

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

"ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA PROTOTIPO"

**Memoria para optar al Título de:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**ALUMNO : FELIPE SEPÚLVEDA BUSTOS
PROFESOR GUÍA : YUNESKY MASIP MACIA**

2017

Resumen

El presente estudio tiene por finalidad analizar las distintas opciones en términos constructivos de una vivienda tomando en cuenta una serie de factores climáticos y del entorno que la rodea. Además de tomar en cuenta estos factores es necesario considerar las condiciones de higiene y confort en la vivienda para garantizar una mejor calidad de vida para los habitantes de la misma, este tipo de edificaciones se denominan viviendas bioclimáticas. Si bien es un tema que tiene bastante desarrollo en Europa, en Chile recién se está comenzando a implementar un etiquetado de eficiencia energética que por el momento es opcional, sin embargo no contempla posibles condensaciones al interior de la vivienda, ni calidad del aire al interior de ella, este estudio analiza las posibles situaciones de condensaciones al interior de la vivienda, ocupando como base el Código Técnico de Edificación (CTE) de España y algunos conceptos considerados en el estándar Passivhaus. En la medida que el Ministerio de Vivienda y Urbanismo y los potenciales clientes exijan mejor calidad de las viviendas, el mercado inmobiliario tenderá a mejores construcciones tomando en cuenta el confort de las personas que la habitan.

En primera instancia se analiza el perfil de consumo energético de las viviendas y la materialidad, luego se analizan las distintas opciones disponibles en el mercado optando por una solución constructiva acorde a lo requerido. En segunda instancia se realiza un análisis de costos y factibilidad de construcción tomando en cuenta un posible sobre costo versus el ahorro energético.

Indice

Capítulo 1: Introducción

1.1 Consumo energético actual en Chile	13
1.2 Política energética de Chile	17

Capítulo 2: Antecedentes generales

2.1 Condiciones climáticas de Santiago	27
2.2 Zonificación térmica	28
2.3 Exigencias de acondicionamiento térmico	31
2.4 Ubicación específica de la vivienda.	34

Capítulo 3:Análisis de la situación Actual

3.1 Mercado inmobiliario Actual en Chile.....	36
3.2 Materialidad de las viviendas	36
3.3 Consumo energético de viviendas promedio anual en Chile	39

Capítulo 4: Diseño de la vivienda bioclimática

4.1 Lugar de emplazamiento de la vivienda.....	44
4.2 Materialidad de la envolvente de la vivienda	45
4.2.1 Ladrillo:	45
4.2.2 Hormigón:	48
4.2.3 Madera	49
4.3 Dimensiones de la vivienda	52
4.4 Aislación térmica de la envolvente.....	57
4.4.1 Muros de envolvente	60
4.4.2 Techumbre	65
4.4.3 Piso.....	69

4.4.4 Puentes térmicos	71
4.4.5 Ventanas	79
4.5 Fenómeno de sobrecalentamiento asociado a la vivienda.	98
4.6 Análisis estructural de la vivienda.	105
4.7 Sistema de calentamiento de agua sanitaria	119
4.7.1 Irradiancia Solar Disponible	121
4.8 Selección de un colector solar y sistema solar térmico.....	126
4.8.2 Colector al vacío	129
4.8.3 Balance térmico de un colector y ecuaciones fundamentales	131
4.8.4 Sistema solar Térmico	140
Capítulo 5: Análisis de costos y evaluación económica	
5.1 Costos asociados a la construcción de la vivienda bioclimática	147
5.2 Evaluación económica	153
5.3 Análisis de sensibilidad del mercado de energía	158
Conclusión.....	160
Bibliografía	162
Anexo 1: Análisis energético de la vivienda en CEV	168
Anexo 2: Análisis de la vivienda bioclimática en PHPP.	177
Anexo 3: Documentos y tablas (ventanas, carta psicrométrica, colectores solares y planos).....	186

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de radiación mundial. Fuente: Solargis	8
Figura 2. Radiación solar disponible en el Norte grande.....	9
Figura 3. Consumo anual y energía solar disponible	11
Figura 4. Esquema de un muro Trombe.	13
Figura 5. Balance nacional de energía. Fuente.....	14
Figura 6. Capacidad instalada. Fuente: CDEC y CIFES.	14
Figura 7. Crecimiento de Passivhauss en Austria.....	16
Figura 8. Ahorros potenciales con vivienda energética.....	17
Figura 9. Crecimiento de ERNC en generación de energía.	18
Figura 10. ERNC aprobadas para construcción y evaluación.....	19
Figura 11. PIB y consumo energético de Chile	20
Figura 12. PIB y consumo energético de países de la OCDE.....	21
Figura 13. Sello de calificación energética	23
Figura 14. Fenómeno de convección natural.	26
Figura 15. Radiación entre una persona y una pared	26
Figura 16. Fenómenos combinados de transferencia de calor.....	27
Figura 17. Valores de aire introducido o infiltraciones.....	31
Figura 18. Exigencias térmicas según decreto N°192.....	31
Figura 19. R100 según la norma NCh 2251 $R_{100} = R_t * 100$	32
Figura 20. Exigencias térmicas para ventanas.....	33
Figura 21. Foto satelital del terreno. Fuente.	35
Figura 22. Materialidad de las viviendas en Chile. Fuentel.....	38
Figura 23. Matriz energética residencial en Chile	40
Figura 24. Consumo de energía en una residencia en Chile	41
Figura 25. Topografía del lugar.....	44
Figura 26. Ladrillo común.....	46
Figura 27. Diseño industrial de vivienda modular tipo.....	53
Figura 28. Dimensiones generales planta primer piso	54

Figura 29.Red de resistencias térmicas en serie de una pared plana de dos capas.	58
Figura 30.Valores de resistencia térmica.	60
Figura 31. Porcentaje de estructura en tabiquería.	62
Figura 32. Flujo de calor en un elemento heterogéneo.....	62
Figura 33.Listado de soluciones constructivas.....	65
Figura 34. Solución de cielo y techumbre	67
Figura 35. Cámara de aire ventilada.	68
Figura 36. Diferencias entre instalaciones con y sin Techshield	68
Figura 37. Puentes térmicos en cámara termográfica.....	71
Figura 38. Puentes térmicos en Metalcom	73
Figura 39. Detalle constructivo unión pilar-muro	73
Figura 40. Simulación en Therm para cálculo de puentes térmicos.....	74
Figura 41.Muestra infrarroja de la unión de pilares con ambos muros.....	75
Figura 42. Detalle constructivo losa-viga	75
Figura 43. Cálculo en THERM puente térmico viga-loza	76
Figura 44. Isotherma en unión muro-pilar.	77
Figura 45. Isotherma en unión viga-loza	78
Figura 46. Isotherma en marco de ventana	78
Figura 47. Perfil PVC Europeo (izquierda) y americano (derecha)	81
Figura 48. Carta psicrométrica	86
Figura 49. Simulación puente térmico ventana en Therm.....	90
Figura 50. Fachada longitudinal (izquierda), fachada transversal (derecha).....	91
Figura 51. Esquema de radiación a través de un vidrio	92
Figura 52. Trayectoria del Sol en invierno y verano	93
Figura 53. Balance térmico de ventanas en las distintas orientaciones	94
Figura 54. Esquema de ventanas en orientación Norte	95
Figura 55. Esquema ventanas orientación Sur	95
Figura 56. Esquema ventanas orientación oriente	96
Figura 57. Esquema ventanas orientación poniente	96

Figura 58. Accesorio para ventilación de muro con filtro incorporado.....	98
Figura 59. Vivienda con inercia térmica sin aislación exterior.....	100
Figura 60. Vivienda con inercia térmica y aislación exterior.....	100
Figura 61. Esquema de alero en vivienda.....	102
Figura 62. Árbol de hoja caduca típico.....	104
Figura 63. Elementos de una fundación sobre poyos.....	107
Figura 64. Esquema de referencia de procedimiento de trazado.....	108
Figura 65. Esquema de pilote asegurado mediante arriostramiento.....	109
Figura 66. Humedad de la madera y consideraciones de su resistencia.....	111
Figura 67. Clase estructural y propiedades mecánicas de la madera.....	112
Figura 68. Viga y pilar en sección.....	112
Figura 69. Viga de piso con carga uniforme.....	113
Figura 70. Fuerzas horizontales sísmicas que afectan a la vivienda.....	116
Figura 71. Esquema de vigas y pilares en el primer piso.....	116
Figura 72. Esquema de vigas y pilares en el segundo piso.....	117
Figura 73. Esquema del efecto de los vientos sobre la vivienda.....	117
Figura 74. Efecto de los vientos en una vivienda.....	118
Figura 75. Cargas influyentes en la vivienda según normas correspondientes.....	119
Figura 76. Demanda cubierta por colectores solares.....	120
Figura 77. Irradiancia mensual y demanda de ACS.....	123
Figura 78. Inclinación de colectores solares según su uso.....	123
Figura 79. Componentes de un colector de placa plana.....	127
Figura 80. Principio de selectividad según el material.....	128
Figura 81. Principio de funcionamiento efecto invernadero.....	129
Figura 82. Colector de flujo directo.....	130
Figura 83. Principio de funcionamiento de un tubo de calor.....	130
Figura 84. Balance térmico de un colector tipo.....	131
Figura 85. Curva característica de un colector solar.....	134
Figura 86. Curva característica de segundo orden.....	135

Figura 87. Cuadro comparativo de colectores.....	136
Figura 88. Superficie necesaria de captación solar.....	138
Figura 89. Cantidad de unidades colectoras.....	138
Figura 90. Demanda de ACS versus la energía disponible colectores solares.....	140
Figura 91. Esquema de un sistema solar indirecto con recirculación forzada y almacenamiento de energía	141
Figura 92. Exigencias visuales donde se ejecutan distintas tareas.....	144
Figura 93. Consumo energético de distintas luminarias.....	145
Figura 94. Variación del precio por kWh en GLP y EE.....	158
Figura 95. Variación del VAN según la variación del precio de la energía.....	159

Indice de Tablas

Tabla 1. Calificación arquitectura (demanda de energía en calefacción	24
Tabla 2. Calificación arquitectura + equipos + tipo de energía.....	24
Tabla 3. Dirección e intensidades de los vientos promedios en Santiago, Peñalolen.	28
Tabla 4. Ejemplo de grados día mensuales y anuales para la I y II región	29
Tabla 5. Zonificación térmica. Fuente: Reglamentación térmica.....	29
Tabla 6. Valores de resistencia térmica de distintos materiales. Fuente: NCh 853.....	39
Tabla 7. Cuadro comparativo de materiales. Fuente: Elaboración propia.....	52
Tabla 8. Resistencia y conductividades de distintos materiales. Fuente NCh 853	63
Tabla 9. Clase de higrometría según zona climática.....	79
Tabla 10. Valores de U de distintas soluciones.....	81
Tabla 11. Valores de transmitancia y CS de las soluciones.....	82
Tabla 12. Características del cristal seleccionado.	87
Tabla 13. Porcentaje de ventanas respecto a la envolvente	88
Tabla 14. Energía expresada por m ² necesaria para calefacción.	104
Tabla 15. Demanda energética en ACS.....	121
Tabla 16. Irradiancia disponible en un plano horizontal	122
Tabla 17. Irradiancia mensual con inclinación de 33°	124

Tabla 18. Irradiancia mensual efectiva con factores de suciedad y perpendicularidad	125
Tabla 19. Horas útiles en un día medio de cada mes.	126
Tabla 20. Irradiancia útil diaria en un día medio.....	126
Tabla 21. Rendimiento instantáneo del colector “Neo”	137
Tabla 22. Aporte mensual y diario por m ² de colector solar disponible en un día medio de cada mes	137
Tabla 23. Rendimiento campo de colectores solares.....	138
Tabla 24. Rendimiento del campo colector solar con cuatro unidades captadoras..	139
Tabla 25. Energía consumida por electrodomésticos en una vivienda.	146
Tabla 26. Costos de preparación de faena..	147
Tabla 27. Costos en obra gruesa primer piso	148
Tabla 28. Costos en obra gruesa segundo piso.....	149
Tabla 29. Costos en tabiquerías y terminaciones.	150
Tabla 30. Costos en instalaciones eléctricas y sanitarias	151
Tabla 31. Costos de instalaciones generales.....	151
Tabla 32. Costos de mano de obra general	152
Tabla 33. Costo de mano de obra especializada	152
Tabla 34. Costo administrativo y puesta en marcha.	153
Tabla 35. Demanda energética de calefacción para una vivienda tradicional.....	154
Tabla 36. Cuadro comparativo de vivienda bioclimática y tradicional	155
Tabla 37. Sobrecosto de la vivienda bioclimática sobre una tradicional.	156
Tabla 38. VAN del sobrecosto y ahorro anual de la vivienda bioclimática	157
Tabla 39. Tasa interna de retorno de la vivienda bioclimática	157
Tabla 40. Variación del kWh en GLP y electricidad	158
Tabla 41. Análisis de sensibilidad del VAN según variación del precio de la energía	159

Capítulo 1

Introducción

Chile tiene un potencial enorme respecto a la radiación solar que recibe ubicándose en el cinturón de fuego hasta la V región, se sabe que el Sol es una fuente prácticamente inagotable de energía y en abundancia, pero también es una energía intermitente, es decir no se encuentra disponible en todo momento es por ello que se hace necesario almacenar esa energía en caso de no ser utilizada inmediatamente.

