



UNIVERSIDAD MAYOR

Construcción Automatizada en Madera tipo PassivHaus para viviendas sociales en Chile

Michael Nicolas Díaz Cáceres

Proyecto de Título para optar al
Título de Constructor Civil

Profesor Guía: José Ignacio Torres Barón

10 de Septiembre del 2020

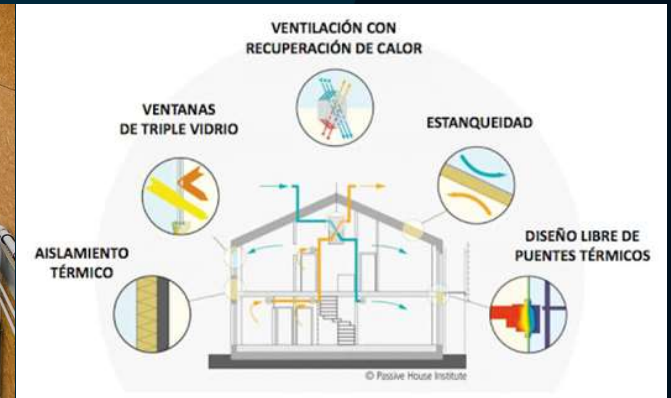


Resumen

Vivienda Social

Automatizada

PassivHaus



Origen y Necesidad del Tema

- Elevar los estándares mínimos sobre acondicionamiento Térmico de las edificaciones y en especial de la vivienda social exigido por la OGUC en el artículo 4.1.10.
- Soluciones habitacionales entregadas por los programas del estado hoy en día están basadas en estándares mínimos de calidad.

Objetivo: Lograr un mayor confort, una mejor habitabilidad, alargar la vida útil y reducir el consumo de energía en las construcciones en Chile

- Uso y gestión eficiente de las energías en una vivienda.

Objetivo: Minimizar la necesidad de consumir energías para alcanzar condiciones ambientales adecuadas para la actividad humana.

- Invertir en nuevas tecnologías para automatizar el rubro de la construcción esencialmente en los procesos industriales.

Objetivo: Mejorar la forma en cómo se construye hoy en día las viviendas de las personas más vulnerables, complementado con reducir los impactos medioambientales y el mejoramiento de calidad en la construcción de viviendas que esto conlleva.



Descripción del Problema

- Hoy en día la industria de la construcción tradicional es causante del 50% de partículas contaminantes en el medio ambiente, del consumo del 40% de la energía total y del 50% de los recursos humanos.



Descripción del Problema

- Déficit cualitativo y cuantitativo que se vive en el país y especialmente en los sectores más vulnerables.

Según la encuesta CASEN del 2017, el Ministerio de desarrollo social de Chile informa que en el año 2017 tuvimos...

Magnitud del déficit habitacional cuantitativo* según región (2006-2017)

(Número y porcentaje, requerimientos cuantitativos de vivienda)

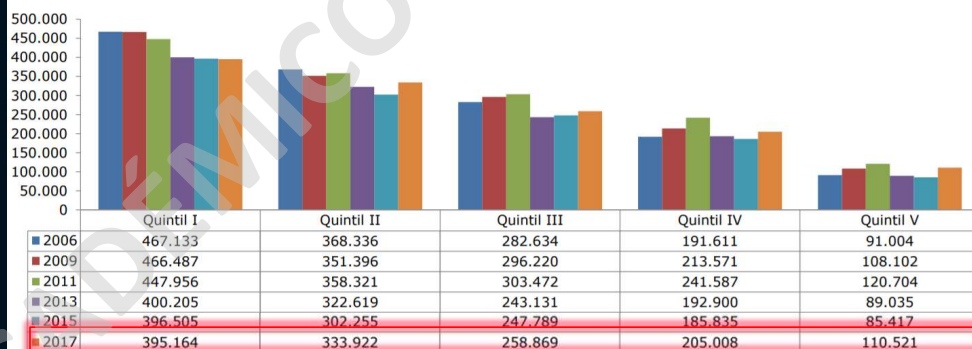
Región	2006		2009		2011		2013		2015		2017	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Arica y Parinacota	-	-	6.426	1,4	9.202	1,9	7.878	1,7	7.420	1,9	5.651	1,1
Tarapacá	18.335	4,2	12.657	2,8	11.821	2,4	11.095	2,4	11.713	3,0	14.234	2,9
Antofagasta	23.147	5,3	19.838	4,4	29.488	6,0	22.365	4,9	22.260	5,7	21.940	4,4
Atacama	9.116	2,1	6.795	1,5	9.476	1,9	9.043	2,0	8.355	2,1	10.500	2,1
Coquimbo	22.416	5,1	18.926	4,2	20.002	4,1	16.566	3,6	14.257	3,6	22.811	4,6
Valparaíso	41.399	9,5	35.104	7,8	43.492	8,8	38.196	8,3	24.421	6,2	39.782	8,0
Metropolitana	173.192	39,8	213.352	47,7	217.500	44,1	241.326	52,5	207.000	52,9	270.641	54,4
O'Higgins	20.751	4,8	28.056	6,3	19.458	3,9	16.775	3,7	15.377	3,9	16.737	3,4
Maule	33.727	7,7	22.463	5,0	36.514	7,4	24.173	5,3	18.374	4,7	19.948	4,0
Ñuble	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.243	1,7
Biobío *	49.431	11,4	41.728	9,3	56.306	11,4	39.544	8,6	33.677	8,6	35.119	7,1
La Araucanía	20.371	4,7	14.800	3,3	19.808	4,0	14.117	3,1	14.233	3,6	15.081	3,0
Los Ríos	-	-	9.626	2,2	5.750	1,2	4.520	1,0	4.498	1,1	3.907	0,8
Los Lagos	20.554	4,7	13.296	3,0	11.261	2,3	10.540	2,3	8.115	2,1	10.386	2,1
Aysén	1.770	0,4	2.027	0,5	1.402	0,3	1.277	0,3	662	0,2	534	0,1
Magallanes	1.128	0,3	2.465	0,6	1.875	0,4	1.932	0,4	1.184	0,3	2.101	0,4
Total	435.337	100,0	447.559	100,0	493.355	100,0	459.347	100,0	391.546	100,0	497.615	100,0

