a **0,85 W/m²K** para las ubicadas al interior de los muros. En ambos casos, se exige un factor solar de protección de al menos un 50%, todo lo anterior señalado para climas frío – templados que corresponden al contexto geográfico de Chiloé (EnergieHaus, 2019).

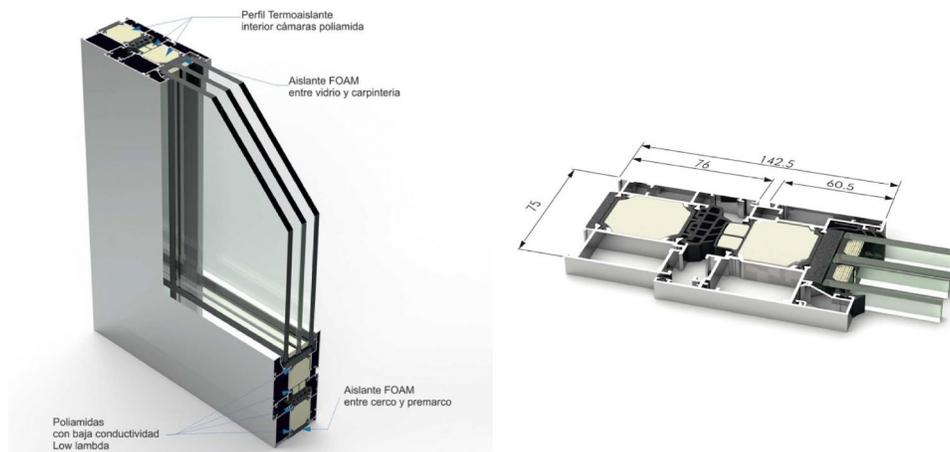
Las ventanas del caso de estudio, poseen perfiles de PVC, los cuales presentan mejor comportamiento ante la transmitancia térmica en relación a sus pares de aluminio, junto con una mejor respuesta ante efectos de condensación, corrosión y resistencia física, sin embargo, en climas con importante presencia de vientos como el caso de Chiloé, estos perfiles requieren reforzamientos metálicos para evitar sufrir deformaciones, lo cual puede afectar sus propiedades térmicas en beneficio de resistir este tipo de esfuerzos (Cchc, p106, 2015).

Transmitancia térmica U [W/(m²·K)]	Perfiles					
	Aluminio			PVC		Madera
	Con RPT 12 [mm]	Con RPT 4 [mm]	Sin RPT	Americano	Europeo	
	3,2	4	5,7 - 5,8	2,8	1,8	2 - 2,2

Fuente: Manual de Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso, tabla 3.4-B, Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, 2010.

Entre las variedades de perfiles PVC, existen las de estilo americano y europeo, los cuales poseen diferencias no despreciables en sus propiedades térmicas y físicas. El perfil americano, es el más básico y económico de los dos, con un índice de transmitancia térmica de 2.8 y una gran facilidad de montaje, mientras que el europeo posee variedades que alcanzan un *U de 1.8*, compatibilidad con acristalamientos múltiples con cámaras de aire que mejoran muchísimo sus condiciones térmicas y puede colaborar estructuralmente con los muros por sus roturas de puentes térmicos (RPT) que combate las pérdidas de calor.

Figura 60. Detalle constructivo ventana Alg 75 Máxima Passivhaus y cotas (mm).



Nota. Grupo Alugom.

En relación con el acristalamiento, una ventana idónea con el estándar PassivHaus requiere de un sistema de triple vidriado hermético y doble vidriado en contextos climáticos más cálidos (Wassouf, 2014). Adicionalmente, se requieren de aislantes y sellos de alta calidad en sus bordes, debido a que la transmitancia térmica de estos no debe perjudicar el rendimiento de la ventana con valores superiores al coeficiente global del elemento. Junto con esto, se acostumbra a complementar la función de las cámaras de aire de los perfiles con el uso de gases nobles, como es el caso del argón, para combatir la permeabilidad térmica que pueda poseer el aire corriente (Climalit, 2018).

A la hora de revisar el acristalamiento del caso de estudio, hay un contraste no menor en términos de acondicionamiento térmico, debido a su considerable transmitancia térmica en base a los dos cristales de 6mm, lo que fija una transmitancia base de 2.8, que sumado a la del marco de PVC resultan en los 3.8 especificados en el informe, alejándolo de un rendimiento óptimo como el que se percibe en las alternativas que consideran cristales Low-e en adelante (ver figura 51).

Figura 51. Transmitancia térmica y coeficiente de sombra de vidrios disponibles

	Vidrios				
	Monolítico	Doble vidrio Hermético (DVH) con cámara de aire de 12 [mm]			
	6 mm	Con 2 cristales comunes de 6 mm	Con un cristal Low-e de 6 mm y un cristal común de 6 mm	Con 2 cristales comunes de 6 mm y gas Argón	Con un cristal Low-e de 6 mm, un cristal común de 6 mm y gas Argón
Transmitancia térmica U [W/(m²·K)]	5,8	2,8	1,8	1,8	1,3
Coefficiente de sombra	0,98	0,81	0,51	-	0,28

Nota. Manual de acondicionamiento térmico, CChC, 2015.

El doble vidriado hermético, consta de una transmitancia térmica de 3.8 junto a un coeficiente de sombra del 78%, lo que contrasta radicalmente con las alternativas más cercanas a considerarse en un estándar PassivHaus. Pese a que todas las alternativas están lejos de los 0,85 W/m²K que exige el estándar, la alternativa DVH implica una importante pérdida de calor a través de los cristales, aspecto que también arrojó el informe CEV en pérdidas a través de la envolvente.

También es importante destacar que la configuración de una ventana PassivHaus, con un triple vidriado o relleno de gases nobles, hace indispensable de la existencia de un sistema de ventilación con recuperación de calor para desprenderse de que esta función la cumplan las ventanas como tal, lo que eleva la discusión y dificulta la compatibilidad de implementarlas en un proyecto de viviendas sociales por el alto costo que implicaría el dotar a todas los vanos de ventanas PassivHaus y que estas se complementen con un sistema de ventilación, generando un punto de inflexión considerable si lo que se busca es un acondicionamiento térmico que esté a la altura del estándar. A pesar de esto, el implementar alternativas como los cristales low-e, resultarían en un avance significativo en la búsqueda de reducir las pérdidas de calor, elementos que podrían adquirirse a un precio razonable en relación con las ventanas existentes.

Puertas

El caso de las puertas es tan relevante como el de las ventanas, puesto que resultan de vital importancia para preservar la hermeticidad de la vivienda, así como también la aislación y propiedades que se buscan preservar en el resto de los elementos de la envolvente para puertas que se encuentren en contacto con el exterior. El caso de estudio, las dos puertas que conectan con el exterior, están constituidas de madera sólida de alta densidad (HDF) de 45mm de espesor, un U de 1.8 y 0% de vidriado, lo que si bien es un parámetro positivo si se toma en referencia el caso de las ventanas, se encuentran lejos de los 0,85 exigidos por el estándar.

Es de particular interés el caso de las puertas, ya que, si bien no se incluyen explícitamente en los principios básicos del estándar PassivHaus, se pueden evaluar de la misma manera que se abordan las ventanas, considerando su condición como vanos en la estructura del proyecto.

Figura 52.