Para poder aprovechar al máximo la energía que proporciona el Sol es indispensable tener conocimientos acabados del movimiento del Sol en los distintos meses del año y como varía durante el día, así como también los distintos tipos de radiaciones y de soluciones diseñadas para aprovechar esta energía.

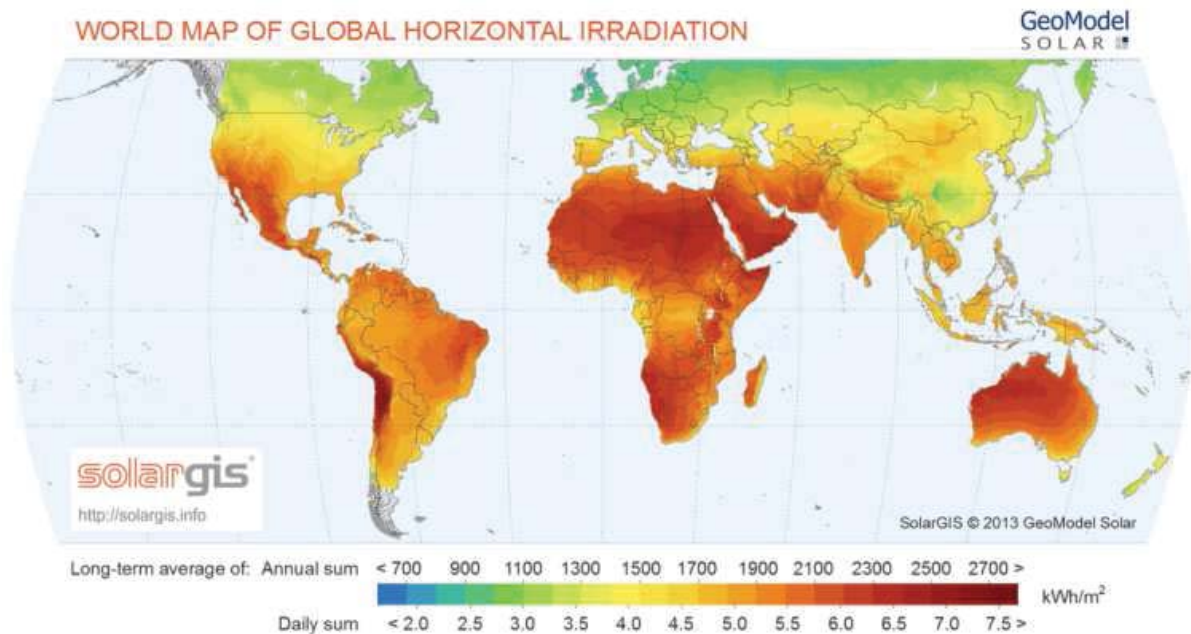


Figura 1. Mapa de radiación mundial. Fuente: Solargis

Existen lugares en el norte de Chile donde incide la mayor radiación solar del mundo, este potencial aún no es explotado de la manera que debería explotarse pero hay iniciativas que están empezando a cambiar este dilema, como por ejemplo, la planta

termosolar en Atacama inversión de la empresa Abengoa que generará 110 [MW] y con posibilidad de almacenamiento de la energía térmica mediante salmueras especiales de hasta 17[hrs], donde posteriormente la salmuera pasa por un intercambiador de calor o caldera, transfiriendo calor al agua donde se genera vapor de agua para continuar con un ciclo Rankine convencional.

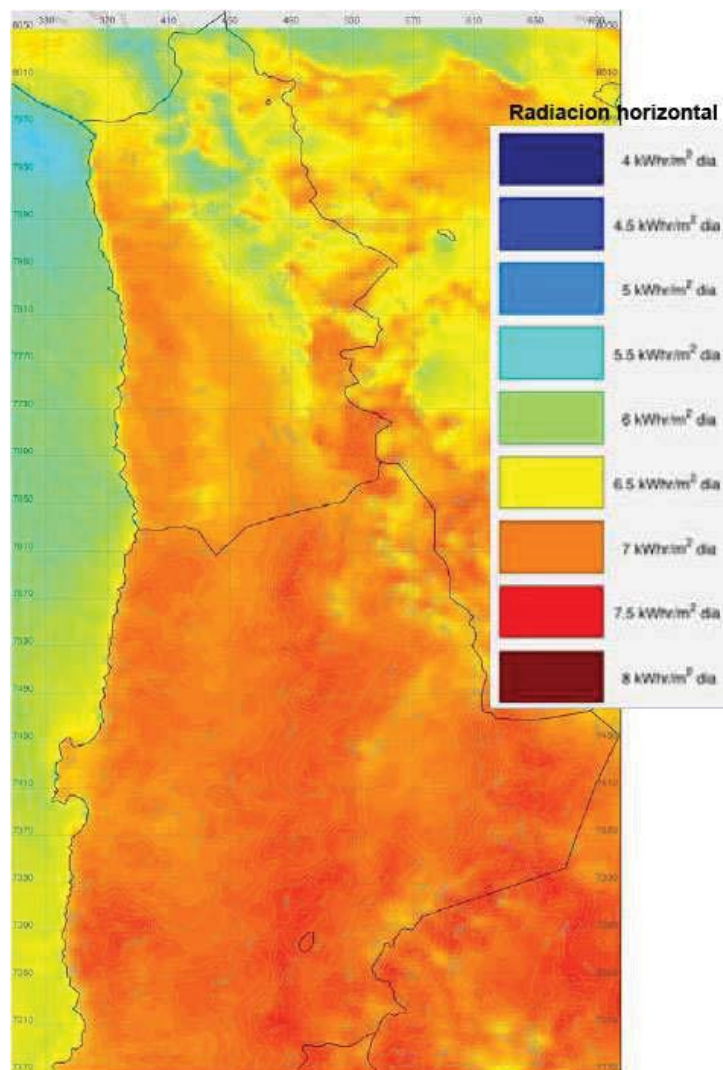


Figura 2. Radiación solar disponible en el Norte grande .Fuente: Comisión Nacional de Energía (CNE)

Fuentes de energía

Existen varias fuentes de energía dentro de las cuales nos encontramos con una clasificación general, que son las energías no renovables y renovables dentro de las no renovables se encuentra el carbón, gas natural, petróleo, etc.. , en tanto, dentro de las renovables o inagotables en una escala humana encontramos: fuentes hidráulicas, eólicas, solar, oceánicas, biomasa y geotérmicas.

Dentro de las fuentes de energía sean renovables o no existe otra clasificación de estas como son las primarias y secundarias.

Fuentes primarias

Se denomina energía primaria a los recursos naturales disponibles en forma directa como la energía hidráulica, eólica y solar, o indirecta luego de sufrir una transformación de miles de años tales como el petróleo o gas natural.

Fuentes Secundarias

Se denomina energía secundaria a los productos resultantes de las transformaciones o elaboración de recursos energéticos naturales (primarios), o en determinados casos a partir de otra fuente energética ya elaborada (por ej. Alquitrán). El único origen posible de toda energía secundaria es un centro de transformación y el único destino posible un centro de consumo, este proceso de transformación puede ser físico, químico o bioquímico modificándose así sus características iniciales.

Existen casos donde pueden considerarse energías primarias o secundarias según sea el caso como lo es por ejemplo la energía hidráulica donde en un caso puede utilizarse para generar energía eléctrica y en otro caso utilizarla para accionar mecánicamente un conjunto de máquinas, por ejemplo un molino de agua y en este caso sería considerada como energía primaria.

Fuentes Renovables

Una de las características de las energías renovables es que en el proceso de transformación o aprovechamiento en energía útil no se agotan en una escala humana. Estas energías renovables pueden clasificarse a su vez como convencionales y no convencionales según sea el grado de desarrollo de estas tecnologías para el aprovechamiento, un ejemplo de las convencionales es la energía hidráulica de gran escala, muy difundida en nuestro país.

Como energía renovable no convencional (ERNC) se encuentran la solar, eólica, geotérmica, mareomotriz y biomasa donde también en algunos casos otra considerada dentro de esta categoría es la hidráulica de paso o de menor escala.

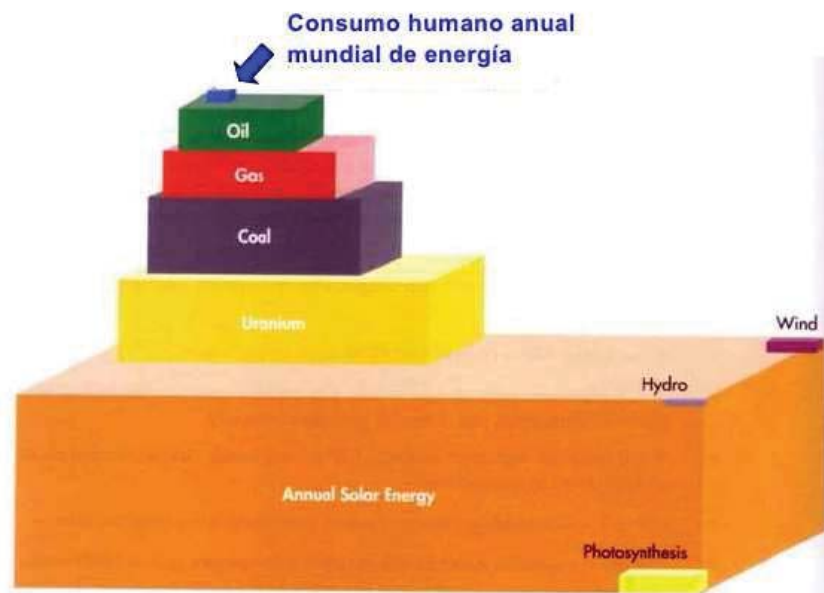


Figura 3. Consumo anual y energía solar disponible. Fuente IEA

Si fuese posible aprovechar el 100% de la energía solar disponible en un solo día sería posible cubrir el consumo humano anual a nivel mundial de energía (figura 3). La energía solar en Chile posee un potencial tremendo en comparación con otros países que poseen un mayor desarrollo de las tecnologías de captación de la energía

solar, tal es el caso de **Alemania** que lidera el ranking en generación de energía eléctrica per cápita mediante paneles fotovoltaicos y tercero en calentamiento de agua mediante paneles solares, donde hay disponible una radiación de hasta **1.350** [kWh/m²*año] que equivale a la radiación disponible en la ciudad de **Valdivia**.

En Chile el consumo energético de leña representa alrededor de un 40% del total donde su mayoría se utiliza para calefacción de vivienda, debido a la poca aislación de las viviendas es necesario un mayor consumo de combustible para mantener una temperatura de confort dentro de ella, hoy en día en Chile existen 10 millones de personas expuestas a la contaminación por sobre la norma MP 2,5 (material particulado 2,5 µm) donde el material particulado se aloja en los pulmones y alveolos produciendo al menos 4.000 muertes prematuras al año, según la OMS (Organización Mundial de la salud). Por ello es imprescindible mejorar la calidad de las construcciones con mayor aislación, y una mejor orientación respecto al Sol para mayor aprovechamiento de la energía y así reducir la demanda de calefacción, además por supuesto de calefaccionar con sistemas más eficientes.