Fuente: Ministerio de Desarrollo Social, Encuesta Casen 2017.

Encuesta Casen 2017, Ministerio de Desarrollo Social

Magnitud del déficit cualitativo de vivienda* por quintil de ingreso autónomo per cápita del hogar (2006-2017)

(Número, viviendas con requerimientos cualitativos)



Fuente: Ministerio de Desarrollo Social, Encuesta Casen 2017.

Encuesta Casen 2017, Ministerio de Desarrollo Social

- Déficit cuantitativo: 497.615 viviendas.

Del cual 35.119 viviendas son las que requiere la Región del Bio Bio

- Déficit cualitativo: 1.303.484 viviendas que deben ser ampliadas o mejoradas.

Del cual el 56% corresponde a los sectores mas vulnerables

Objetivo General

- Analizar la factibilidad técnica y económica de la complementación de un sistema constructivo automatizado en Madera tipo Passive Haus para viviendas sociales en Chile y medir el impacto en el ahorro de energía y como se puede amortizar este impacto con subsidios para la vivienda.



Objetivo Específicos

- Analizar la oferta de construcción automatizada en Chile.
- Identificar las características técnicas y el costo que debe tener un modelo de vivienda social de madera con estándar Passive Hauss en Chile.
- Calcular el ahorro del consumo energético de una vivienda pasiva.
- Analizar la factibilidad económica de la construcción de viviendas sociales de madera prefabricadas con el estándar Passive Haus, considerando el uso de subsidios estatales y comparándolo con una construcción tradicional en albañilería.



RC Tecnova



Proyecto Valle Noble de Concepción construido con el sistema de paneles Metalpol, 184 casas prefabricadas en dos meses, realizando 3 entregas semanales de 24 casas, RC Tecnova

Análisis

Analizar la oferta de construcción automatizada en Chile.

Inmobiliaria Manquehue



Montaje de paneles Baumax, Baumax



Modelación BIM, Inmobiliaria Manquehue

Análisis

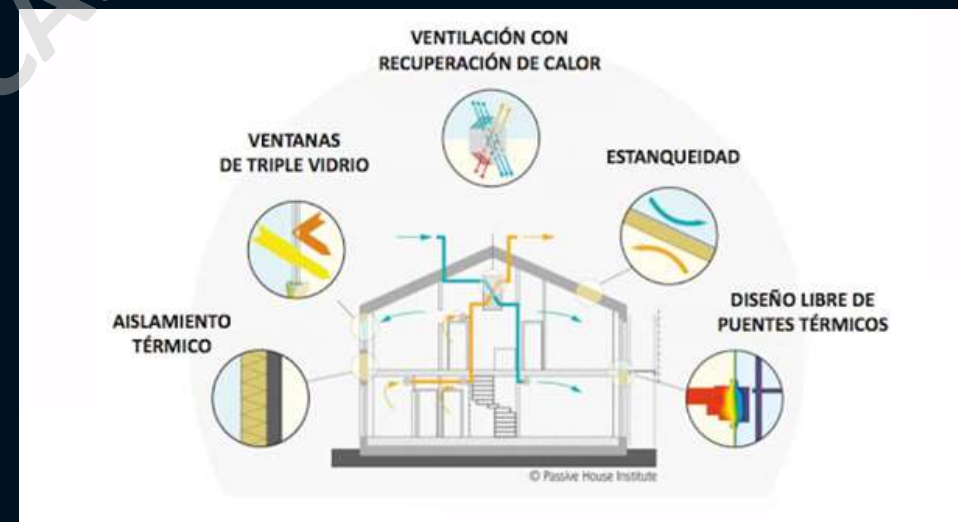
PassivHaus describe un estándar y no un método específico de construcción, PassivHaus a través de sus entes reguladores utilizan varias técnicas, de las cuales se destacan 5 principios, estos son:

- Envoltente aislada térmicamente.
- Envoltente hermética.
- Diseño libre de puentes térmicos.
- Ventanas y puertas pasivas.
- Ventilación con recuperación de energía térmica