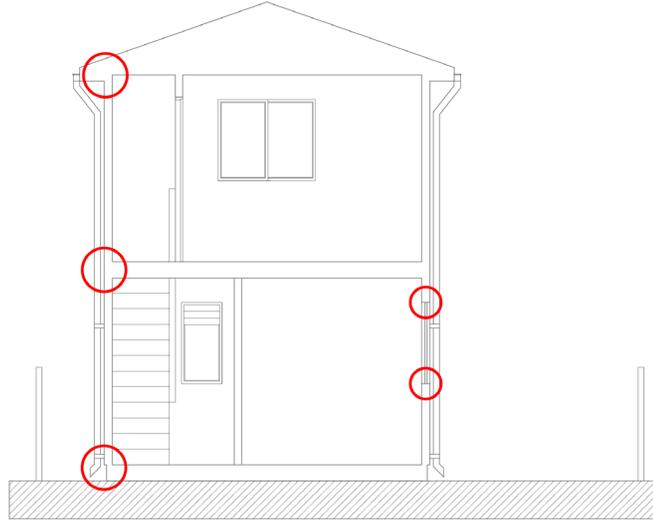
Sección modelo smartwin entrance door PassivHaus Germany.

Fuente: <https://www.passivhausfenster.com/es/clientes-privados/productos/smartwin-entrance>

Tomando la idea de considerar las puertas como ventanas, existe una amplia variedad de soluciones de puertas compatibles con PassivHaus, las cuales se componen de una doble hoja de madera, junto con un relleno de aislante acorde a lo dispuesto por la envolvente térmica y perfiles en sus bordes para asegurar su hermeticidad y aislación adecuada, puesto que por muy buenas que sean las prestaciones de los elementos, si estos no se acompañan de la técnica, instalación y atención al detalle de las juntas entre estos, se pueden generar focos de puentes térmicos o espacios para infiltraciones. Casos como el expuesto en la imagen, alcanzan valores en U de 0.76 y marcan una idea de cómo acondicionar las puertas principales para cumplir con la norma, así como también otras alternativas presentes en el mercado que incluyen acristalados y funcionan con la misma mecánica y propiedades de una ventana de alto rendimiento.

3. Envoltente libre de puentes térmicos

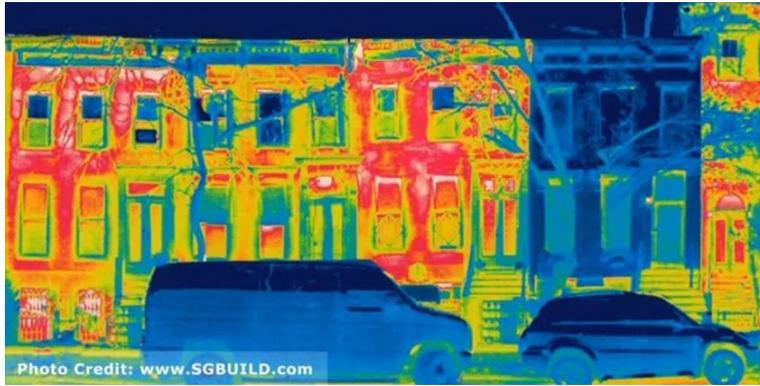
Figura 53



Esquema de potenciales puentes térmicos. Proyecto Villa Sargento Candelaria. Elaboración propia.

En la búsqueda de obtener una envoltente térmica de alto rendimiento, consideramos las variables de aislación, hermeticidad y componentes de la vivienda que posean altas prestaciones para resistir y preservar la energía térmica, velando porque la materialidad empleada sea de la mejor calidad posible. Sin embargo, para que la composición de estos elementos se desenvuelva en conjunto como una gran masa térmica, la atención al detalle en la intersección de los materiales es lo que marca la diferencia en una edificación PassivHaus. Esquinas, bordes, voladizos, empotramientos, uniones carpinteras y encuentros de la envoltente con puertas y ventanas, son algunos de los encuentros más comunes entre elementos que requieren de atención en su montaje, adhesión y compacidad.

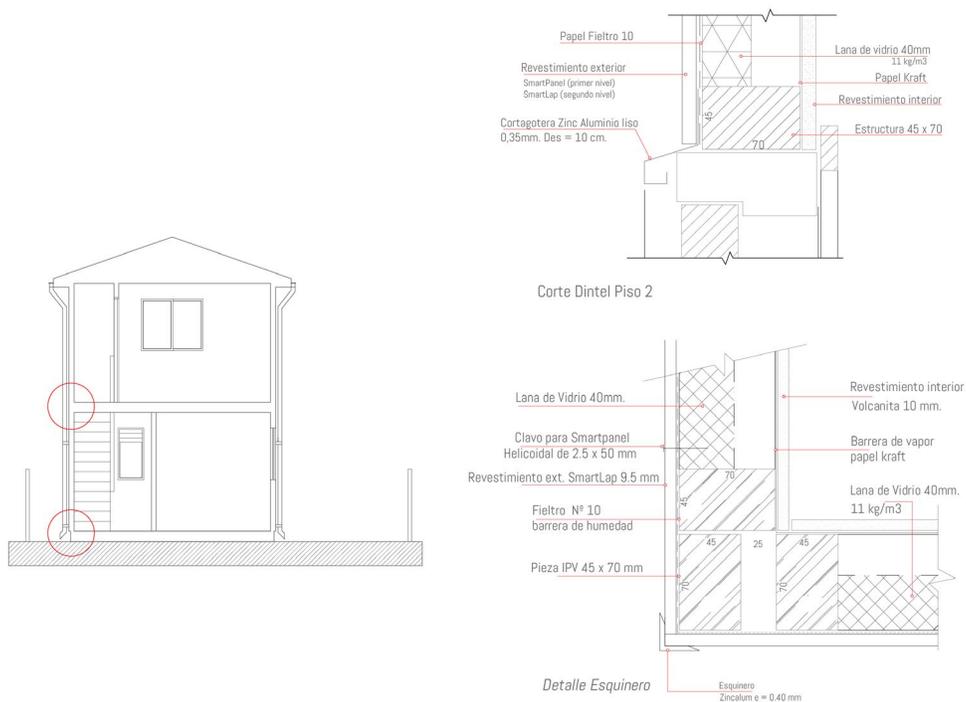
Acorde con la idea anterior, aquellas zonas de la construcción donde estos encuentros no se resuelvan de manera uniforme es donde encontramos puentes térmicos, sectores específicos donde la pérdida de calor interna ocurre con mayor facilidad. Esta uniformidad puede ocurrir por desprolijidades en la instalación de elementos constructivos, diferencias de densidad, grosor o transmitancia entre materiales.



Fotografía térmica de vivienda PassivHaus en contraste con su barrio. Fuente: www.sgbuild.com

Al respecto, el estándar PassivHaus considera que una edificación puede considerarse libre de puentes térmicos, si la transmitancia térmica lineal KI no supera los 0,01 w/mK (Econova, 2021). Adicionalmente, recomienda el preservar la continuidad de los aislantes y barreras bajo un mismo espesor y transmitancia térmica, aspecto para el cual el ejercicio de herramientas de diseño como la regla del lápiz, permiten anticipar eventuales puentes de carácter geométrico o constructivos que se puedan prever, y en caso contrario, optar siempre por mantener las propiedades térmicas de los elementos en caso de interrupciones (Wassouf, 2014).