En general existen dos tipos de aplicaciones de la energía solar **activa y pasiva**, la energía solar activa es toda aquella que necesita de algún otro medio de energía para poder aprovecharla o distribuirla como es el caso de un sistema solar mediante colectores solares para calentamiento de agua el cual necesita de una bomba de recirculación e intercambiadores de calor. La energía solar pasiva en cambio, pretende aprovechar la energía solar recibida durante el día para distribuirla de forma natural sin necesidad de medios mecánicos o eléctricos, como es en el caso de **viviendas con una arquitectura bioclimática** donde lo que se busca es lograr un confort térmico, mediante una correcta orientación de la vivienda, materialidad de la envolvente y soluciones constructivas adecuadas, otras aplicaciones de energía solar pasiva pueden ser las cocinas, secadores o destiladores solares.

Dentro de las aplicaciones más conocidas de la energía solar pasiva es la del muro Trombe que consiste en una cubierta de vidrio sobre un muro de concreto, entre la

cubierta y el concreto se realiza un calentamiento del aire circulante durante el día y por medio de convección natural realiza una circulación de aire adecuada y en la noche este muro actúa de manera inversa para disipar el calor. (Figura 4)

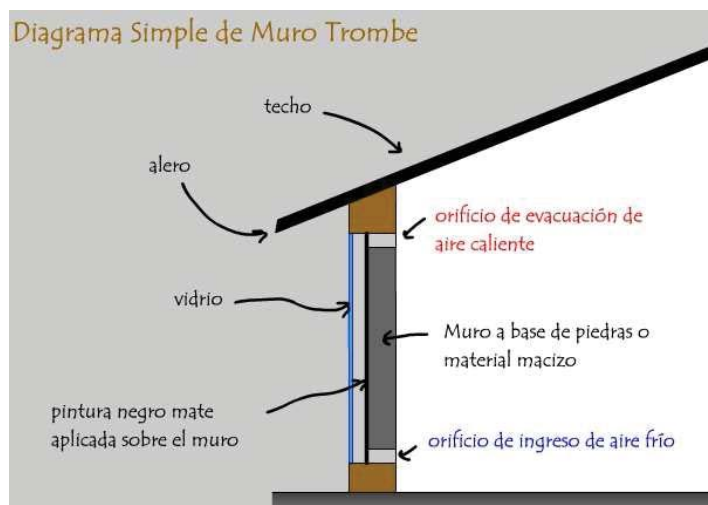


Figura 4. Esquema de un muro Trombe.

1.1 Consumo energético actual en Chile

Actualmente en Chile el consumo de energía se encuentra distribuido de tal manera que la industria y el sector minero ocupan el 40% del consumo total, seguido por el sector comercial, público y residencial, luego viene transporte y energía, hoy en día se hace necesario crear políticas energéticas que apunten a disminuir el consumo y por ende ser más eficientes en términos de energía dentro de los tres aspectos principales.

En Chile dentro de la matriz energética, las ERNC (energías renovables no convencionales), ocupan un porcentaje muy bajo respecto al posible en el país, donde en el SIC (sistema interconectado central) representan alrededor de un 10% y un 5% en el SING (sistema interconectado norte grande), para ello el gobierno de Chile el año 2013 promulgó la ley 20/25 donde uno de los objetivos es poder generar un 20% de la energía mediante ERNC al año 2025.

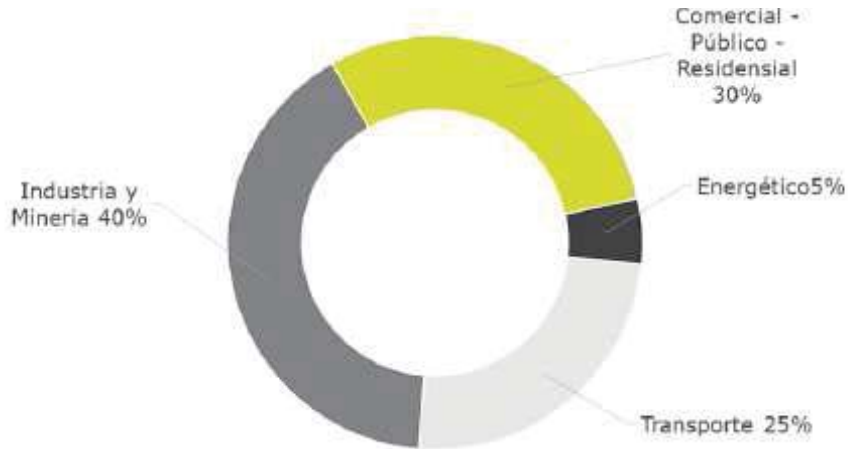


Figura 5. Balance nacional de energía. Fuente: Ministerio de Energía 2013.

Además de producir energía eléctrica mediante ERNC otra política energética es la de mejorar la eficiencia energética, la cual pretende reducir el consumo de energía en un 12% a nivel nacional mediante planes de acción, uno de esos tópicos es el ámbito de la vivienda, donde los objetivos son, reducir el consumo energético para calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) e iluminación, para ello se propuso la evaluación energética obligatoria de las viviendas nuevas sea departamento o casa, informando al potencial comprador mediante un etiquetado de la vivienda, la demanda y el consumo anual de energía de la vivienda, donde el comprador obtiene beneficios de ahorro económico y confort térmico, mejorando la calidad de vida y ahorros económicos significativos.

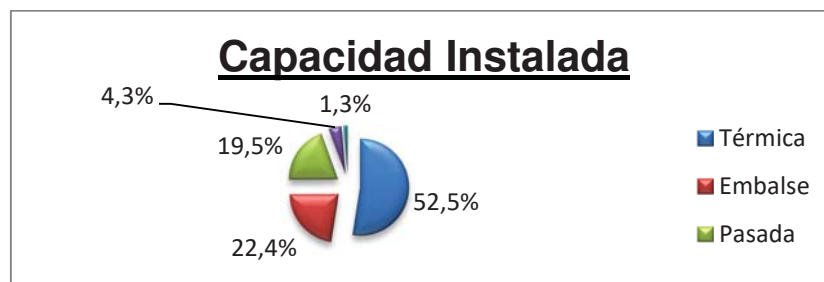


Figura 6. Capacidad instalada. Fuente: CDEC y CIFES. Elaboración propia.

Dentro del ámbito de la eficiencia energética aplicada a la vivienda, existe un concepto llamado “**Vivienda bioclimática**”, que consiste en diseñar viviendas unifamiliares o edificios aprovechando los recursos naturales disponibles para así ahorrar en consumo de energía para calentar o enfriar la vivienda e iluminar de una manera más eficiente el ambiente disminuyendo además el impacto medioambiental, para esto se hace necesario un diseño adecuado a las condiciones climáticas, terreno y orientación, aprovechando los recursos naturales disponibles, no menos importante es el confort térmico de las personas que habitan la vivienda, el cual está definido por una temperatura adecuada de confort además de una humedad relativa dentro de un rango razonable.

Un ejemplo claro de eficiencia en edificación es el edificio Empire State en E.E.U.U. el cual logró reducir en un 38,4% el consumo de energía eléctrica y térmica mediante una serie de medidas tales como la implementación de termopaneles, aislación de los radiadores, cambio de bombillas de iluminación, además de una mejora en el sistema de refrigeración y unidades de manejo de aire mediante un sistema de manejo de aire variable (VAV), para poder realizar esto se automatizó el edificio completo mediante sensores de distinto tipo con un sistema centralizado.

Otro ejemplo de eficiencia es el estándar creado por los alemanes llamado Passivhaus donde se exige un máximo de **15[kWh/m²*año]** para calefacción, estanqueidad de la vivienda con renovaciones de aire de 0,6[h⁻¹], eliminando filtraciones a un mínimo y una temperatura ambiente en el interior en verano, según la norma EN15251 de 26°C y 50% de humedad relativa donde puede ser más baja si es que se cuenta con un sistema de refrigeración y 20°C en invierno, este estándar ya no es solamente aplicado en Alemania, sino que ha sufrido un crecimiento exponencial en Austria, cómo se puede ver en la **figura 7**, donde en 10 años paso de ser sólo una vivienda a 1660, llegando a Chile hace un par de años y siendo aplicado además en climas tropicales.

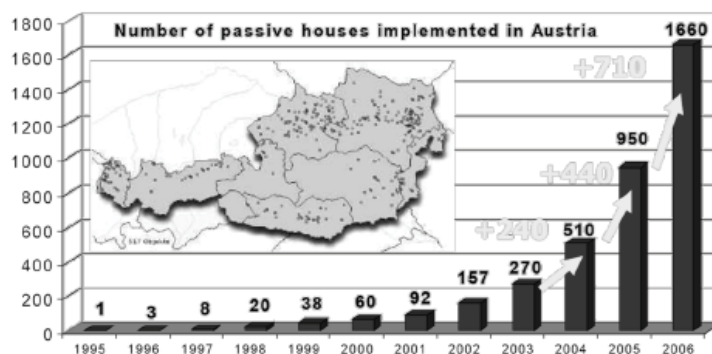


Figura 7. Crecimiento de Passivhauss en Austria. Fuente: Estándar Passivhauss en Chile.

En Chile también existen ejemplos claros de viviendas o locales comerciales donde se aplicaron estándares de eficiencia energética Passivhauss, en el año 2010 se construyó un edificio perteneciente al banco BCI, el cual cuenta con una certificación LEED y Passivhauss, este edificio posterior a su construcción tuvo que mejorar la hermeticidad al paso del aire para lograr el estándar mencionado. En general existe mucho interés del estándar Passivhauss implementado en Chile pero para avanzar de manera correcta, deben realizarse mesas de diálogo con el gobierno y una investigación más acabada adaptando este estándar a la realidad chilena para lograr una factibilidad económica razonable.

Un estudio realizado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) concluyó que actualmente el consumo actual promedio de las viviendas es de $192[\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{año}]$, el objetivo es poder llegar a $88[\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{año}]$ alcanzando un ahorro potencial de 54% llegando hasta un 70% en el escenario de un alto costo de la energía, este consumo promedio actual se basa en que las viviendas cumplen con la exigencias mínimas de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C) respecto de la reglamentación térmica actual (art.4.1.10), en el caso de aplicar el sistema de calificación de viviendas energéticas podemos reflejar ahorros importantes, llegando hasta un 80% en el caso de obtener letra “A” cómo es posible ver en la figura 8.



Figura 8. Ahorros potenciales con vivienda energética: Fuente MINVU.

Estos valores se basan en un estudio de una vivienda de 100m² con un consumo promedio anual de 19.200[kWh/año] que utiliza gas licuado como fuente energética para calefacción y agua caliente sanitaria (\$73/kWh) y electricidad para la iluminación (\$139/kWh), donde corresponde un 80% para calefacción, 19% para ACS y un 1% para iluminación.

1.2 Política energética de Chile

Actualmente en Chile nos encontramos con una matriz energética reducida donde los recursos energéticos utilizados en su mayoría son los convencionales por lo que se hace necesario ampliar nuestra matriz donde las ERNC juegan un papel importante. Chile al utilizar en su mayoría energía convencional nos hace dependientes energéticamente de otras naciones, sumándose a esto sabemos que las fuentes convencionales de energía no son renovables que conlleva a un aumento del valor del combustible, por lo que nos afecta directamente encareciendo el valor de la energía. Dentro de los objetivos del país se encuentran generar menor impacto ambiental, reducir la huella de carbono, además de contar con una fuente de energía de suministro y una sustentabilidad ambiental, características que poseen las ERNC.

La factibilidad de implantación de las ERNC depende de las características de cada país, como el potencial de explotación de los recursos renovables, ubicación geográfica y características del mercado en cual van a participar. Dentro de la matriz energética históricamente existe una energía renovable que siempre ha realizado un aporte importante a la matriz, esta es la energía hidráulica aun así este aporte ha ido disminuyendo debido a dos factores que son las sequías que han afectado fuertemente a nuestro país y el aporte cada vez mayor de los derivados del petróleo, además del aumento de la generación eléctrica térmica mediante gas natural, dicho esto no deja de ser significativa la capacidad instalada de energía hidráulica proveniente de embalses al SIC que es alrededor de un 27,1% en comparación al 43% que aportan los combustibles convencionales(carbón, petróleo y gas natural).