Zona Climática	Valores U para ventanas, marco incluido $\leq [W/(m^2K)]$	Valores U para vidrio de ventanas $\leq [W/(m^2K)]$
1. Ártico	0.45	0.35
2. Frio	0.65	0.52
3. Frio/Templado	0.85	0.70
4. Cálido/Templado	1.05	0.90
5. Cálido	1.25	1.10
6. Caliente	1.25	1.10
7. Muy Caliente	1.05	0.90

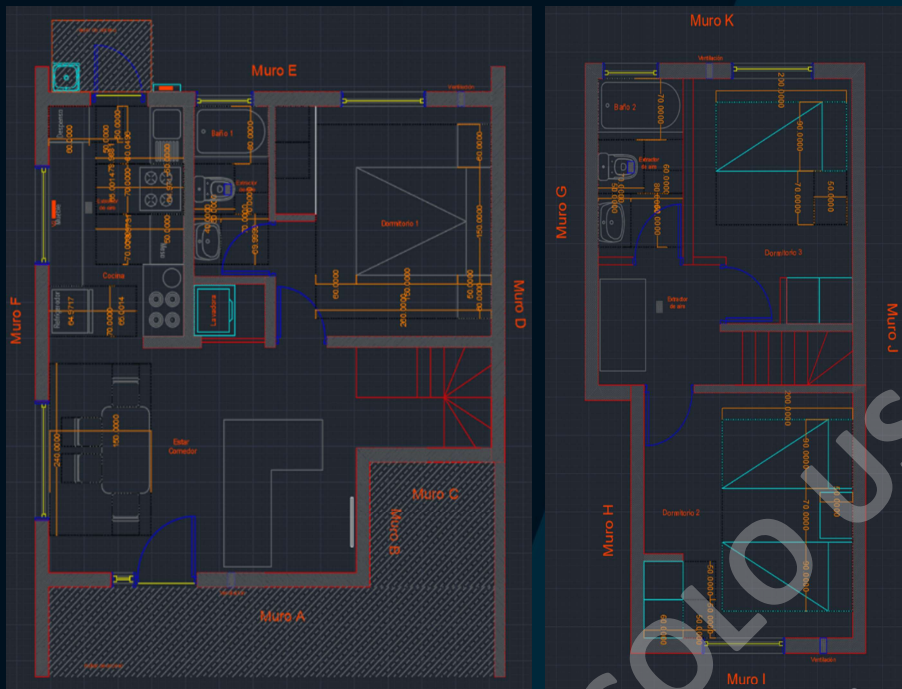
Valores U para ventanas según zona climática

Identificar las características técnicas y el costo que debe tener un modelo de vivienda social automatizada de madera con el estándar Passive Hauss en Chile.



Diseño de la Vivienda Social Automatizada

Planta Vivienda Social Unifamiliar Automatizada



Planta Primer Piso (superficie de 39 m²) y Segundo piso (superficie de 26 m²)

Proyecto de Análisis: Vivienda Social Unifamiliar
Emplazamiento: Concepción, Región del Bio Bio
Zona según artículo 4.1.10 OGUC: 4
M2 Edificación: 65 m²

Materiales elegidos para generar la envolvente de la vivienda se estudiaron en base a lo exigido por la OGUC en el artículo 4.1.10 sobre acondicionamiento Térmico de Viviendas, según la zona de emplazamiento N°4

Habitabilidad: 5 personas, 2 adultos y 3 niños.

Programa interior: 1 cocina, estar-comedor, 3 dormitorios y 2 baños.

Al ser un proyecto de vivienda social se consideró los metrajes según el Decreto 83, Artículo 10. Que se refiere al artículo 1° del D.F.L N°2, de 1959 sobre los metrajes máximos de la vivienda económica (Vivienda Social) en este caso se calcula sobre la base de 17,5 m² de superficie edificada por habitante. Dando un total para edificar de 87,5 m² para el cumplimiento de este artículo.

Vivienda social Bajo un estándar Passivhaus en Chile

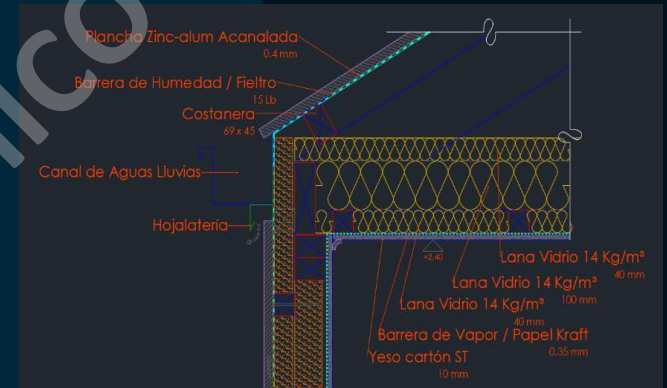
Aplicación del principio de envolvente térmica