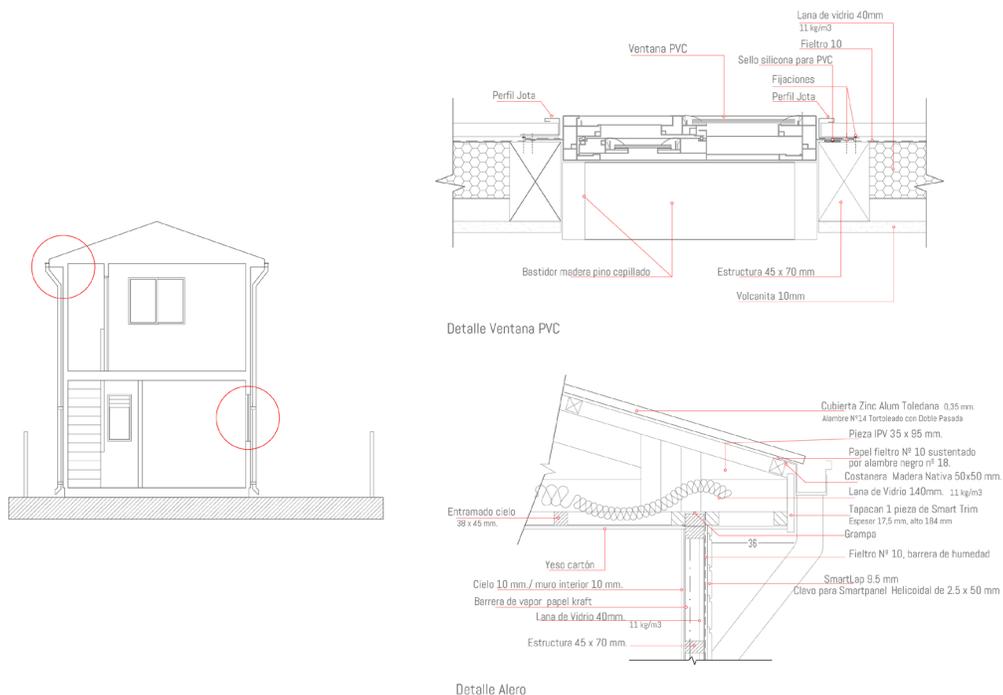
Figura 54



Detalles constructivos junta de esquina y dintel segundo nivel. Proyecto Villa Sargento Candelaria. Elaboración propia.

En esta área, el caso de estudio evidenció problemas con los espesores en los aislantes térmicos, lo cual le ocasiona problemas de pérdidas constantes a nivel de muros. A pesar de esto, el proyecto presenta un volumen bastante compacto, teniendo un especial cuidado en los elementos constructivos que emplea y como estos enfrentan las juntas en distintos puntos potenciales para generar puentes térmicos. En las juntas de esquina y dintel, existe un cuidado por mantener la barrera de vapor continua y la presencia de corta goteras y esquineros metálicos para evitar infiltraciones de agua a través de estas intersecciones de material. Asimismo, se muestra una discontinuidad del material aislante, como lo es la lana de vidrio, la que se ve interrumpida por la presencia de elementos estructurales, situación que se podría evitar a través de un mayor espesor del material y un montaje que asegure que no se vea obstaculizado por otras secciones sólidas.

Figura 55



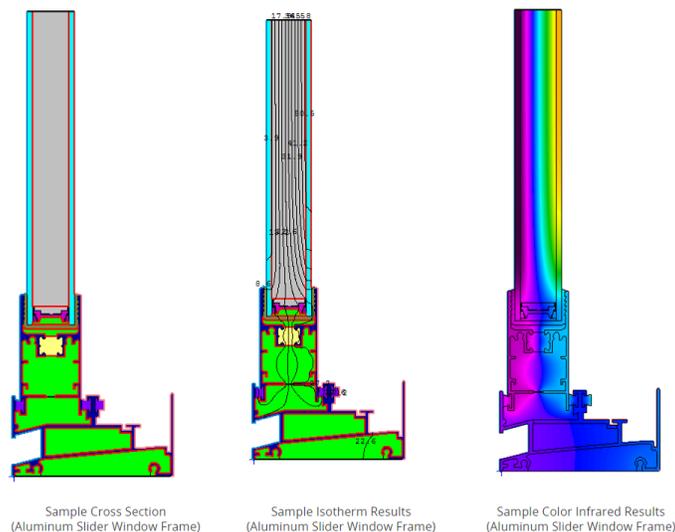
Detalles constructivos junta de alero y ventana DVH. Proyecto Villa Sargento Candelaria. Elaboración propia.

Los detalles de alero y ventanas refrendan la situación de los encuentros anteriores, evidenciando esfuerzos por mantener el interior de la vivienda sin filtraciones de agua y humedad, encuentros entre elementos con un cuidado técnico para su montaje pero que mantiene discontinuidad en materia de aislación. El detalle de la ventana de PVC agrega un sello y perfiles en sus bordes para asegurar un montaje correcto en el vano de la vivienda, optando a su vez por una materialidad de mejor comportamiento térmico e hidrófugo si se compara con perfiles de aluminio que existen en el mercado a un precio bastante cercano a los de PVC, pero con una transmitancia poco conveniente en el caso de marcos metálicos.

Medición de puentes térmicos

Por encima del análisis técnico y analítico que se pueda realizar, existen programas y simuladores que permiten precisar los potenciales puentes térmicos en las viviendas y su desempeño de envolvente, junto con la posibilidad de diseñar soluciones para erradicarlos. Uno de los más conocidos y que permite su validación a través del estándar PassivHaus, es el conocido como THERM, un software 2D que permite simular y analizar encuentros constructivos que presenten condiciones para generar puentes térmicos.

Figura 56. Ejemplo de diseño en sección y simulador térmico de una ventana de aluminio.



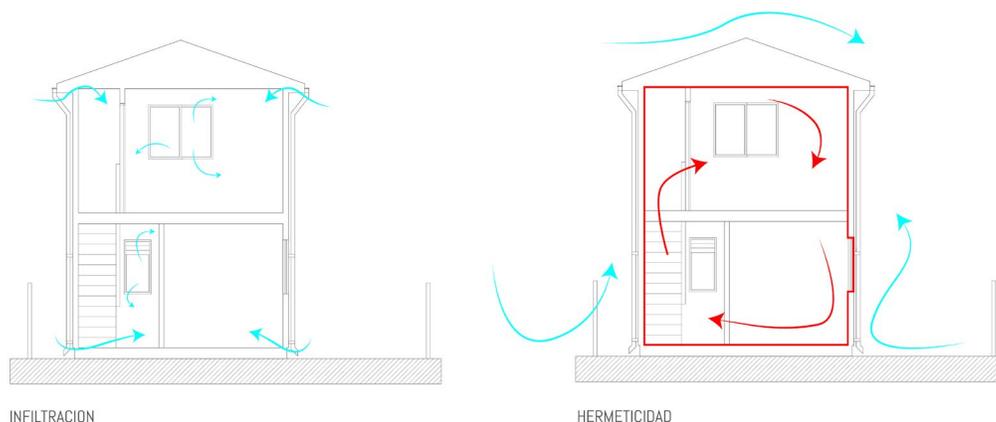
Nota. Fuente: <https://windows.lbl.gov/software/therm>

Considerando el desempeño del caso de estudio en este principio, se aprecian el esfuerzo por resolver los encuentros a través de los detalles constructivos, lo cual es fundamental para sacarle el mayor rendimiento posible a las prestaciones de todos los elementos que conforman la envolvente de la casa. Para el estándar Passivhaus, la atención al detalle constructivo es vital para ejecutar el proyecto sin errores, puesto que, si al caso de estudio se le mejoraran las condiciones y continuidad del aislante, una imprecisión en un traslape, un sello mal aplicado o una ventana mal instalada puede hacer peligrar el rendimiento y eficiencia energética de todos los demás elementos involucrados.