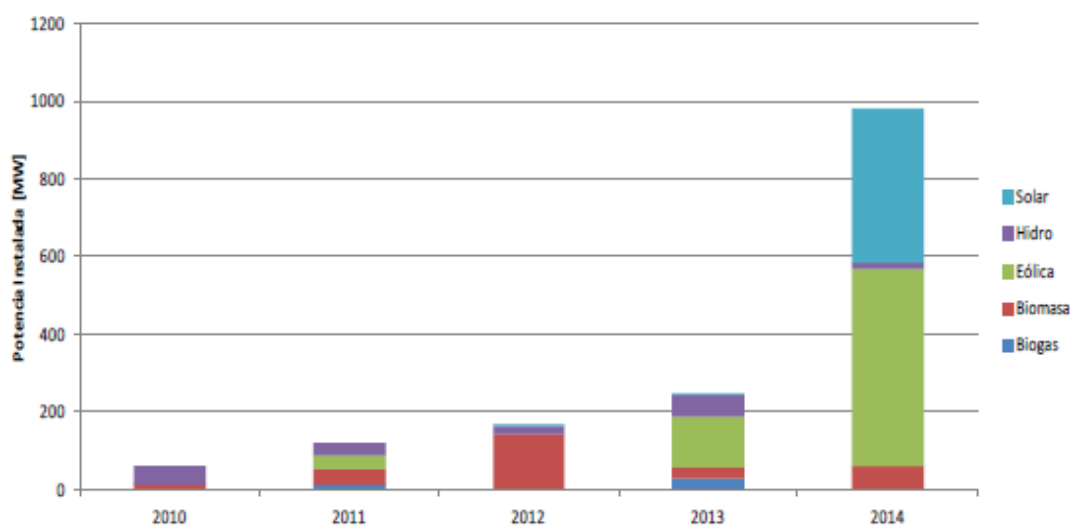


Figura 9.Crecimiento de ERNC en generación de energía: Fuente CIFES.

Por su parte las ERNC no contribuyen más allá de un 10% a la capacidad instalada donde en su mayoría proviene de la energía eólica (5%), luego viene la energía solar que corresponde a un 1,2% luego las otras fuentes de energía (**ver figura 9**). Las ERNC han generado un aporte bastante marginal en el consumo bruto de energía en nuestro país, es así como han tenido sólo un desarrollo en el abastecimiento energético de zonas rurales. Desde de la promulgación de la Ley 20/25 en el año

2013 se ha producido un aumento significativo pasando desde 233 [MW] en el año 2013 a 944 [MW] el año 2014, donde se pasó básicamente de proyectos de generación en base a biomasa e hidroeléctricas, a un gran número de iniciativas solares y eólicas, las cuales contaron con 396[MW] y 505[MW] nuevos respectivamente. Como se puede ver en la figura 10, en el año 2014 Chile asciende a 2.097[MW] de capacidad instalada en ERNC, donde 836[MW] corresponden a eólica, luego viene la biomasa con 466[MW]. Llama la atención que en tercer lugar la energía solar fotovoltaica tuvo un incremento de 10.050% pasando de 4[MW] en el año 2013 a 402[MW] instalados en el año 2014, para terminar se encuentran las centrales hidroeléctricas de pasada y el biogás con 355[MW] y 42[MW] respectivamente. Sumado a esto, el balance del servicio de estudios ambientales (SEA) informa que se encuentran aprobados para su construcción 14.725[MW] y 6.849[MW] en evaluación. Al realizar un desglose de estos proyectos se puede ver que se mantiene la tendencia de las tecnologías donde representan en un 90% las iniciativas solares y eólicas, llama la atención la introducción de la energía geotérmica con 120[MW].

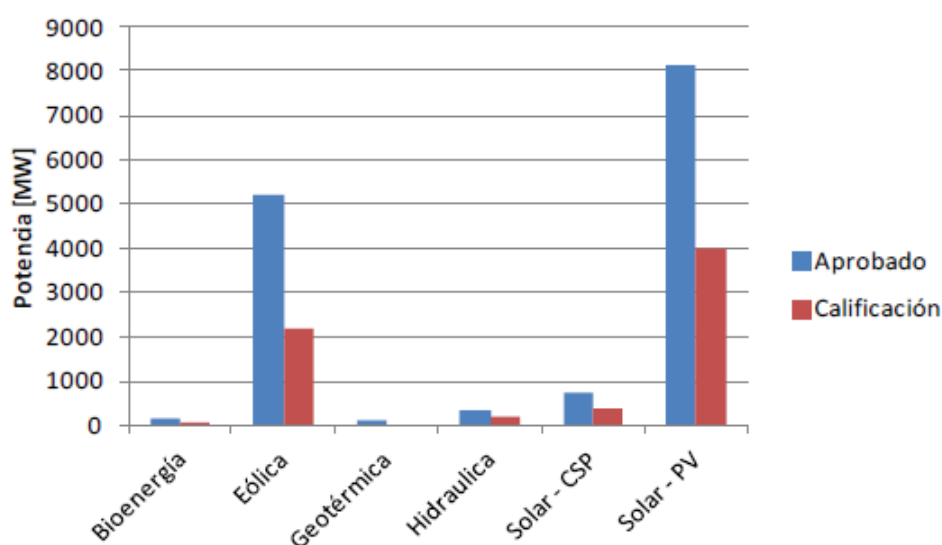


Figura 10. ERNC aprobadas para construcción y evaluación. Fuente SEIA.

El pilar de la política energética de Chile es el crecer con eficiencia energética para lo cual se plantea el objetivo de crecer reduciendo en un **12%** la demanda energética proyectada para el 2020 para lo cual se plantean las siguientes estrategias en el sector residencial, comercial y espacios públicos.

- Plan de acción de EE 2012-2020.
- Sello de eficiencia energética en viviendas nuevas.
- Estándares mínimos y etiquetados de productos.
- Iluminación residencial eficiente y alumbrado público.
- Comité interministerial de eficiencia energética.

El plan de acción EE 2012-2020 es aplicado en diversos sectores tales como industrial, minero, transporte, edificación, artefactos, leña y un sector transversal. Históricamente en Chile existe una estrecha relación entre el PIB y el consumo energético del país, distinto es el caso de los países desarrollados donde estas dos curvas tienden a alejarse con el tiempo, debido a las políticas de eficiencia se mejoran ámbitos como el residencial, transporte e industrial.

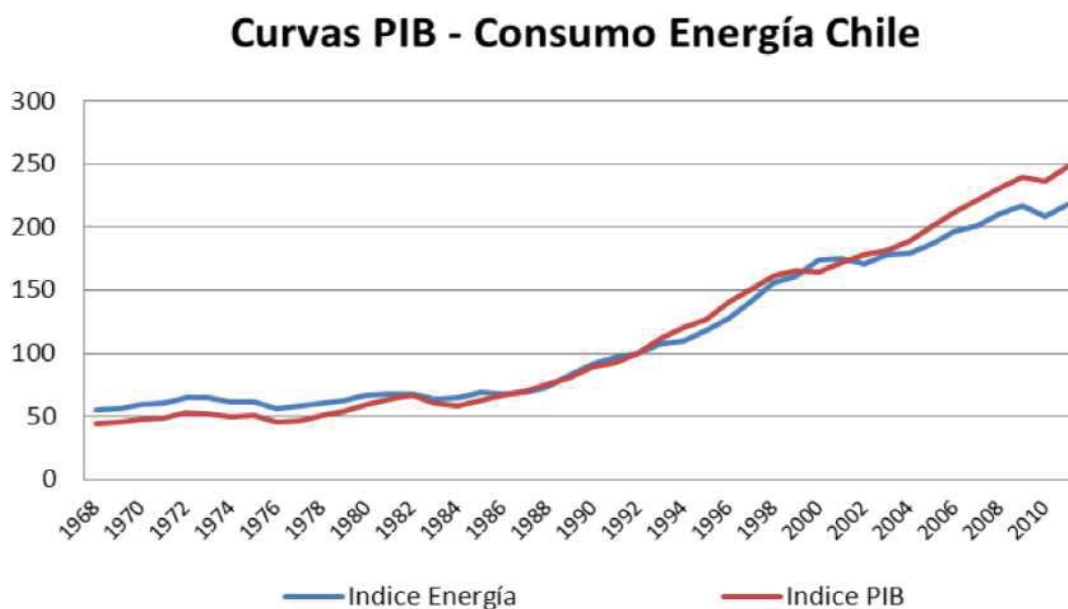


Figura 11. PIB y consumo energético de Chile. Fuente Ministerio Energía.

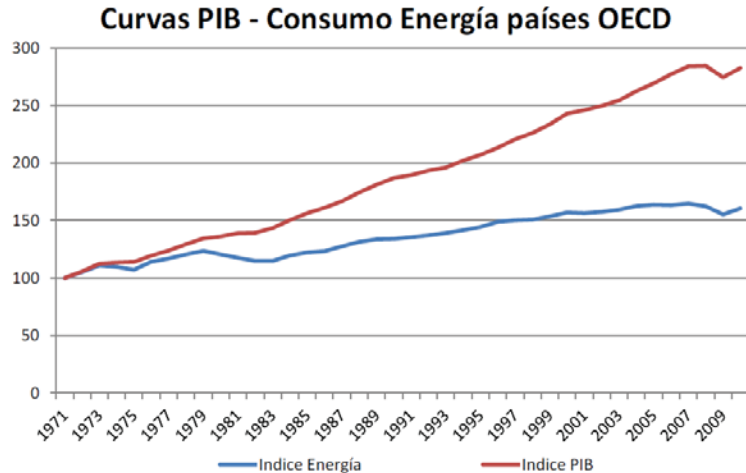


Figura 12. PIB y consumo energético de países de la OCDE. Fuente MINVU

Las políticas energéticas en Chile aplicadas en el sector de **vivienda** vienen dadas por estudios estadísticos (encuestas) realizados por la Cámara de desarrollo tecnológico (CDT) donde se extraen datos como tipos de viviendas, materialidad de la vivienda y año de construcción, con lo que se pueden estimar demandas energéticas y con ello realizar programas de reacondicionamiento térmico en un futuro próximo.

Para el sector edificación o vivienda existen una serie de medidas que pretenden mejorar la eficiencia energética a nivel país tales como:

- Mejoramiento de la eficiencia energética del alumbrado público.
- Subsidios para reacondicionamiento térmico de viviendas existentes.
- Sistema nacional de calificación energética para viviendas nuevas (Figura 13).
- Implementación de medidas de EE en edificación pública.
- Modificación y actualización de ordenanza general de urbanismo y construcción (OGUC).

Además de estas medidas actualmente existen medidas para poder etiquetar los artefactos utilizados comúnmente en las viviendas como lo son las ampolletas, lámparas, refrigeradores, congeladores, televisores y aire acondicionado.

Dentro de las exigencias sobre la reglamentación térmica según la Ordenanza general de urbanismo y construcción (O.G.U.C) en el artículo 4.1.10 para todas las viviendas entró en vigencia el año 2007, hoy en día el MINVU y el Ministerio de Energía exigirán a corto plazo un etiquetado obligatorio de las viviendas nuevas, donde se clasificará según letra para la eficiencia energética de la vivienda respecto a una vivienda de referencia, esta vivienda de referencia corresponde a una letra “E”, la cual tiene las exigencias mínimas de la reglamentación térmica del artículo 4.1.10 además de calificar la vivienda en términos de diseño como tal (arquitectura), también se etiquetará los equipos de calefacción, iluminación y ACS, además la fuente de energía de estos equipos referidos todos a la calefacción y ACS.

Si bien hoy en día el sistema de calificación energética posee carácter de voluntario lo será obligatorio para el año 2018, hoy en día el MINVU estudia la posibilidad de evaluar energéticamente las viviendas existentes, en el universo de viviendas existentes hoy en día se entregan subsidios de acondicionamiento térmico, de obras a la innovación de eficiencia energética y sistemas solares térmicos.