Transmitancia térmica de la Techumbre					
Material	Espesor	Lambda	R _i =e/λ (m2K/W)	R _t =e/λ (m2K/W)	Ut (W/m2K)
R_{si} + R_{se}			0,300	4,504	0,222
Plancha Zinc-Alum	0,0004	200	0,000		
Fieltro 15 Lb	0,005	0,03	0,167		
Placa OSB	0,0095	0,23	0,041		
Lana de vidrio (14 kg/m3)	0,04	0,048	0,833		
Lana de vidrio (14 kg/m3)	0,1	0,037	2,703		
Lana de vidrio (14 kg/m3)	0,04	0,048	0,105		
Membrana Hidrofuga	0,0002	0,02	0,010		
Yeso carton	0,01	0,26	0,105		
Terciado Ranurado	0,009	0,12	0,075		
Cámara de aire			0,165		

Calculo Transmitancia térmica en la envolvente de la techumbre

Para la techumbre se consideró una resistencia superficial interior (R_{si}) de 0.10 y una resistencia superficial exterior (R_{se}) de 0.20, ya que la techumbre tiene una cámara ventilada (una cámara de aire entre el panel OSB exterior y la lana mineral interior).

El resultado final en transmitancia térmica del total de la configuración de la techumbre da 0.222 W/m2K.



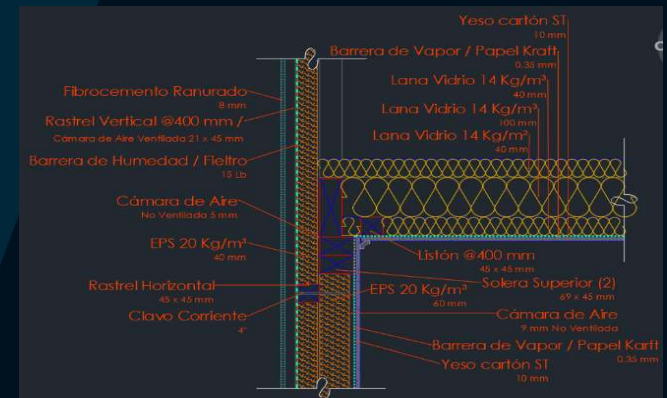
Configuración de materiales de la envolvente de la Techumbre

Transmitancia térmica de Muros					
Material	Espesor	Lambda	R _i =e/λ (m2K/W)	R _t =e/λ (m2K/W)	Ut (W/m2K)
R_{si} + R_{se}			0,240	3,683	0,272
Siding de Fibrocemento	0,006	0,23	0,026		
Cámara de Aire	0,02		0,105		
Fieltro 15 Lb	0,005	0,03	0,167		
Placa OSB	0,0095	0,23	0,041		
EPS (30 kg/m3)	0,04	0,0361	1,108		
Cámara de Aire	0,005		0,105		
EPS (30 kg/m3)	0,06	0,0361	1,662		
Cámara de Aire	0,009		0,105		
Membrana Hidrofuga	0,0002	0,02	0,010		
Yeso carton	0,01	0,26	0,038		
Terciado Ranurado	0,009	0,12	0,075		

Calculo Transmitancia térmica en la envolvente de los muros

En el cálculo para los muros se consideró una resistencia superficial interior (R_{si}) de 0.12 y una resistencia superficial exterior (R_{se}) también de 0.12 ya que la fachada exterior es una fachada ventilada (una cámara de aire en circulación entre el panel OSB exterior y el Siding de fibrocemento).

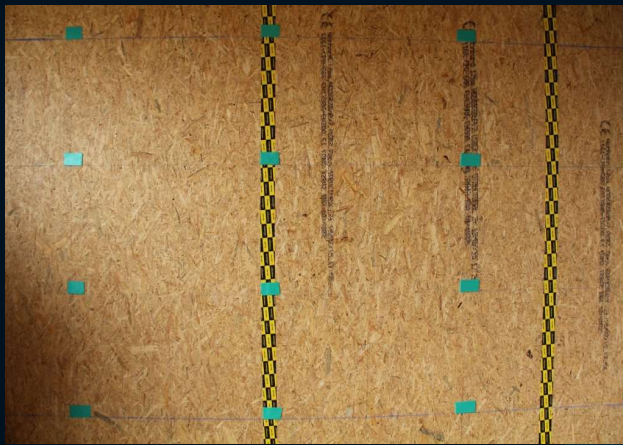
El resultado final en transmitancia térmica del total de la configuración de muro da 0.272 W/m2K.



Configuración de materiales de la envolvente de Muros y Techumbre

Vivienda social Bajo un estándar Passivhaus en Chile

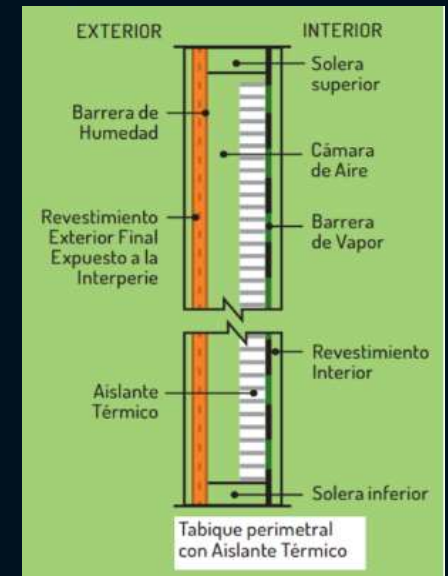
Aplicación del principio de envolvente hermética