4. Hermeticidad del aire

El principio ligado a la hermeticidad del aire constituye uno de los problemas más frecuentes en las viviendas tradicionales. Esto se debe, a que se consideran como pérdidas energéticas no deseadas por flujo de aire, resultan a partir de la desprolijidad en las juntas entre elementos de la envolvente, dejando a cualquier grado de traslape o separación en un potencial foco de infiltración (Wassouf, 2014). Este problema es de mayor gravedad para proyectos en climas fríos y en viviendas aisladas, lo primero porque en climas cálidos, las pérdidas de temperatura pueden contribuir a evitar el sobrecalentamiento de viviendas y lo segundo debido a que una vivienda aislada, como la del caso de estudio, enfrenta su envolvente a un estrés térmico constante en todas sus fachadas.

Figura 57. Esquemas de infiltración y hermeticidad.



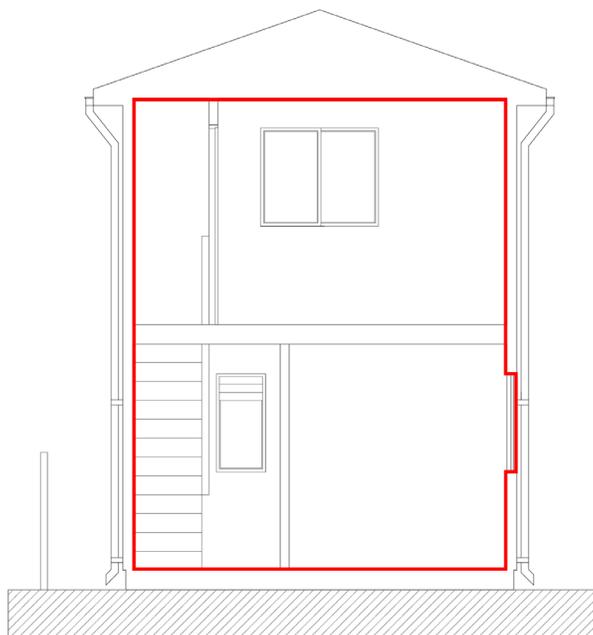
Nota. Proyecto Villa Sargento Candelaria. Elaboración propia.

Con esto, la hermeticidad en un proyecto contribuye con una serie de beneficios secundarios que son clave para lograr una sensación de confort en todas sus escalas. Por ejemplo, una vivienda hermética no debería enfrentarse a pérdidas de calor hacia el exterior, lo que garantiza el máximo rendimiento de los equipos de calefacción y refrigeración presentes; aporta a reducir la contaminación acústica, mejorando las condiciones de confort en esta materia de alteraciones provenientes del exterior; evita condensaciones que puedan afectar a los elementos constructivos, previniendo hongos y patologías asociadas al síndrome del edificio enfermo, entre otras cualidades que contribuyen a un estándar como el PassivHaus a validar su eficiencia y operación de sus distintos componentes.

Regla del lápiz para barrera de hermeticidad

Como se pudo apreciar en el ejercicio práctico para abordar la inercia térmica en un proyecto, la hermeticidad sigue el mismo principio a través de su diseño y construcción, logrando a través de regla del lápiz generar **continuidad** a través de la proyección de una capa hermética que recubra toda la envolvente desde el interior.

Figura 58. Esquema regla del lápiz aplicado en caso de estudio.



Nota. Elaboración propia.

El ejercicio del trazado permite tener consciencia de los puntos más conflictivos a la hora de generar una barrera continua, como lo suelen ser las esquinas, encuentros entre materiales y elementos, así como también las perforaciones y/o vanos que interrumpen la regularidad del volumen.

Figura 59. Detalle constructivo con implementación de materiales herméticos.

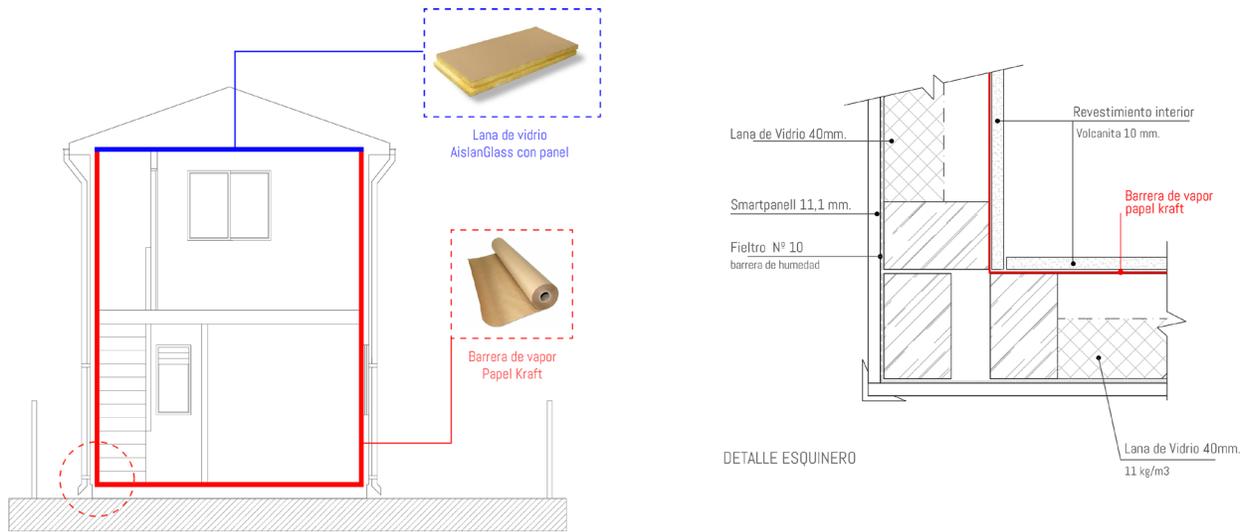


Nota. Fuente: <https://plushaus.cl/soluciones-en-hermeticidad/>

Entre los materiales más compatibles con la capa de hermeticidad, podemos encontrar barreras que regulen el vapor y convección, telas cortavientos, hormigón o cemento de alta consistencia, membranas y paneles como el OSB, este último de gran disponibilidad en el contexto local y que se implementaron en proyectos abordados en los referentes PassivHaus del informe. Junto con esto, se deben asegurar las juntas entre barreras y elementos constructivos, ya sea con siliconas, cintas adhesivas de alto rendimiento o pastas especializadas, como los que se ven implementados en el detalle que considera las juntas entre capas, elementos verticales como ductos, bordes de ventanas e incluso elementos estructurales como vigas, costaneras o pilares.