La calificación energética de viviendas cuenta con dos etapas una correspondiente a una pre-calificación y posteriormente a una calificación de la vivienda, en la pre-calificación la vivienda se puede encontrar sólo en la etapa de proyecto o construcción, con lo cual basta sólo el permiso de edificación, esta pre-calificación solo es de carácter **transitorio** y para fines promocionales, la que es válida hasta la recepción municipal definitiva emitida por la dirección de obras municipales (DOM).

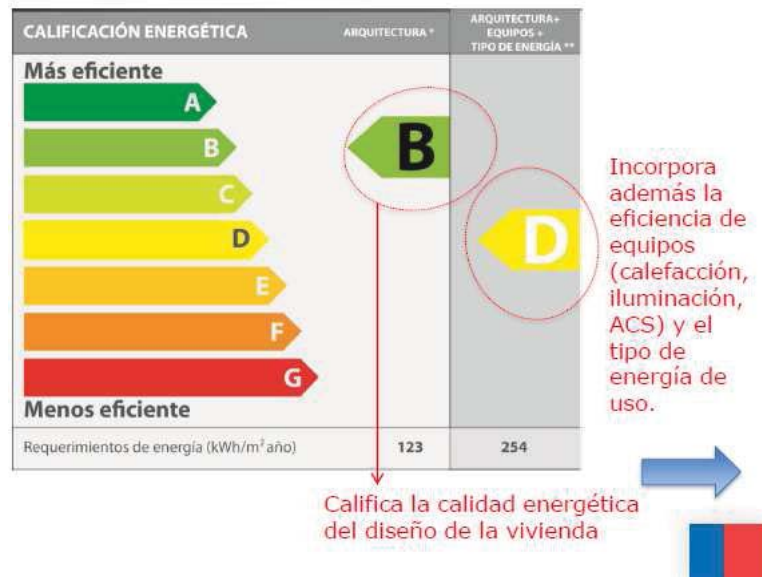


Figura 13. Sello de calificación energética. Fuente MINVU

Luego cuando se otorga la recepción municipal definitiva de la vivienda emitida por la dirección de obras municipales, esta vivienda podrá recibir su calificación energética definitiva con una validez por diez años, posterior a una visita en terreno realizada por el calificador energético para corroborar la información y características técnicas proveídas desde el mandante asegurándose que se encuentran acorde a lo especificado.

La letra otorgada a cada vivienda depende del porcentaje de ahorro respecto a la vivienda de referencia como muestra la tabla 1 y 2, además el mandante puede promover el edificio completo o el condominio, el cual viene dado por el porcentaje de ahorro, prorrateado por la siguiente ecuación.

$$PPC = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

Dónde: PPC: Promedio ponderado

C: Porcentaje demanda o consumo respecto a la vivienda de referencia

A: superficie de la vivienda

	PPC Zona 1 y 2	PPC Zona 3, 4 y 5	PPC Zona 6 y 7
A	0 - 30.00	0 - 40.00	0 - 55.00
B	30.01 a 40.00	40.01 a 50.00	55.01 a 65.00
C	40.01 a 55.00	50.01 a 65.00	65.01 a 85.00
D	55.01 a 75.00	65.01 a 85.00	85.01 a 95.00
E	75.01 a 110.00	85.01 a 110.00	95.01 a 110.00
F	110.01 a 135.00	110.01 a 135.00	110.01 a 135.00
G	135.01 o mayor	135.01 o mayor	135.01 o mayor

Tabla 1. Calificación arquitectura (demanda de energía en calefacción). Fuente: Manual CEV 2.0

	Todas las zonas
A	0 - 30.00
B	30.01 a 45.00
C	45.01 a 60.00
D	60.01 a 80.00
E	80.01 a 110.00
F	110.01 a 135.00

Tabla 2. Calificación arquitectura + equipos + tipo de energía. Fuente: Manual CEV 2.0

Capítulo 2

Antecedentes generales

Es necesario conocer en Chile el consumo energético promedio de las viviendas, también saber en qué se utiliza esta energía sea cual sea, además como información general conocer los mecanismos de transferencia de calor que ocurren en viviendas o edificaciones, en el caso de la vivienda bioclimática se definirán algunos conceptos o características que darán forma al diseño, las que contemplan algunas exigencias de las normas chilenas e internacionales se utilizarán una serie de certificaciones como Passivehaus, Leed, CES.

Uno de los principales factores influyentes en el diseño de las viviendas bioclimáticas son las **condiciones climáticas** (sol, agua, viento) del lugar donde se emplazará la vivienda ya que esto da una idea de la energía disponible, otro factor importante relacionado con lo anterior es la **orientación** de la vivienda ya que de nada sirve tener condiciones climáticas óptimas si no se tiene una orientación adecuada para aprovechar esta energía.

Fenómenos de transferencia de calor en viviendas y edificaciones

Convección natural: Puede observarse en la **figura 14** que si el aire está más caliente que el muro, fluye calor del primero al segundo, por lo que el aire próximo al muro se enfriará aumentando su densidad, por ende su peso descendiendo eventualmente, esto corresponde al muro de la derecha de la figura 14.

En el lado izquierdo se presenta el caso contrario, es decir que la pared se encuentra más caliente que el aire, por lo que el aire se calentará disminuyendo su densidad y peso por lo que tenderá a subir de manera natural. Este fenómeno de convección natural estará siempre presente en las viviendas y edificaciones por lo que este fenómeno puede ser utilizado en beneficio de los ocupantes, cabe destacar que

existen medios mecánicos que ayudan a mejorar los coeficientes de convección como ventiladores, enfriadores de aire y otros.

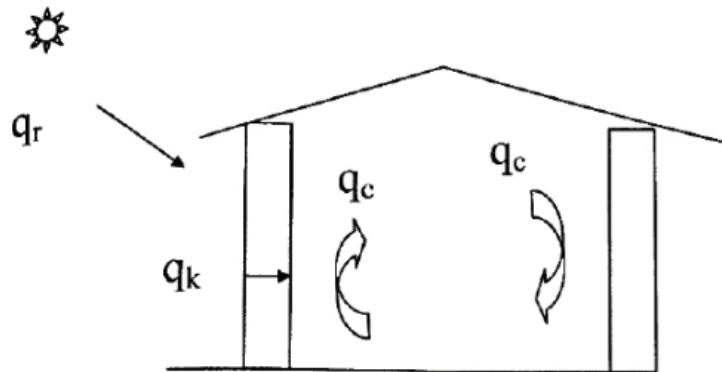


Figura 14. Fenómeno de convección natural. Fuente: “Energía solar en arquitectura y construcción”.

Radiación: La **figura 15** en la parte superior representa el intercambio de calor por radiación entre una persona (36°C) y una pared (20°C), según los principios de radiación estos dos cuerpos, la persona y la pared emiten radiación pero la persona emite radiación ligeramente mayor a la pared que de manera inversa, este aspecto tiene una influencia en la sensación de agrado o desagrado en la persona, llamado bienestar térmico.

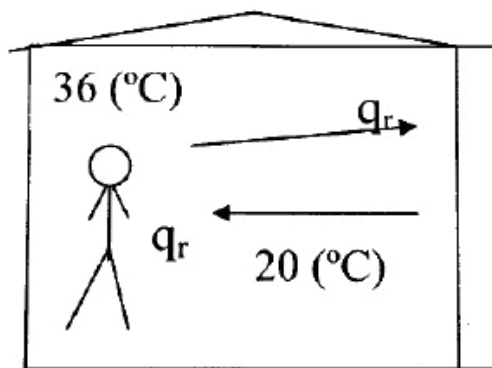


Figura 15. Radiación entre una persona y una pared. Fuente: “Energía solar en arquitectura y construcción”

Transferencia de calor combinado: Ningún fenómeno de transferencia de calor ocurre de forma separada, es decir siempre estamos en presencia de a lo menos de dos mecanismos de transferencia de calor.

En la figura 16 se exponen casos donde se encuentran estos fenómenos combinados ya sea por conducción (q_k), convección (q_c) y/o radiación (q_r). En la parte superior de la figura 16 se presenta el caso de radiación solar que atraviesa la ventana para ser absorbida por el piso, el piso que absorbe el calor a su vez se lo traspasa al aire mediante convección. A su vez el piso también puede reflejar la radiación recibida hacia su entorno, en la misma figura se puede observar el aire ascendente por convección y como este aire le entregará calor a la pared.

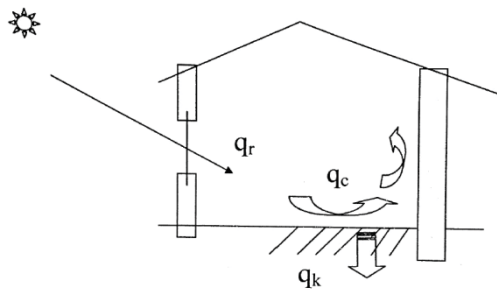


Figura 16. Fenómenos combinados de transferencia de calor. Fuente: “Energía solar en arquitectura y construcción”.

2.1 Condiciones climáticas de Santiago

Una variable importante a considerar para el diseño de la vivienda son las condiciones climáticas donde se emplazará la vivienda, en este caso como se encuentra definida la ubicación de la vivienda se proporcionarán datos de la ciudad de Santiago. El clima de Santiago es templado-cálido, denominado también como mediterráneo continental, es común ver oscilación diaria de temperaturas en verano donde pueden ser mayores a 17°C y en invierno a 11°C, también existe una gran variación de la radiación solar presente en verano respecto del invierno.

Coordenadas geográficas: 33°27'S; 70°42'W

Solsticio de Invierno (21 de Junio, 12:00 hrs): 33,2°

Solsticio de Verano (21 de Diciembre, 12:00 hrs): 80°.

Humedad relativa: 50% promedio en verano y 87% promedio en invierno

Precipitaciones: En promedio se encuentra en el orden de 260 [mm] donde el 80% de las precipitaciones se encuentran entre Mayo y Agosto

Vientos: Se encuentran vientos predominantes en dirección Suroeste con una intensidad media de 6 [km/hr].

Vientos		
Mes	Dirección	Intensidad [km/hr]
Enero	SO	8,6
Febrero	S	8,3
Marzo	S	6,8
Abril	S	6,5
Mayo	S	5,4
Junio	S	9,4
Julio	S	7,2
Agosto	S	5,4
Septiembre	S	5,4
Octubre	S	7,2
Noviembre	S	8,6
Diciembre	S	9,0

Tabla 3. Dirección e intensidades de los vientos promedios en Santiago, Peñalolen. Fuente. Facultad de Ciencias Universidad de Chile.

2.2 Zonificación térmica

Una vez definido el lugar donde se emplazará la vivienda se debe tomar en cuenta la zonificación térmica según la O.G.U.C. Existen actualmente siete zonas térmicas en el país las cuales están clasificadas según sus grados – día (GD).

En calefacción (invierno) si la temperatura ambiente durante algún período del día es inferior a 18,3[°C] se hace necesario calefaccionar el ambiente, esta temperatura de

18,3[°C] es usada como temperatura de referencia. Cada grado promedio diario bajo 18,3°C es designado como **grados-día (GD)** esta unidad es la más difundida en calefacción, en algunos casos la temperatura base puede ser otra. Los **grados-día** no se pueden calcular restándolo de la temperatura media diaria, salvo en los casos que la temperatura del lugar no alcance la temperatura de referencia, esta medida es usada extensivamente para cálculos de calefacción como se encuentra expresada en la ecuación 6.

Ciudad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Arica	0	0	0	0	25	59	87	84	62	36	0	0	354
Iquique	0	0	0	17	47	78	97	97	75	50	22	0	482
Antofagasta	0	0	0	49	92	130	142	137	111	87	46	0	793
El Tatio	444	387	481	561	682	699	685	682	573	583	480	440	6696

Tabla 4. Ejemplo de grados día mensuales y anuales para la I y II región. Fuente: Arquitectura solar.

Zona	Grado día
Zona 1	≤ 500
Zona 2	>500 - ≤750
Zona 3	>750 - ≤1000
Zona 4	>1000 - ≤1250
Zona 5	>1250 - ≤1500
Zona 6	>1500 - ≤2000
Zona 7	>2000

Tabla 5. Zonificación térmica. Fuente: Reglamentación térmica.