Ejemplo de correcto sellado de la capa hermética y replanteo de cinta para el sellado estanco de las penetraciones de clavos y tirafondos



Ejemplo de correcto sellado de paso de instalaciones en capa hermética



Solución de aislación en tabique perimetral

Las infiltraciones pueden llegar incluso a representar el 60% de la demanda de energía para el acondicionamiento térmico de viviendas emplazadas en zonas ventosas y con altos diferenciales térmicos

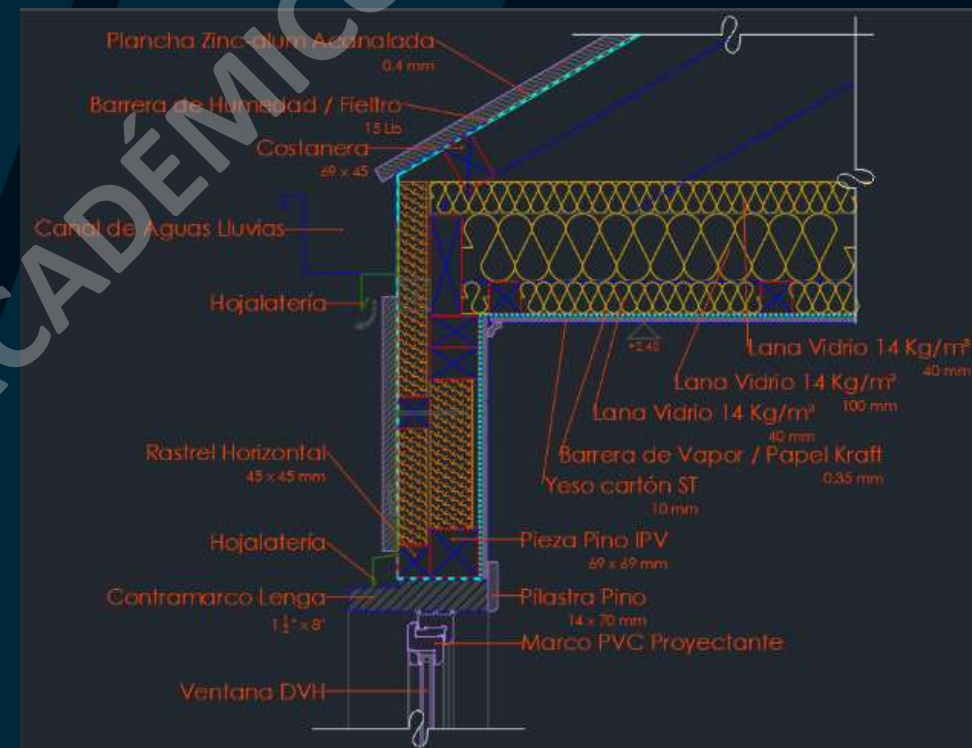
Vivienda social Bajo un estándar Passivhaus en Chile

Diseño libre de puentes térmicos y unión con ventanas DVH

Este criterio sugiere que todos los bordes, esquinas, conexiones y penetraciones deben planificarse y ejecutarse con mucho cuidado, para evitar puentes térmicos. Los puentes térmicos que no pueden evitarse deben minimizarse en la medida de lo posible.

En el caso de una construcción automatizada este criterio puede llevarse a cabo sin ningún problema, ya que cada panel fabricado con este sistema es exactamente cortado para reducir los puentes térmicos entre uniones y montaje de la vivienda.

Los puntos más complejos son las esquinas y las uniones con ventanas, algunos detalles de esas uniones se muestran a continuación



Unión de ventana DVH con tabique en modulo panelizado

Vivienda social Bajo un estándar Passivhaus en Chile

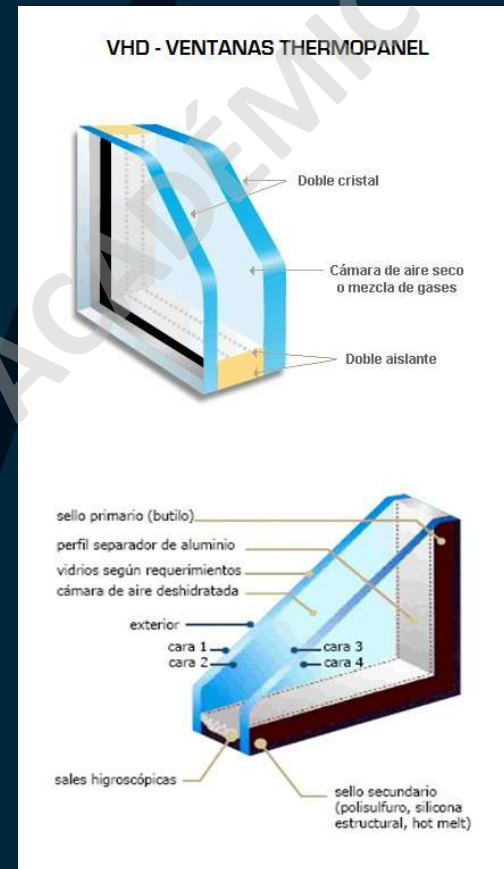
Aplicación del principio de ventanas y puertas pasivas.