Como se pudo apreciar en el análisis del primer principio de máximo aislamiento térmico, los detalles constructivos del caso de estudio permiten desglosar su composición estructural, los aislantes térmicos empleados y consigo aquellos materiales que coincidan con los descritos para generar una capa de hermeticidad adecuada, para así concluir si se consideraron materiales con este propósito y en qué grado estos mantienen una continuidad a lo largo de la envolvente.

Figura 60. Esquema de composición barrera hermética aplicado en caso de estudio y detalle constructivo de junta.

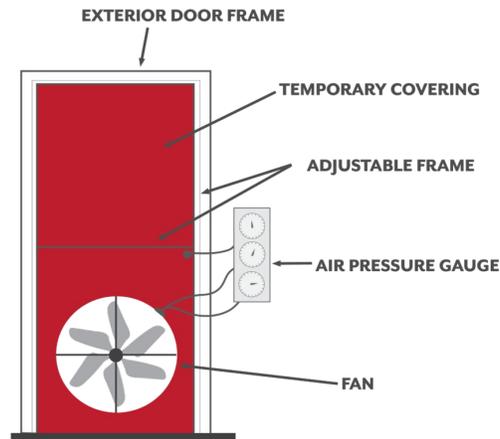


Nota. Elaboración propia.

La composición de la envolvente térmica del caso de estudio permite detectar el uso de una barrera de vapor de papel Kraft a lo largo de muros y piso, el cual sería el elemento de continuidad que se desea para la capa de hermeticidad. Adicionalmente, en el techo se especifica el uso de un aislante de tipo AislanGlass, el cual se compone de lana de vidrio, la que, a pesar de que no se especifica su variante, se puede inferir que esta puede inclinarse por contener un panel de papel Kraft adherido, aludiendo también a la presencia de lana de vidrio en todos los elementos de la envolvente, lo que a su vez garantizaría la continuidad de este material en toda la envolvente interior.

Se puede apreciar una clara intención de generar una capa hermética continua a lo largo del proyecto, esfuerzo que posee un rango perfectible de suma importancia para garantizar que la hermeticidad se logre a cabalidad. Aspectos como los solapados, implementación de adhesivos que tengan la factibilidad de mantención a largo plazo, entre otros detalles a incluir en la documentación técnica del proyecto, son fundamentales para transparentar la información que asegure una instalación adecuada y con esto alcanzar un rango de hermeticidad eficiente.

Figura 60. Blower Door Test



Nota. Fuente: <https://www.posigen.com/blower-door-test/>

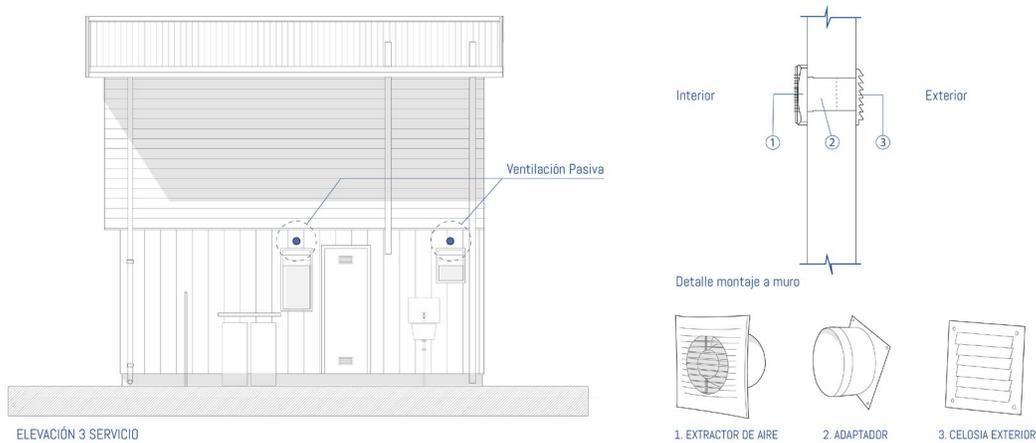
Para concluir en este punto, es relevante señalar la existencia del procedimiento que permite asegurar un rango de hermeticidad aceptable dentro de una edificación, la prueba llamada Blower Door. Esta evaluación, somete a los espacios interiores a una diferencia de presión, el cual suele emplearse con un sistema de ventilación adosado a la puerta de acceso del proyecto, característica que da nombre a la prueba en como tal. Lo que resulta de esta evaluación es una medición de las renovaciones de aire del interior, las cuales para un estándar PassivHaus, debe asegurar una renovación del aire del edificio **igual o menor a 0,6 RAH (renovaciones del aire interior por hora = 0,6h-1)** en una condición de presión de 50 pascales (PlusHaus, 2018).

5. Ventilación con recuperación de calor

La presencia de equipos de ventilación con recuperación de calor resulta fundamental en el funcionamiento de un esquema PassivHaus, entendiéndose que los esfuerzos, tanto de hermeticidad como conservación de calor, requieren de una ventilación de renovación constante para asegurar un confort adecuado al interior de la vivienda. En términos de ventilación, el caso de estudio contempla el uso de sus ventanas como principal agente de ventilación, un mecanismo bastante tradicional y que aplica como sistema por defecto de la gran mayoría de viviendas sin equipamiento enfocado en ventilación.

Sin embargo, cabe resaltar la incorporación de dos equipos de ventilación pasiva, los cuales atienden al contexto climático del emplazamiento, ya que, si se considera la alta presencia de lluvias y humedad relativa en Chonchi, el depender totalmente de la abertura de los vanos para ventilar resulta en importantes pérdidas de calor y aumentos en la humedad al interior de los recintos.

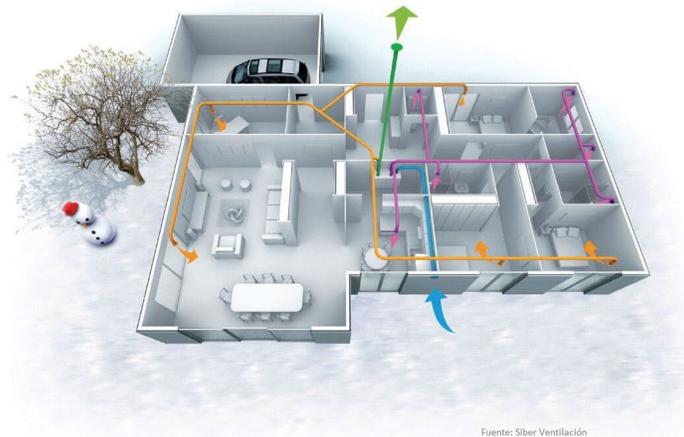
Figura 61. Equipo de ventilación pasiva caso de estudio.



Nota. Elaboración propia a partir de: Dispositivo Jonas 3 con celosía proyectante, www.jonas.cl

El sistema de ventilación pasiva considerada en el proyecto consta de un extractor de aire R100, acompañado de un adaptador que conecta a través del muro a una celosía que conectaba el dispositivo al exterior. Se ubican en el baño y cocina de la casa, garantizando un flujo de aire básico y con esto combatir la humedad relativa de un 50 a un 90% que generan estos espacios en instancias en que la vivienda mantenga sus aberturas cerradas. Los filtros diseñados en las pestañas de la celosía exterior repelen el ingreso de agua hacia el interior, junto con una malla para polvo e insectos que aseguran un flujo de aire limpio hacia el recinto (Jonas, 2022). A pesar de ser una alternativa bastante económica, los dispositivos presentes atienden a reducir la humedad relativa al interior del proyecto, a pesar de que su integración como un equipo de ventilación al nivel de un estándar PassivHaus requiere de mayor implementación en una vivienda per se ya que no se hace cargo de la pérdida de calor, lo que afecta directamente en el rendimiento energético de la misma.