Si bien los grados-día no representan una unidad del SI, ya que lo correcto es expresarlo en [K°*s] hay una correlación mediante un factor de conversión mediante las ecuaciones expresadas a continuación.

q_r : Calor requerido para la calefacción [W/°C]

q_p : Pérdidas de calor al exterior [W/°C]

q_a : Calor entregado al aire introducido por ventilación o infiltración [W/°C]

V : Aire introducido por ventilación o infiltración [m^3/s]

C_p : Calor específico del aire, 1,003 [$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$]

ρ : Densidad del aire 1,23 [kg/m^3]

Q : Demanda de calefacción [kJ/GD]

U : Coeficiente global de transferencia de calor [$\text{W/m}^2\ ^\circ\text{C}$]

Q_m : Demanda de energía mensual requerida para calefacción

GDM: grados-día del mes.

$$q_r = q_a + q_p \text{ [W/}^\circ\text{C]} \quad (2)$$

$$q_a = V * C * \rho \text{ [W/}^\circ\text{C]} \quad (3)$$

$$q_p = \sum U * A \text{ [W/}^\circ\text{C]} \quad (4)$$

$$Q = 24 * q_r * 3600 = 86,4 * q_r \text{ [kJ/GD]} \quad (5)$$

$$Q_m = Q * GDM \text{ [kJ/GD]} \quad (6)$$

El valor del aire introducido por ventilación o infiltraciones (V) de la vivienda viene dado por la figura 17, aunque este valor puede variar según el estándar, por ejemplo el estándar Passivhaus acepta un máximo de 0,6 renovaciones por hora, el cual se mide mediante un ensayo de blower door. Este ensayo consiste en inyectar o sacar el aire hasta alcanzar un diferencial de presión de 50 [Pa] para luego medir el volumen de aire contenido y posibles infiltraciones en la vivienda. Con las calidades de las viviendas hoy en día, mejores terminaciones y sellos los volúmenes considerados son los valores de la figura 17.

V para verano [m ³ /h]	1 a 1,5 Volumen de referencia [m ³]
V para invierno [m ³ /h]	1 a 2 Volumen de referencia [m ³]

Figura 17. Valores de aire introducido o infiltraciones. Fuente “Arquitectura Solar”

2.3 Exigencias de acondicionamiento térmico

Según el decreto N°192 que entró en vigencia el 4 de Enero de 2007 las viviendas nuevas deben cumplir con las exigencias descritas según el artículo 4.1.10 de la O.G.U.C descritos en la **figura 18** para muros, techumbre y pisos ventilados.

A modo de ejemplo si alguien construye una vivienda nueva en Santiago, se encuentra en la “**zona 3-A**” de la reglamentación térmica, la solución constructiva en este caso debe cumplir con una transmitancia térmica mínima de 1,9[W/m²*K] para muros de la envolvente, 0,47[W/m²*K] para techumbre y 0,70[W/m²*K] para piso ventilado en el caso que el piso no se encuentre en contacto con el terreno. Distinto sería el caso de encontrarnos en el Sur como Temuco donde las exigencias son mayores debido a que las condiciones climáticas son más rigurosas que en la Región Metropolitana. Actualmente para poder cumplir con estas exigencias térmicas especificadas en la figura 18 existen varias alternativas.

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U W/m ² K	Rt m ² K/W	U W/m ² K	Rt m ² K/W	U W/m ² K	Rt m ² K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

Figura 18. Exigencias térmicas según decreto N°192. Fuente: Reglamentación térmica artículo 4.1.10

2.3.1 Mediante la incorporación de un aislante etiquetado con el R100 correspondiente a la figura 19. Este aislante se debe encontrar certificado por la IDIEM donde según la zona corresponde un valor de R100, este valor se debe dividir por 100 y obtendremos el valor de la resistencia térmica del aislante, a modo de ejemplo para la zona 3 en techumbre existe una exigencia de 188/100 lo que corresponde a una resistencia térmica de $1,88[m^2 \cdot K/W]$ del aislante sea cual sea.

ZONA	TECHUMBRE R100(*)	MUROS R100(*)	PISOS VENTILADOS R100(*)
1	94	23	23
2	141	23	98
3	188	40	126
4	235	46	150
5	282	50	183
6	329	78	239
7	376	154	295

Figura 19. R100 según la norma NCh 2251 $R100 = R_t \cdot 100$. Fuente: O.G.U.C artículo 4.1.10

2.3.2 Mediante un certificado de un ensayo otorgado por un laboratorio de control técnico de calidad de la construcción demostrando el cumplimiento de la transmitancia o resistencia térmica total de la solución del complejo de techumbre, muro y piso ventilado, esto corresponde a ensayo de laboratorio certificado en Chile como por ejemplo el “**DICTUC**” el cual debe entregar un certificado por la solución constructiva completa con el valor de la transmitancia térmica, acreditando el valor “U” correspondiente.

2.3.3 Mediante cálculos de acuerdo a la norma NCh 853 demostrando el cumplimiento de la transmitancia o resistencia térmica del complejo de techumbre, muro y piso ventilado. En este caso se deben realizar los cálculos correspondientes por personal competente, según la norma NCh 853 donde depende si el elemento es homogéneo (7) o heterogéneo (8).

$$R_t = \frac{1}{U} = R_{si} + \frac{e}{\lambda} + R_{se} \quad (7)$$

$$R_t = \frac{1}{U} = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se} \quad (8)$$

Dónde:

e = espesor del material expresado en [m]

λ = conductividad térmica del material expresado en [W/m*K°]

R_{se} = Resistencia térmica de superficie al exterior expresado en [m²*K°/W]

R_{si} = Resistencia térmica de superficie al interior expresado en [m²*K°/W]

2.3.4 Especificar una solución constructiva para el complejo de techumbre, muro y piso ventilado que se encuentre dentro del “**listado oficial de soluciones constructivas**” propuesto por el Ministerio de vivienda y urbanismo. Existe además un apartado donde hay exigencias de transmitancia térmica para las ventanas especificadas en la figura 20 que no se entrará en mayor detalles, por el momento y se especificarán más adelante en el apartado de diseño de la vivienda.

VENTANAS				
ZONA		% Máximo de Superficie Vidriada Respecto a Paramentos Verticales de la Envolvente		
		Vidrio Monolítico (b)	DVH	
			Doble Vidriado Hermético (c)	
			$3.6 \text{ W/m}^2\text{K} \geq U > 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (a)	$U \leq 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
1		50%	60%	80%
2		40%	60%	80%
3		25%	60%	80%
4		21%	60%	75%
5		18%	51%	70%
6		14%	37%	55%
7		12%	28%	37%

Figura 20. Exigencias térmicas para ventanas. Fuente O.G.U.C artículo 4.1.10

2.4 Ubicación específica de la vivienda.

La ubicación donde se emplazará la vivienda será en la RM (Región Metropolitana) , específicamente en la comunidad ecológica ubicada en la comuna de **Peñalolén**, la cual posee una normativa urbanística específica que se encuentra en el Plan Regulador vigente, esta normativa urbanística menciona algunas características que son de nuestro interés que mencionaremos a continuación:

Alcantarillado: La comunidad ecológica actualmente no se encuentra conectada al sistema de aguas servidas y tampoco posee una planta de tratamiento privada, por lo que se debe disponer de fosas sépticas, asegurándose que cumpla con el decreto N°236 del SESMA.

Agua potable: Actualmente no existe un sistema de agua potable, los terrenos cuentan con derechos de agua, estos se reparten proporcionalmente a la superficie del terreno que uno posee, eso sí al momento de comprar o vender un terreno se debe vender o comprar una superficie mínima de terreno 800 m² para asegurar una presión adecuada del agua, ya que si se cuenta con muchas subdivisiones podemos estar en presencia de una presión baja sobre el caudal.

Electricidad: Se debe solicitar el empalme eléctrico a la empresa Chilectra que es la empresa con la que se cuenta con un convenio, la empresa se compromete a colocar postes de madera para el cableado interior de la Comunidad, sin embargo el particular debe realizar todo el cableado desde el poste hasta el medidor de la vivienda.



Figura 21. Foto satelital del terreno. Fuente: Google Maps.

Actualmente en el terreno donde se emplaza la vivienda se encuentra a 800 m.s.n.m, donde específicamente el clima es un templado-cálido, en el lado Sur de donde se emplazará la vivienda existen especies nativas típicas de la zona y en el lado poniente nos encontramos con una arboleda de la especie eucaliptus lo que genera un porcentaje de sombra importante para el Verano, la vivienda se encuentra en un terreno de 5000[m²] y esta subdivido en 5 terrenos de 1000[m²] cada uno, esto quiere decir que los derechos de agua se reparten por igual en este caso recibiendo la misma cantidad de agua cada una de las viviendas, en un comienzo este terreno fue adquirido mediante derechos sobre el mismo y luego de un par de años pudo ser subdivido legalmente obteniendo al fin su rol municipal.

Capítulo 3

Análisis de la situación Actual

Actualmente en Chile la construcción se encuentra en un crecimiento ralentizado debido a la recesión mundial impactando principalmente al sector minero en Chile, a pesar de esto el sector construcción se proyecta con un crecimiento leve de alrededor de 1% para el año 2017, debido a la entrada en vigencia del año 2017 de la reforma tributaria se realizará el cobro total del IVA, se espera que las viviendas aumenten su valor alrededor de un 6%.

3.1 Mercado inmobiliario Actual en Chile.

A mediados del año 2015 la CChC (Cámara Chilena de la construcción), anunció un aumento de un 25,8% en la venta de departamentos y un leve incremento de 0,8% en la venta de casas comparado con el semestre anterior, aun así la venta de viviendas con un concepto de eficiencia energética es prácticamente cero.

Este “boom” de ventas en el sector inmobiliario es debido a la reforma tributaria que entrará en vigencia el año 2018 donde lo que se pretende es que el propietario pague alrededor de un 19% correspondiente al IVA con el objeto que el Estado pueda recaudar mayor cantidad de fondos para las distintas reformas que se están llevando a cabo.

3.2 Materialidad de las viviendas

Dentro de un estudio realizado por la Corporación de desarrollo tecnológico(CDT) llamado “ **Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial**” en el año 2010 los materiales de construcción de las viviendas en Chile en su mayoría son de ladrillos (albañilería), luego viene la madera y hormigón, como muestra la **figura 22**, este punto se hace imprescindible para más adelante ya que definirá el material de la vivienda bioclimática dependiendo

de una serie de factores como su resistencia térmica, puentes térmicos, sustentabilidad de los materiales, rapidez de construcción y limpieza.

En las últimas décadas las viviendas se hacen cada vez más esbeltas, delgadas y con grandes superficies de ventana, resultando en consecuencia, muy mal aisladas térmica y acústicamente, donde solo se presta atención al aspecto estructural y estético, teniendo grandes fallas en aspectos como el confort higrotérmico (humedad), durabilidad, acondicionamiento acústico, ahorro energético y seguridad contra incendios, sus principales causas son:

- **Aspectos económicos:** La presión de las empresas constructoras por hacer más [m²] por menos dinero hace que el proyectista y el constructor sacrifiquen aspectos que no están muy a la vista.
- **Efecto de invernadero:** El vidrio presenta de manera marcada un fuerte efecto invernadero, donde estas superficies se convierten prácticamente en colectores solares haciendo que en verano las viviendas sean sumamente calurosas y frías en invierno.
- **Techos sin aislación suficiente:** El techo es una superficie expuesta al sol en verano y al frío en invierno, haciendo que la vivienda se convierta prácticamente inhabitable a menos que este defecto se supla con energía de calefacción o refrigeración según sea el caso.
- **Puentes térmicos:** Ciertos materiales como es el caso del metal, son altamente conductores de calor, estos materiales son eficaces disipadores de calor en invierno y captadores en verano, este fenómeno se mencionará con mayor detalle en el capítulo 4 de diseño de la vivienda.
- **Muros y elementos perimetrales delgados:** La prefabricación de las viviendas tiende cada día a hacer elementos más livianos y delgados, convirtiendo los muros y otros elementos perimetrales en láminas de mínimo espesor incapaces de proporcionar una aislación compatible con el clima de la región donde se encuentra emplazada.