Este criterio nos señala que los marcos de las ventanas deben estar bien aislados y equipados con acristalamientos de baja emisividad.

Para la mayoría de los climas templados fríos, esto significa un valor U de $0.80 \text{ W} / (\text{m}^2\text{K})$ o menos.

Para el presente proyecto se consideró la instalación de ventanas de Doble Vidriado Hermético.

En general, se deberá considerar traslapos, burletes y sellos necesarios para asegurar la hermeticidad de las ventanas.

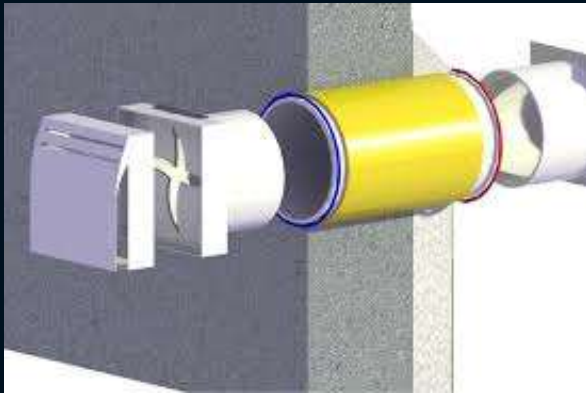


ventanas de Doble Vidriado Hermético

Vivienda social Bajo un estándar Passivhaus en Chile

Aplicación del principio de ventilación con recuperación de energía.

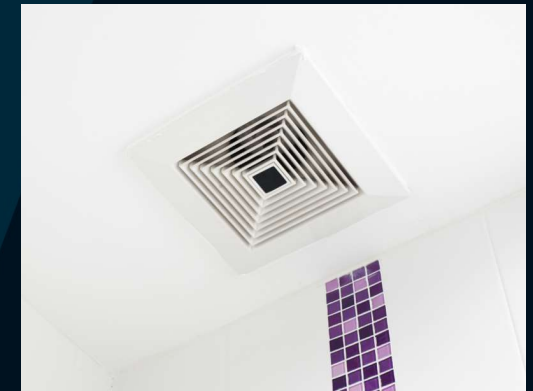
Ventilación pasiva en muros



Extractor de aire en cocina



Ventilación pasiva cielo



Se instalarán 4 unidades de transferencia de aire regulable tipo Jonas 3,5 con Tyfon y filtro Flimmer (85 mm) marca Jonas Ltda.

Se considera la instalación en muros exteriores de dormitorios y living-comedor.

Se deberá sellar con silicona los encuentros con el revestimiento exterior para no tener infiltraciones de aire.

Costos de la Vivienda Social en madera Automatizada tipo Passivhaus

Presupuesto disponible para ejecutar una vivienda tradicional

PRESUPUESTO DISPONIBLE	Fecha:	28-06-2020
	Valor UF	28.698
Financiamiento:	Subsidio (Fondo solidario de elección de vivienda)	
Monto Disponible:	1000 UF	
Valor a pesos:	\$28.698.000	
Región:	Biobío	

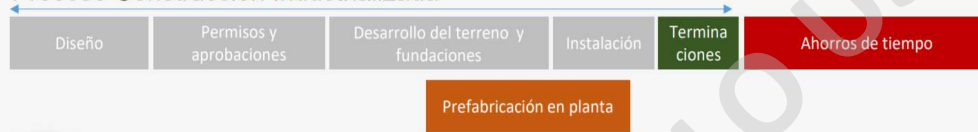
*Se dispone de un tope de 1000 UF, que es el valor de una casa promedio que cumple con las condiciones ya establecidos en el presente proyecto para que la familia pueda acceder a subsidios habitacionales.

Presupuesto de vivienda social automatizada en madera tipo Passivhaus

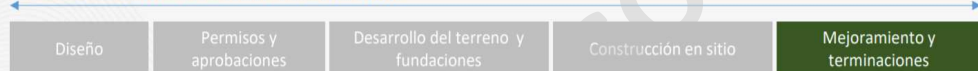
PRESUPUESTO	
Proyecto:	Vivienda social industrializada en madera tipo Passivhaus
Zona según Artículo 4.1.10 OGUC:	4
Ciudad:	Concepción
Región:	Biobío

COSTO DIRECTO		\$ 17.240.078
GASTOS GENERALES	5%	\$ 862.004
UTILIDADES	20%	\$ 3.448.016
TOTAL NETO		\$ 21.550.098
IVA	19%	\$ 4.094.519
TOTAL OBRAS CIVILES		\$ 25.644.616

Proceso Construcción Industrializada



Proceso Construcción Tradicional



*El costo directo de construcción de la vivienda con el sistema automatizado es \$17.240.078.

* Estos costos incluyen la M.O para realizar armados, traslados y montajes de los módulos panelizados.