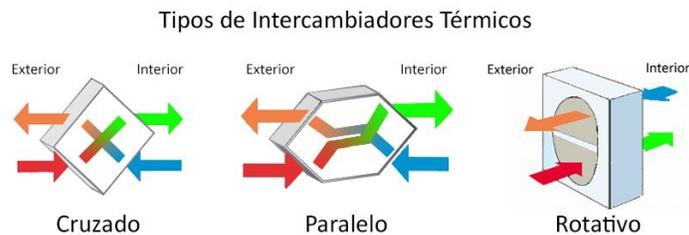
Figura 62. Sistema de ventilación con recuperación de calor PassivHaus.



Nota. Fuente: <https://www.vanesaezquerra.com/ventilacion-en-casas-pasivas/>

Los sistemas de ventilación con recuperación de calor destacan por ser un sistema pasivo e integral que asegura una renovación constante de aire, funciona como deshumidificador en zonas húmedas como las mencionadas anteriormente y permite recuperar el calor interno del aire que se expulsa al exterior en hasta un 90%, dotando al aire renovado que ingresa de esta energía para mantener bajo control la temperatura interna de la vivienda a un nivel muy bajo de consumo energético (Costa del Sol, 2019).

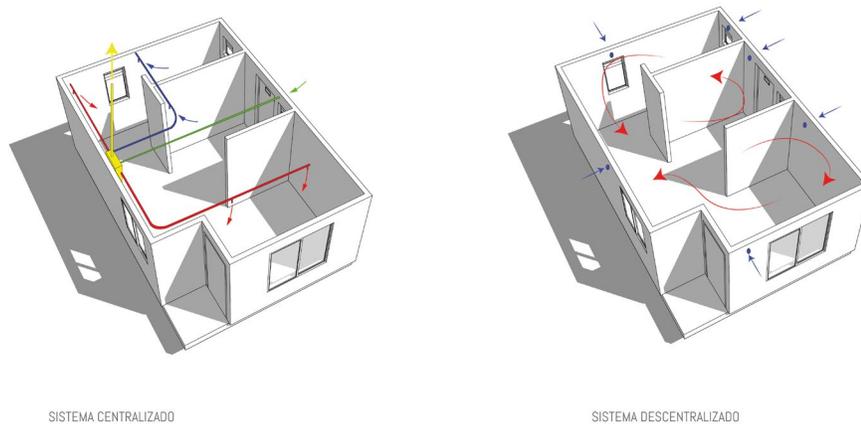
Figura 63. Tipos de intercambiadores térmicos según tipo de flujo



Nota. Fuente: [PassivHaus Costa del Sol](#)

Para el sistema presente en el proyecto, integra la categoría de sistemas de ventilación descentralizados con intercambiador térmico rotativo, los cuales componen dispositivos aislados en distintas zonas de la vivienda, para en conjunto lograr el objetivo de garantizar la renovación de aire sin comprometer la temperatura interna. En el caso de los sistemas centralizados, constan de dispositivos de ventilación único, sobre el cual se proyecta un sistema de tuberías para abastecer a todo el proyecto de las propiedades descritas de un equipo de este estilo (ver figura 63).

Figura 64. Propuesta sistemas de ventilación caso de estudio



Nota. Elaboración propia.

Evaluando la factibilidad de un sistema de ventilación con recuperación de calor como los mencionados, es importante evaluar los pros y contras bajo el contexto del caso de estudio. En un contexto ideal, un sistema centralizado con intercambiador térmico cruzado o paralelo, implica una inversión considerable en contraste a lo accesible que puede resultar un sistema pasivo como el presente en la vivienda, donde este es posible adquirirlo en el mercado por un promedio referencial de 20.000 pesos por aparato, mientras que un sistema con recuperación de calor puede superar con creces el millón de pesos a la fecha, precio que aumenta exponencialmente si lo que se busca es reducir la contaminación acústica que estos generan durante su funcionamiento. Adicionalmente, estos valores no incluyen la red de tuberías y servicio técnico necesarios para su instalación, lo que hace que muchos de estos sistemas, al menos en sus versiones centralizadas, tengan que encargarse desde el extranjero. En estas últimas variables existen problemas fundamentales a tener en cuenta, puesto que, al incorporar una red de conductos, sus secciones pueden ir desde los 15 a 20 cm de diámetro como mínimo (Siberzone, 2022). Lo anterior repercute directamente en el diseño y distribución de espacios al interior de la vivienda, considerando que el trazado debe comunicar con cada zona de la misma, problemática que en proyectos PassivHaus acostumbran resolver mediante el uso de losas radiantes, conectando el sistema con el piso o a través de un cielo falso, escenarios en los cuales se debe considerar espesores mínimos en losas, muros y techo, junto con alturas libres mínimas compatibles para implementar equipos de esta envergadura en un proyecto de cualquier índole.

Finalmente, para implementar un sistema de ventilación con recuperación de calor en el caso de estudio, se concluye que un sistema descentralizado con intercambio de calor que no dependa de una red de conductos sería la alternativa más económica y conveniente acorde a la estructura y construcción que dispone el proyecto. Adicionalmente, se tiene en cuenta que el sistema de ventilación pasiva implementado en el mismo es insuficiente debido a su nulo tratamiento térmico del flujo de aire, lo que es vital para un estándar PassivHaus que vela por una envolvente hermética para conservar el calor y que a su vez depende simbióticamente de un intercambiador térmico integrado en su ventilación para lograr esto con un bajo consumo energético.

11. Conclusiones

Al iniciar la exploración de esta investigación y considerando su pregunta base con respecto a llevar a cabo una comparación entre viviendas sociales en Chile y el estándar PassivHaus pueda resultar ingenuo debido a que existe una distancia importante en eficiencia energética no solo por parte de estas, si no que de prácticamente todas las viviendas nacionales frente a este estándar internacional. A pesar de esto, el medir las condiciones actuales de las viviendas sociales frente a un referente de la mayor exigencia posible, resulta desafiante de cara al escenario climático mundial y los objetivos que se proponen para reducir los índices de consumo, los cuales deben encontrar soluciones en el más corto plazo posible si se desea alcanzar la carbono neutralidad para el año 2050.

La Directiva del Parlamento Europeo, publicó en su versión del año 2018/844, una serie de medidas para promover mejoras para la rehabilitación de viviendas existentes, reglamentaciones térmicas de alto estándar energético para las viviendas nuevas e implementación de equipos para reducir las emisiones de carbono de cara al escenario de 2050. Esto ha significado un auge en oferta y demanda de equipos de climatización, elementos constructivos de alto desempeño térmico y sistemas a la altura del estándar PassivHaus.

En los esfuerzos nacionales apreciados para lograr esta meta, cabe destacar lo realizado por los profesionales y entidades ligadas al ministerio de vivienda y urbanismo, así como también lo realizado por el ministerio de energía, los que han desarrollado instrumentos y manuales técnicos que permiten aumentar la eficiencia y calidad energética de las viviendas exponencialmente. Sin embargo, se desprende una falta de criterio importante por parte de los entes legislativos, puesto que la velocidad de desarrollo con el que se requieren cambios y entradas en vigor de nuevas y mejores reglamentaciones térmicas, hacen estéril el alcance de estas medidas para parte importante de las viviendas sociales, las cuales, al disponer de un presupuesto limitado, alcanzan a mantenerse por sobre el mínimo que se exige por ley que resulta insuficiente.