Materialidad de Viviendas

(en base a unidades)

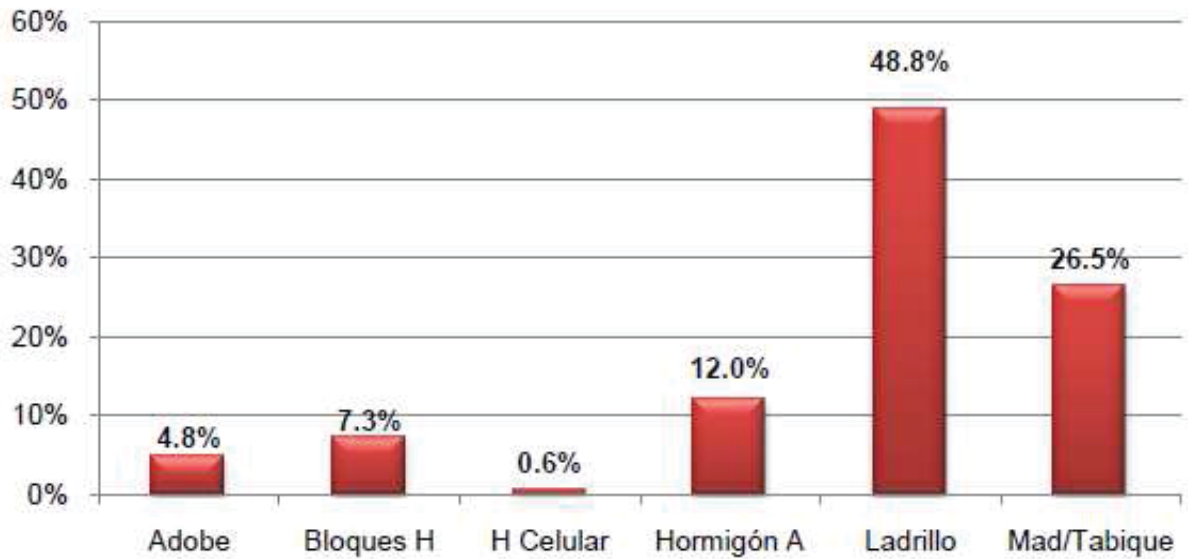


Figura 22. Materialidad de las viviendas en Chile. Fuente: CDT uso residencial

A pesar que el ladrillo es el material más usado en las viviendas y hormigón en el caso de los edificios, no significa que proporcionan una buena aislación a la vivienda ya sea en la envolvente, muros y techos.

La resistencia térmica de la envolvente debe ser mayor si el clima es más riguroso según lo visto en las figuras **18 y 19** de acuerdo al decreto N° 192 y NCh 2251, ya que de acuerdo a la reglamentación mientras más al Sur nos encontremos, es necesario mayor aislación de la envolvente.

Material	R [$\text{m}^2\text{K/W}$]	Observación
Aire quieto en espacio de 2 a 10 [cm]	0,140	Calor asciende en forma vertical
	0,211	Calor desciende en sentido vertical
	0,140	Calor fluye en sentido horizontal
Aire quieto ambiente	0,105	Valor dado por 1 cm de longitud
Aire a 24[km/hr]	0,029	
Aire a 12[km/hr]	0,044	
Madera	0,070	
Acero	0,0002	
Ladrillo	0,014	
Concreto	0,014	
Placa asbesto-cemento	0,04	
Yeso-cartón	0,038	
Fibra de vidrio	0,281	
Poliuretano	0,243	
Poliestireno	0,243	
Corcho	0,260	
Vidrio Ventana	$U=6,4[\text{W/m}^2\text{°C}]$	
2 vidrios con aire entre ellos	$U = 3,1$	
2 vidrios baja ϵ	$U = 1,5$	No disponible en el mercado nacional
2 vidrios baja ϵ y gas	$U = 1,0$	

Tabla 6.Valores de resistencia térmica de distintos materiales. Fuente: NCh 853.

En la **tabla 6** aparecen una serie de valores de resistencia térmica de distintos materiales o soluciones, cabe mencionar en la tabla que el valor de resistencia térmica en el acero es prácticamente nulo, lo que para la envolvente no es factible instalar un solución de este tipo sin embargo en el mercado inmobiliario se utiliza de manera extensiva como Metalcom, el cual corresponde a perfiles de acero galvanizado utilizados como pies derechos, muros perimetrales y techumbres.

3.3 Consumo energético de viviendas promedio anual en Chile

Actualmente la vivienda chilena consume en promedio **10.232 [kWh/año]** este valor de consumo se encuentra influenciado principalmente por el consumo de leña en el Sur del país, sin este consumo el promedio a nivel nacional es de **4.470[kWh/año]** esto es debido a que el precio de la leña es sustancialmente menor que otros

combustibles disponibles esto se puede ver más claramente en la figura 23 que trata sobre la matriz energética residencial.

Debido al alto consumo de la leña para calefacción en el sur del país existe dentro de la política de eficiencia energética una serie de medidas para disminuir el consumo o reducir o reducir la contaminación como lo son el certificar artefactos de leña en seguridad, eficiencia energética y emisiones, además de un desarrollo del programa de secado de la leña para ciudades del sur del país, contando con un programa de etiquetado voluntario de la eficiencia energética de la leña, además de una mejora de la información para cuantificar de mejor manera el consumo.

Ahora si bien la leña representa el 46,6% del consumo de energía a nivel país como se puede observar en la **figura 23**, prácticamente en su totalidad es utilizada para calefacción para lograr un confort térmico de la vivienda, si eliminamos este ítem (leña) podemos ver claramente que el 60% (figura 24) de la energía utilizada a nivel residencial es para calefacción, cocción de alimentos y ACS (agua caliente sanitaria).

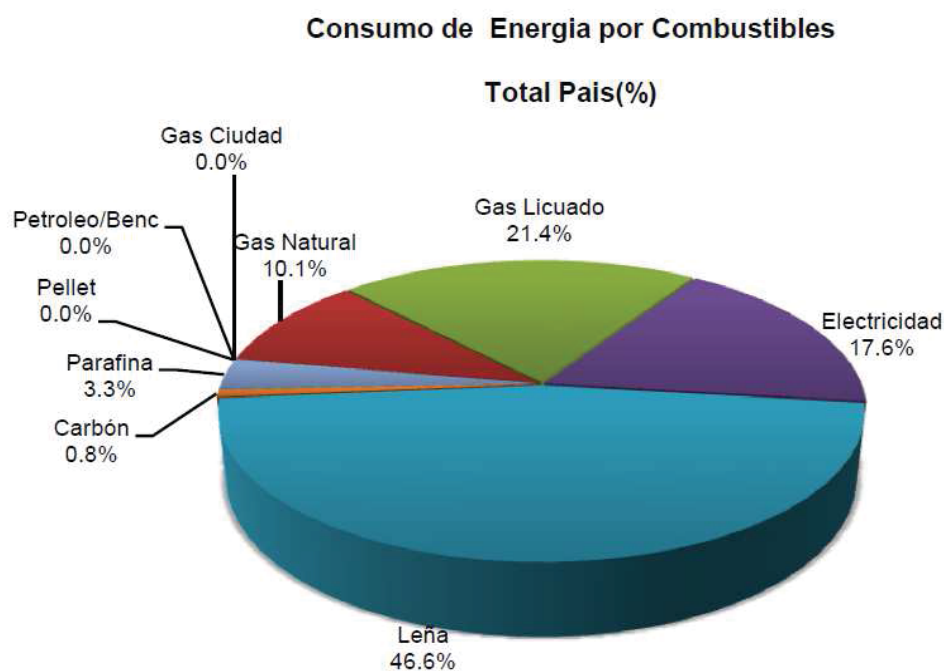


Figura 23. Matriz energética residencial en Chile. Fuente CDT uso residencial

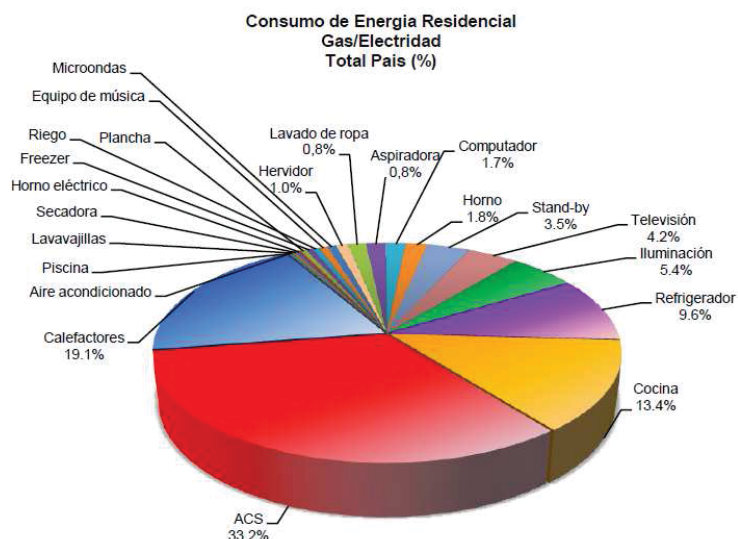


Figura 24. Consumo de energía en una residencia en Chile. Fuente: CDT uso residencial.

Proceso de calificación energética de viviendas

Aunque hoy en día el carácter de la calificación energética es por el momento voluntario, será obligatorio en el mediano plazo por lo que es necesario saber cuáles son sus características y requisitos para obtenerla. Según sea el caso en una vivienda puede tratarse de una pre-calificación, calificación o ambas con diferentes exigencias documentarias.

Pre-calificación:

- Permiso de edificación aprobado por la Dirección de Obras municipales de la comuna correspondiente.
- Calificación energética de carácter transitorio y referencial de la vivienda.
- Proyección de la eventual calificación energética.
- Es útil para la publicidad de la vivienda, informando el carácter transitorio que este posee.
- Válido hasta la recepción definitiva de la obra.
- No es requisito para la calificación energética.

Calificación energética:

- Posee la etiqueta definitiva y el informe de la evaluación.
- Permite comparar las viviendas calificadas en forma objetiva.
- Medición estándar de las características energéticas de las viviendas.
- Posee una duración de 10 años o hasta que se realice alguna modificación a la vivienda que afecte a alguno de los parámetros con los que fue evaluada la vivienda.

Tratándose de una pre-calificación o calificación esta siempre debe ser acreditada mediante un evaluador energético con las competencias necesarias, utilizando una herramienta disponible en el sitio web de la calificación energética.

Los requisitos para lograr ser un **evaluador** deben ser los siguientes:

- Poseer un título de Arquitecto o Ingeniero en sus distintas especialidades con una duración de 10 semestres, Ingeniero Constructor o Constructor Civil.
- Aprobar una evaluación de conocimientos mínimos.
- Participar de una jornada de capacitación realizada por el MINVU.
- Aprobar una jornada de evaluación.
- Acreditarse.
- Resolución que aprueba el llamado.

El evaluador para poder calificar una vivienda tiene que actuar según el manual CEV versión 2.0 aprobada mediante una resolución exenta n° 8016 y una herramienta de cálculo Excel ingresando los datos requeridos, donde algunos son obtenidos mediante cálculos, tablas y catálogos, etc.

Luego de evaluar la vivienda mediante la herramienta Excel se debe subir la información al sitio web “**www.calificacionenergetica.cl**”, donde la información debe ser revisada y una vez aprobada es posible descargar un informe completo con

todas las consideraciones de la evaluación y sus respectivas etiquetas el cual debe ser entregado al usuario final de la vivienda.

Capítulo 4

Diseño de la vivienda bioclimática

Una vivienda bioclimática es considerada como un sistema pasivo y es considerada de esta manera debido a que no recurren a un sistema externo para utilizar la energía solar, sin embargo hoy en día se considera como arquitectura bioclimática debido a que toma en cuenta el bienestar de las personas que habitan la vivienda y también el clima donde se construye la vivienda.

4.1 Lugar de emplazamiento de la vivienda

El lugar donde se emplazará la vivienda será en la comuna de Peñalolén, este terreno reúne las características de orientación ligera Noreste difiriendo en 11° con el Norte, el terreno cuenta con una superficie de 1213,72 [m²] pero con una vivienda construida como se aprecia en la **figura 25**, este terreno corresponde al lote 6 sobre un terreno de 1/2 [ha] en total. La comuna de Peñalolén se encuentra dentro de la **zona 3-A** de la zonificación térmica el cual posee un entre 750 y 100 grados día (GD), cabe mencionar que esta comuna sobre la cota 1000 m.s.n.m. corresponde a la zona 3-B de la zonificación térmica, con ello se sabe las condiciones mínimas para cumplir con la reglamentación térmica según la O.G.U.C art 4.1.10.