*Los valores de cada material se calcularon con la ayuda de la página web “Generador de precios Chile” (CYPE ingenieros S.A., 2018), la cual proporciona valores actualizados de materiales constructivos.

Según lo analizado respecto a los procesos y costos de la construcción automatizada v/s una construcción tradicional se llegó a los siguientes resultados

Construcción Automatizada

1. Definición

1. Etapas claramente definidas, empezando desde el proyecto.

2. Calidad

2. Mayor control (cada pieza tiene su destino), menor influencia del error humano.

3. Precisión

3. La precisión dimensional y espacial de los elementos es crucial. Las tolerancias se basan en milímetros.

4. M.O

4. Procesos más automatizados.

5. Costos

5. Precio cerrado en proyecto.

6. Limpieza

6. Menor generación de residuos.

7. Impacto

7. Menor impacto en las zonas aledañas (menores molestias causadas a las personas que habitan o transitan por ellas por ruido, cortes de tráfico, generación de polvo) y durante menor tiempo (ejecución más ágil).

Construcción Tradicional

1. Mas posibilidad de cambios a lo largo de todo el proceso.

2. Elementos se manufacturan y/o ejecutan en la propia obra, mayor influencia del error humano.

3. Se admiten los errores. Las tolerancias se basan en centímetros.

4. Dependencia casi exclusiva de la capacitación técnica de la M.O humana disponible.

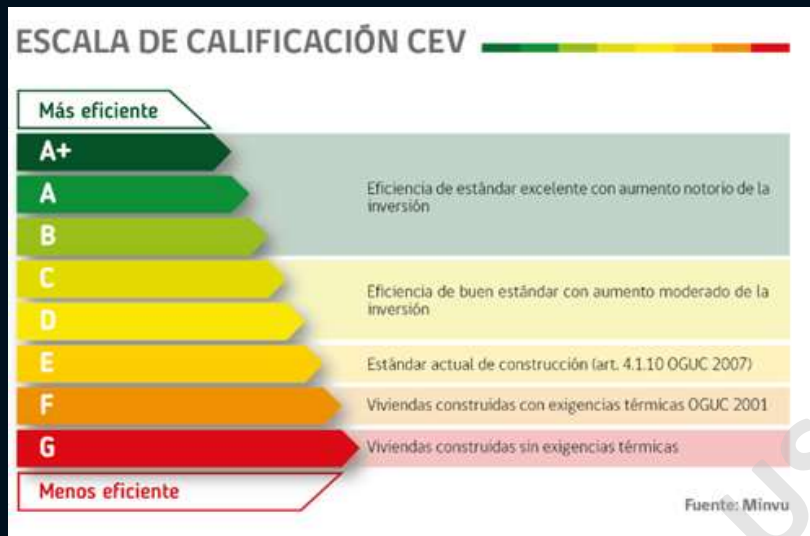
5. En origen, normalmente menor, pero mayor riesgo de imprevistos y desviaciones económicas.

6. La obra es la fabrica al mismo tiempo. Muchos excedentes de materiales.

7. Mayor tiempo y mayor necesidad de espacio para el desarrollo de todas las tareas.

Análisis

Para el cálculo del consumo energético se usó la Calificación Energética de Viviendas en Chile, herramienta la cual entrega información acerca de la eficiencia energética de las viviendas, la cual se evalúa con letras, el significado de cada letra se muestra en la siguiente figura



Escala de calificación energética de vivienda en Chile, MINVU.

Las viviendas calificadas contarán con una etiqueta con colores, porcentajes y letras, que van desde la A+ a la G, siendo esta última la menos eficiente

*La letra E representa el estándar actual de construcción tradicional, establecido en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). Esto quiere decir que una vivienda tradicional consume alrededor de 19.200 kWh/año

Calcular el ahorro de consumo energético de una vivienda pasiva.

Clasificación energética de la vivienda social tipo Passivhaus v/s una vivienda social tradicional.

Análisis

Calcular el ahorro de consumo energético de una vivienda pasiva.

Caso Vivienda Industrializada	Demanda Calefacción [kWh-año]	Demanda Calefacción [kWh/m2-año]	% ahorro Demanda Calefacción	Demanda Total [kWh/m2-año]	% Ahorro Total [kWh/m2-año]	Letra
Caso base oficial	5.358,9	82,4	no aplica	106,46	60%	B
Caso Propuesto	1.167,0	18,0	78%	42,2		

Demanda energética vivienda social industrializada

Como se puede ver en la etiqueta, se obtuvo una calificación energética “B”, lo que nos da un 60% de ahorro de energía y un requerimiento de 18 kWh/m2 al año. En el caso de la vivienda tradicional nos arrojó el siguiente resultado

Caso Vivienda Tradicional	Demanda Calefacción [kWh-año]	Demanda Calefacción [kWh/m2-año]	% ahorro Demanda Calefacción	Demanda Total [kWh/m2-año]	% Ahorro Total [kWh/m2-año]	Letra
Caso base oficial vivienda tradicional	4.944,6	76,1	no aplica	95,25	8%	E
	5.107,2	78,6	-3%	87,2		

Demanda energética vivienda social tradicional

En el caso de una vivienda social tradicional, nos arrojó una calificación con nota “E”, lo que nos da un ahorro de tan solo el 8% y un requerimiento de 78,6 kWh/m2, lo cual sería el estándar para cumplir las exigencias de acondicionamiento térmico del artículo 4.1.10 de la OGUC.