En lo que respecta al balance general del caso de estudio, exponen esfuerzos por mejorar las condiciones de la vivienda por encima de la reglamentación térmica vigente, particularmente en términos de hermeticidad, ventilación y diseño pasivos de la misma, a pesar de que estos se encuentren muy por debajo de un alto estándar de eficiencia. Las principales brechas han recaído en la aislación térmica e inexistencia de equipos de calefacción, lo cual se traduce en pérdidas de calor constantes y falta de calefacción interna en la vivienda, lo que fomenta el uso de aparatos externos contaminantes y que justifica la presencia y uso cotidiano de leña en una zona como Chiloé donde la humedad relativa y las bajas temperaturas son constantes durante gran parte del año.

En cuanto al estándar PassivHaus, es un sistema que compensa sus esfuerzos en aspectos que van más allá de la suma de sus principios, puesto que la falta de uno significa la deficiencia del resto, trasladando la discusión a un área de gestión e inversión que, si bien no se profundizó a lo largo de esta investigación, puede ser la clave para acercar estos elementos a un contexto de viviendas sociales. Al respecto, la disponibilidad de recursos nacionales compatibles con PassivHaus son bastante escasos, debido a su baja demanda y elevados costos que en muchos casos considera, para el caso de equipos de climatización o ventanas de alto rendimiento, el tener que importarlos desde el extranjero. En un escenario eventual en el que se aumenten las exigencias térmicas, al igual como se generó en la Unión Europa, podría generar mayor variedad y accesibilidad a componentes PassivHaus, siendo un estándar que ha ido permeando lentamente en el contexto nacional y que sus primeros referentes permiten acercar la factibilidad de ser implementados con mayor frecuencia.

Finalmente, se considera que más allá del PassivHaus como referente, los esfuerzos por mejorar las condiciones térmicas de las viviendas y reducciones de consumo y emisiones van por la misma senda en todos los escenarios posibles. Será importante entonces, promover en el corto y mediano plazo las medidas que abogan por una industria constructiva más sustentable y cercana a las personas, ya que históricamente han sido estos los que han tenido que pagar de sus bolsillos las deficiencias que sus viviendas presentan de factura, algo que sin lugar a duda atenta contra la percepción y objetivo de la vivienda como un espacio confortable, seguro y digno para desarrollar sus vidas.

12. Referencias

- Achee (2016). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. Agencia chilena de eficiencia energética. Comisión nacional de energía.
- Araucanía Construye (2016). El aporte de la construcción al nuevo PDA. 2022, de Araucanía Construye Sitio Web: <http://araucaniaconstruye.cl/web/el-aporte-de-la-construccion-al-nuevo-plan-de-descontaminacion-atmosferica-para-temuco-y-padre-las-casas/>.
- Araucanía Construye (2016). El aporte de la construcción al nuevo PDA. 2022, de Araucanía Construye Sitio Web: <http://araucaniaconstruye.cl/web/el-aporte-de-la-construccion-al-nuevo-plan-de-descontaminacion-atmosferica-para-temuco-y-padre-las-casas/>
- Blender, M. (2016). La reglamentación térmica. Una mirada desde su entrada en vigor. EMB - Revista de construcción 2021. Recuperado de: <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=3698>
- Bustamante, 2009. Guía de Diseño para la Eficiencia energética en la vivienda social. Pontificie Universidad Católica de Chile.
- Calificacion Energetica de Viviendas CEV. (2022). Busqueda de viviendas CEV. Mayo de 2022, de Ministerio de vivienda y urbanismo. Consultado en: <http://calificacionenergeticaweb.minvu.cl/Publico/BusquedaVivienda.aspx>
- Cámara chilena de la construcción. (2015). MANUAL ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO CRITERIOS DE INTERVENCIÓN. Santiago, Chile: Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT.
- Campos, J. et al. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Instituto de la Construcción, Santiago de Chile.
- Cárdenas-Jirón, L. y Chang Lou, J. (2019). Acceso solar en espacio urbano: simulaciones energéticas para su mitigación en alta densidad inmobiliaria residencial. Santiago Centro Sur. Revista 180, 44 (95-109). [http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-44.\(2019\).art-630](http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-44.(2019).art-630).
- Cárdenas-Jirón, L. (1998). Definición de un marco teórico para comprender el concepto del desarrollo sustentable. Revista INVI, 13(33). Consultado de <https://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/62076/66369>
- Crespo, J. et al. (2011). Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo. Madrid.
- Cutland, Neil. (2012). Lessons from Germany's Passivhaus experience. NHBC Foundation.

Condominio Parque Los Tineos: cómo se logra una vivienda con mínima demanda energética - Eficiencia Energética Chile. (2017, noviembre 5). Eficiencia Energética Chile. <https://www.eechile.cl/condominio-parque-los-tineos-se-logra-una-vivienda-minima-demanda-energetica/>

Corporación Passivhaus Austral. (2021). Sendero Bayo Edificio 2. 30 de mayo de 2022, de Corporación Passivhaus Austral Sitio web: <https://www.passivhaus-austral.cl/proyectos/sendero-bayo-edificio-2/>

Comercial Termo Austral. (2015). El vidrio y el manejo de la energía. 29 de mayo de 2022, de Cámara Chilena de la Construcción Sitio web: https://cchc.cl/uploads/evento/archivos/Vidrios_Lirquen-ilovepdf-compressed.pdf

Comercial Jonas. (2022). Aberturas de paso. En Ficha PDA (3). Temuco: Comercial Jonas. Sitio Web: <https://esdocs.com/doc/1618538/ficha-pda---comercial-jonas>

Climalit Plus. (2018). ¿Qué requisitos debe tener una ventana Passivhaus?. 5 de junio de 2022, de Climalit Sitio web: <https://climalit.es/blog/requisitos-ventana-passivhaus/>

Directiva UE 2018 844 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de Mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.

Dollard, T. (2018). Cómo proyectar viviendas energéticamente eficientes. RIBA Publishing, Londres.

El Heraldo Austral. (2018). Aire contaminado con micropartículas proveniente de la combustión de leña. 2021, de El Heraldo Austral. Consultado de: <https://www.eha.cl/noticia/local/juan-cristobal-guerrero-san-martin-director-de-la-carrera-de-kinesiologia-de-la-universidad-san-sebastian-sede-de-la-patagonia-es-necesario-mejorar-el-manejo-de-las-estufas-a-lena-para-mejorar-calidad-del-aire-1762>

EE Chile. (2021). Central Distrital para calefacción y enfriamiento en proyecto Sendero Bayo. 27 de mayo de 2022, de EE Chile Sitio web: <https://www.eechile.cl/central-distrital-calefaccion-enfriamiento-proyecto-sendero-bayo/>.

Econova Institute. (2021). ¿POR QUÉ ES IMPORTANTE LA ELIMINACIÓN DE LOS PUENTES TÉRMICOS EN UNA CASA PASSIVHAUS? 18 de junio de 2022, de Econova Institute Sitio web: <https://econova-institute.com/blog/eliminacion-puentes-termicos-passivhaus/>.