COSTO DIRECTO		\$	17.240.078
GASTOS GENERALES	5%	\$	862.004
UTILIDADES	20%	\$	3.448.016
TOTAL NETO		\$	21.550.098
IVA	19%	\$	4.094.519
TOTAL OBRAS CIVILES		\$	25.644.616

valor de la UF en \$28.698, con fecha del 28/06/2020

Para evaluar de mejor forma si nuestro proyecto cumple con los requisitos mínimos de los subsidios habitacionales existentes hoy en día para la compra de una vivienda en Chile, se presentarán las características del proyecto a continuación:

- **Ubicación:** Concepción, Región del Biobío.
- **Costo Directo:** 893,6 UF (\$25.644.616 pesos chilenos)
- **Superficie construcción:** 65 m²
- **Dormitorios:** 3
- **Baños:** 2
- **Se considera para una familia de 4 o 5 personas.**
- **Materialidad:** Madera
- **Proceso Constructivo:** Por módulos panelizados.

Análisis

Analizar la factibilidad económica de la construcción de viviendas sociales de madera prefabricadas con el estándar Passive Haus, considerando el uso de subsidios estatales y comparándolo con una construcción tradicional en albañilería.

Subsidios que podrían utilizar las familias en situación de vulnerabilidad para la compra del tipo de vivienda social en cuestión, estos son:

- ❑ **Fondo solidario de elección de vivienda (D.S 49)**
- ❑ **Programa de habitabilidad rural.**
- ❑ **Integración social y reactivación económica (D.S N°116)**
- ❑ **Subsidio para familias de sectores medios (D.S. 1)**

Conclusiones

Aplicación del Estándar Passivhaus en una vivienda social

Las construcciones que logran el estándar Passivhaus tienen un costo de inversión inicial más alto que una construcción que sólo cumple con el artículo 4.1.10 de la OGUC sobre reglamentación térmica actual en Chile. Pero, por otro lado, estas construcciones tienen un costo de operación de aproximadamente un 80% más bajo que una construcción tradicional.

Según el cálculo de la transmitancia térmica realizado a la envolvente de la vivienda social presentada junto con su calificación energética, y tomando en cuenta de los criterios del estándar passivhaus ya expuestos.

El resultado de poder certificar una vivienda social construida hoy en día con los actuales reglamentos y normas mínimas relacionadas a la envolvente térmica de vivienda es casi imposible. Esto sin duda se genera por la poca calidad de las normas exigidas relacionadas al acondicionamiento térmico de una vivienda social, es necesario aumentar los estándares a niveles internacionales para que los privados se preocupen más respecto a estos temas y generen estudios eficaces y eficientes sobre una envolvente adecuada para la vivienda.

De tal forma, se demostró que implementando proyectos de viviendas sociales bajo un sistema automatizado ayuda enormemente en reducir los puentes térmicos con mayor estudio en sus procesos constructivos y además genera una hermeticidad en la vivienda óptimos para alcanzar los estándares de calidad como el passivhaus, sin incurrir he implementar mayores gastos económicos disponibles para la realización de una vivienda social

Conclusiones

Implementación de subsidios estatales para la compra o construcción de viviendas sociales con el estándar Passivhaus

Como resultado del análisis realizado respecto a la amortización del valor de la vivienda social tipo passivhaus, existe una variedad de oportunidades para que este sistema constructivo se pueda adecuar a los beneficios de viviendas existentes hoy en día en las actuales normas y leyes relacionadas a la construcción.

Se puede reflejar además como esto podría impactar positivamente en la calidad de vida de las personas que hoy en día están necesitando una vivienda con urgencia, de tal forma el estado se beneficiaría en suplir con eficiencia los requerimientos o necesidades de sus ciudadanos en un menor tiempo y a largo plazo con un menor gasto económico e impacto ambiental, esto siempre y cuando estén dispuestos a invertir en nuevas tecnologías para el rubro, y aumenten las exigencias de mejor forma de las normas que hoy en día se rigen estas viviendas.

El valor agregado generado a las viviendas con bajas demandas energéticas, logra además visualizar que la mayor parte de los subsidios habitacionales disponibles tienen un tope de construcción de 1000 UF promedio, lo que considerando el costo directo del proyecto en cuestión, lo que nos logró dar además una calificación energética “B”, si se estudian bien los proyectos una vivienda de calidad promedio no debiera de tener una calificación menor al presente estudio, lo que ampliaría la cabida de beneficiarios para este tipo de sistemas constructivos, esto considerando que los actuales sistemas exigidos solo se adecuan a una calificación “E”, lo cual es muy baja en comparación a estándares internacionales.



MUCHAS GRACIAS

Michael Nicolas
Diaz Cáceres

Teléfono
+56 9 4282 3202

Correo electrónico
Michael.diazc@mayor.com