Feist, W. (2005). Passivhaus Definition. aktualisiert: 16.09.2005.

- Gonzalo, G. (2003). Manual de Arquitectura bioclimática. Nobuko, Argentina.
- Gobierno Regional Los Lagos. (2017). Estadísticas Censal Básicas 2017. 28 de mayo de 2022, de Gobierno Regional Los Lagos Sitio web: https://www.gorelосlagos.cl/estadisticas/poblacion_superficie
- Grupo Alugom. (2020). ALG 75 Passivhaus. 6 de junio de 2022, de Alugom Sitio web: <https://alugom.es/producto/alg-75-maxima-passive-house/>
- Hatt, T, Saelzer, G, Hempel, R, & Gerber, A. (2012). Alto confort interior con mínimo consumo energético a partir de la implementación del estándar "Passivhaus" en Chile. Revista de la construcción, 11(2), 123-134. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2012000200011>
- Hernández, Agustín (coord.). Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas. Redacción: José FARIÑA, Victoria FERNÁNDEZ, Miguel Ángel GÁLVEZ, Agustín HERNÁNDEZ y Nagore URRUTIA. Colaboradoras: Carolina ASTORGA e Itxaso CEBERIO. Coordinación editorial y traducción al portugués: Artur GONÇALVES, Antonio CASTRO y Manuel FELICIANO. Bragança [Portugal]: Instituto Politécnico de Bragança, 2013. ISBN: 978-972-745-157-9
- Instituto Passivhaus. (2020). Guía para la certificación de edificios. Darmstadt (Alemania).
- K. Sudhakar, Maximilian Winderl, S. Shanmuga Priya. (2019). Net-zero building designs in hot and humid climates: A state-of-art. 8 de diciembre de 2021, de ScienceDirect. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X18304131>
- Krainer & Košir. (2008). Eco Building / Bioclimatic Concept Versus Passive House. Faculty of Civil Engineering, University in Ljubljana.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2016). Guía de calidad del aire y educación ambiental. Santiago, Chile: Gobierno de Chile. Consultado de: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Minvu. (2019). Vol. 2 Manual de Procedimientos Calificación Energética de Viviendas en Chile. Santiago, Chile: División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional – Ditec, Minvu.
- Ministerio del medio ambiente. (2015). RESOLUCIÓN 694 EXENTA ANTEPROYECTO DE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MP 2,5, PARA LAS COMUNAS DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS Y DE ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN POR MP10, PARA LAS MISMAS COMUNAS. 2022, de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Sitio web: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1065241>

Ministerio del Medio Ambiente. (2021). Expediente en elaboración PDA macrozona centro norte, Región de Los Lagos. Planes y normas Mma. Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile Recuperado de: https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=938372

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (15 de noviembre de 2016). Manual de procedimientos para viviendas nuevas del sistema de calificación energética de viviendas en Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile. <https://www.calificacionenergetica.cl/media/Resolución-Ex.-7250-15.11.16-aprueba-manual-CEV.pdf>

OGUC Art. 4.1.10. (2007). Exigencias de Acondicionamiento Térmico en Viviendas. Primera y segunda etapa. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (19 de mayo de 2010). Directiva del Parlamento Europeo y del consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios. Diario Oficial de la Unión Europea, 1, 23. 7 de diciembre de 2021, De Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado Base de datos.

Passive House Institute. (2016) Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard. Germany.

Proyectos inmobiliarios con centrales distritales y estrategias Passivhaus logran recuperar la inversión en pocos años - Eficiencia Energética Chile. (2021, mayo 3). Eficiencia Energética Chile. <https://www.eechile.cl/proyectos-inmobiliarios-centrales-distritales-estrategias-passivhaus-logran-recuperar-la-inversion-anos/>

PAEE. (2018). Passivhaus Classic, Plus & Premium. 25 de mayo, 2022, de Grupo SIMA Sitio web: <https://passivhaus-paee.com/passivhaus-classic-plus-y-premium/>

PlusHaus. (2018). EL PROBLEMA DE LAS INFILTRACIONES DE AIRE. 10 de junio de 2022, de PlusHaus Chile Sitio web: <https://plushaus.cl/soluciones-en-hermeticidad/>

Superintendencia del Medio Ambiente. El dilema de la contaminación atmosférica en Temuco: Multan por uso de leña cuando el 82% de los hogares utiliza la madera como combustible (13 de mayo de 2021). <https://resumen.cl/articulos/el-dilema-de-la-contaminacion-atmosferica-en-temuco-multan-por-uso-de-leña-cuando-el-82-de-los-hogares-utiliza-la-madera-como-combustible>

Siberzone España. (2022). Sistema VMC Doble Flujo Unifamiliar. 20 de Junio de 2022, de Siberzone Sitio web:

<https://www.siberzone.es/vmc-doble-flujo/>

UNE-EN ISO 7730:2006 “Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local” (ISO 7730:2005).

Wassouf, M. (2012). De la casa pasiva al estándar: La Arquitectura Pasiva En Climas Cálidos (1.a ed., Vol. 1).

Editorial Gustavo Gili. Guía para la certificación de edificios.

Werner Baier R., 2015. Condominio Frankfurt. Recuperado el 26 de mayo de 2022, de:

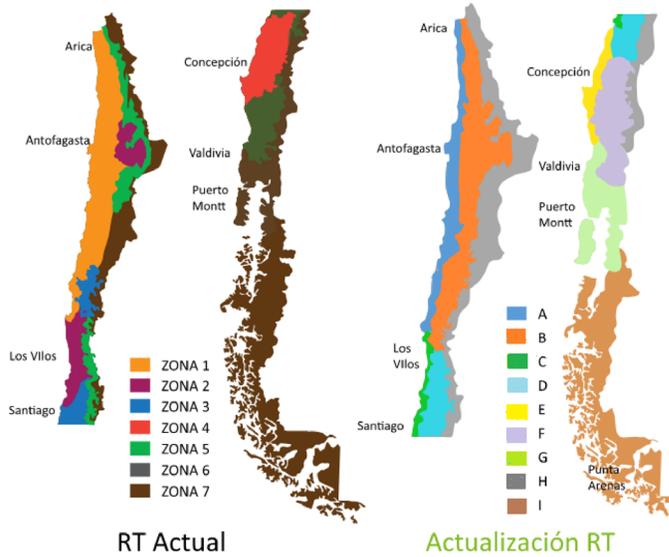
https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/werner_baier-condominio_frankfurt.pdf

13. Anexos

Anexo 1

Mapas de zonificación térmica anterior y actual, considerada por la CEV. Fuente: Minvu.

La nueva versión de la CEV considera las 9 zonas térmicas de la nueva reglamentación térmica, las cuales son similares a las establecidas en la NCh 1973. La nueva actualización reconoce diferencias climáticas producto de geografía (costa-valle)



Para cada zona térmica, se utiliza un perfil de temperatura y radiación directa y difusa de manera horaria y representativa de cada mes.

Este perfil de temperatura y radiación corresponde a una ponderación de principales ciudades existentes en la zona térmica en base a sus respectivas poblaciones.

Anexo 2

Zona térmica Sur G, abordada para el caso de estudio en la evaluación CEV.

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS EN CHILE

17.5. ZONA SUR

REGIONES LOS RÍOS, LOS LAGOS