Figura 25. Topografía del lugar. Fuente: Topógrafo particular.

Las exigencias en la reglamentación térmica se concentran en tres componentes de la vivienda (techumbre, muros y piso ventilado) ya que son estos los que corresponden a la envolvente de la vivienda siendo los que están en contacto con el medio ambiente. Ahora si bien se sabe lo que se exige con la reglamentación térmica, se trata de una vivienda bioclimática por lo que se debe saber en detalle las condiciones climáticas del terreno, que se encuentran especificadas en el capítulo anterior.

4.2 Materialidad de la envolvente de la vivienda

Según el estudio mencionado anteriormente, hoy en día el material más usado en la construcción en Chile es el ladrillo, luego la madera y hormigón cada uno de estos materiales poseen ventajas y desventajas según esto se seleccionará el material a usar en la vivienda bioclimática, todo esto siempre referido a la envolvente ya que los cimientos cumplen otra función que es la de transmitir las cargas al suelo.

4.2.1 Ladrillo: El ladrillo es un componente cerámico artificial de construcción, compuesto en su mayoría de arcilla, aunque también poseen compuestos de caolín, silicatos de alúmina y otros minerales, este material se emplea para construcción en diversos elementos constructivos como muros y tabiques.

Las dimensiones del ladrillo se encuentran estandarizados para que el posterior sea al doble del anterior más 1 [cm] para el mortero de la unión. El ladrillo es obtenido a partir de moldeo, secado y cocción de una pasta arcillosa y generalmente tienen forma prismática. El ladrillo posee forma prismática rectangular y sus caras tienen distintos nombres según su dimensión las cuales de mayor a menor poseen los nombres de tabla, canto y testa. Dentro de los ladrillos existen varios tipos clasificados según su forma:

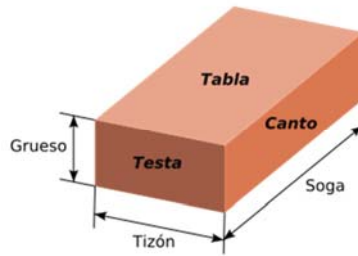


Figura 26. Ladrillo común. Fuente: www.princesa.cl

Ladrillo macizo: Es el que posee menos del 10% de perforaciones en su tabla algunos tipos de ladrillos macizos poseen rebajas en las tablas y testas para obtener muros sin llagas.

Ladrillo perforado: Estos ladrillos poseen más del 10% de perforaciones en la tabla, este tipo de ladrillo es muy utilizado en **fachadas**.

Ladrillo manual: Es una imitación de ladrillos artesanales, el cual tiene apariencia tosca y rugosa tienen propiedades básicamente ornamentales.

Ladrillo hueco: Es el que posee perforaciones en los cantos o testas, para reducir su volumen y hacerlos más livianos. Se emplean en tabiques y elementos constructivos que no están sometidos a esfuerzos. Pueden ser de distintas clases dependiendo del número de perforaciones.

Elaboración del ladrillo:

La materia prima principal del ladrillo es la arcilla, la cual posee una gran cantidad de agua esto hace que el ladrillo sea muy moldeable, al perder agua comienza a aumentar su dureza lo cual aumenta de manera considerable en el proceso de cocción, este proceso posee los siguientes procesos de elaboración:

Maduración: La arcilla debe ser sometida a ciertos tratamientos antes de emplearla en la fabricación de ladrillos, para obtener consistencia y uniformidad necesarias para la fabricación.

Depósito: En esta etapa la materia prima se deja en un depósito para que termine de homogenizarse.

Humidificación: Se hace necesario agregar agua para poder moldear y tomar consistencia de manera correcta para su manipulación.

Moldeado: Consiste en el proceso de extrusión de la arcilla la cual la boquilla de extrusión tiene forma de un prisma rectangular que luego se corta del largo necesario.

Secado: La masa recién moldeada debe secarse de manera correcta para que no sufra fisuras y quede listo para la cocción.

Cocción: Este proceso consiste en pasar por hornos en forma de túnel a temperaturas entre 900 y 1000 °C, el material se coloca en carros y el horno es alimentado de manera continua por uno de los extremos del túnel y sale por el lado opuesto cuando está cocido.

El ladrillo como material de construcción posee una serie de ventajas y desventajas que se mencionarán a continuación:

Es un aislante térmico de interiores, acumulan calor, poseen una alta resistencia al fuego, posee una baja dilatación térmica donde prácticamente no hay cambios de forma y volumen con las variaciones ambientales de temperatura.

Una de sus **desventajas** es que en una construcción requiere de más tiempo que otro tipo de construcción ya que la construcción se realiza de un ladrillo a la vez, con lo que requiere de mayor cantidad de horas – hombre y por ende un **mayor costo** que otro tipo de solución. Además de las desventajas mencionadas anteriormente cabe mencionar que las casas de ladrillo son **extremadamente sensibles a los cambios de las fundaciones** de la casa y puede ser un material malo de construcción para utilizar en áreas que no ofrecen una base sólida como una roca.

4.2.2 Hormigón: Es un producto resultante de la mezcla de un aglomerante, arena, grava o piedra machacada y agua.

Es un material de bajo precio respecto al acero de resistencia similar o mayor al ladrillo, donde su fluidez o consistencia dependerá de la cantidad de agua en la mezcla y su plasticidad dependerá del contenido de áridos finos inferior a 0,1 [mm], haciendo más fácil su colocación en obra.

El hormigón empleado en construcción es el hormigón armado que es el hormigón simple con acero de refuerzo ya que el hormigón proporciona resistencia a la compresión y el acero resistencia a la tracción.

El hormigón posee una serie de ventajas como también desventajas mencionadas a continuación.

Dentro de sus **ventajas** se encuentran:

- Posee buena adaptabilidad de conseguir diversas formas arquitectónicas
- Existe la posibilidad de conseguir ductilidad
- Alto grado de durabilidad
- Resistencia al fuego
- Es factible de lograr diafragmas de rigidez horizontal
- Capacidad resistente a los esfuerzos de compresión, flexión, corte y tracción
- Requiere de poca mantención.

Sus **desventajas** principales son:

- Mayor costo en construcción respecto a otras soluciones
- Elementos que no poseen estructura como tabiques pueden ser cargas gravitatorias ya que aumentarían la fuerza sísmica por su gran masa
- Su adaptabilidad logrando diversas formas en propósitos arquitectónicos, generan deficiente comportamiento sísmico.

- Las construcciones en hormigón generan un excesivo peso y volumen.
- Requiere de un encofrado lo que implica su habilitación, vaciado, espera hasta que el concreto alcance la resistencia requerida y desencofrado, con el tiempo que estas operaciones implican.

4.2.3 Madera: Hoy en día Chile cuenta con una producción de más de 10 millones de [m³] donde en gran parte es pino insigne, sin embargo el porcentaje de edificaciones en Chile de madera es bajo, en el sector de la construcción se utiliza de preferencia ladrillo y hormigón, sin embargo se utiliza madera reconstituida (OSB) para la fabricación de tabiquería con pies derechos de Metalcom.

Como todo material de construcción tiene ventajas y desventajas que son mencionadas a continuación.

Ventajas:

- Fácil de trabajar en comparación al ladrillo y hormigón
- Rapidez de construcción
- Bajo costo
- Adaptabilidad
- Buen aislante térmico, acústico y eléctrico

Desventajas:

- Necesita un constante mantenimiento si no se aplican barnices adecuados en exterior
- La madera en sí debe poseer un barniz o pintura resistente a los rayos UV
- Debe ser tratada con productos hidrófugos para repeler el agua y humedad
- Se dice que es un elemento no apropiado para construcciones de grandes alturas.
- Debe protegerse adecuadamente en contra de las termitas

En los países desarrollados como Finlandia, Nueva Zelanda, Suecia y Canadá entre un 80 y 95% de las viviendas son construidas en madera donde pueden alcanzar incluso una altura de hasta ocho pisos. Según el Instituto Nacional de Estadística en Chile de las 120.000 casas que se construyen en Chile solo un 12% posee estructura de madera lo que se contradice con el gran volumen de exportación.

Una vez mencionado los principales materiales utilizados en la construcción con las ventajas y desventajas que conllevan cada uno, se hace necesario seleccionar el material más adecuado para trabajar en la vivienda bioclimática por lo tanto se sentarán las bases de lo que se requiere en la vivienda bioclimática. Existe un rango de bienestar y confort térmico definido por la temperatura de confort en invierno y verano, en un rango de humedad específico, denominado bienestar térmico designado por los puntos mencionados a continuación.

- **Temperatura mínima de invierno de 20°C en el interior de la casa**
- **Temperatura máxima de verano de 26°C en el interior de la casa**
- **Humedad relativa menor al 70%**
- **Humedad relativa mayor al 30%**
- **Temperatura superficial de la envolvente similar a la temperatura interior de la vivienda con un diferencial de temperatura de 4°C en el muro**

Para poder lograr cumplir con estas características de bienestar térmico debe poseer propiedades térmicas y características como las siguientes:

- **Baja transmitancia térmica (U) de la envolvente incluidos ventanas, muros y puertas.**
- **Orientación adecuada (Norte en lo posible).**
- **Equipos térmicos eficientes.**
- **Evitar sobrecalentamientos en verano añadiendo masa térmica a la vivienda dentro de lo posible.**

- **Evitar condensaciones en el interior de la vivienda, evitando alcanzar temperaturas de rocío en ventanas y muros.**
- **Minimizar cantidad de puentes térmicos mediante la selección de materiales con conductividades bajas y geometría adecuada.**

El presente estudio se basará en algunos conceptos y definiciones del manual de **calificación energética de una vivienda (CEV 2.0)** además de la **NCh 853** como también del artículo **4.1.10 de la O.G.U.C.** referido a la reglamentación térmica y consideraciones constructivas para no sufrir sobrecalentamientos en verano, para cumplir algunos estándares higrométricos se añaden consideraciones del código técnico de España (CTE), como también algunas exigencias del estándar Passivhauss.

Según las características de los principales materiales disponibles, se opta por la madera debido a sus ventajas térmicas principalmente, sin embargo dentro del mundo de la madera existen una serie de soluciones como paneles SIP, tabiques de madera con aislamiento en el interior. El sistema constructivo mediante paneles SIP (Standar Insulated Panel) requiere menor tiempo de construcción en terreno, por ende costos más controlados que una vivienda del tipo tradicional (albañilería), para el montaje no requiere mano de obra especializada donde las uniones y anclajes de los elementos son simples y de fácil aplicación. Cabe destacar que el sistema constructivo cumple con diversos requerimientos estructurales, donde en el terremoto del año 2010 no presentó problemas estructurales en un universo de más de mil viviendas construidas en la zona de Concepción, sin embargo no ha sido ensayado como se debe mediante caracterización de la solución.

Otra opción dentro de la madera es la de muros de la envolvente constituidos de madera 2 x 4" con paneles de OSB de 11,1[mm] y un aislante térmico en su interior (lana celulósica), una ventaja práctica respecto al sistema de paneles SIP es la de facilitar toda la instalación del cableado eléctrico y cañerías, además la aislación tiene la ventaja de ser una barrera contra incendios, plagas de insectos

(termitas) y roedores. Esta solución al igual que los paneles SIP también pueden llegar a terreno prearmados, facilitando el trabajo en terreno. Entonces la solución de los muros de envolvente, pisos y techumbre se reduce a dos posibilidades las cuales son **SIP, o paneles de OSB estructurado en madera con aislación térmica.**

Nombre	Hormigón	Ladrillo	Madera con aislación(celulosa)	SIP
Conductividad térmica(W/m*°K)	1,6	0,5	0,23	-
Resistencia Térmica (m ² *K/W)	0,0625	0,217	2,44	2,74
Control de costos	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Tiempo construcción	Medio	Alto	Bajo	Bajo
Dificultad de instalación	Alto	Alto	Bajo	Medio
Material ecológico	No	No	Si	No

Tabla 7.Cuadro comparativo de materiales. Fuente: Elaboración propia

En el cuadro comparativo de materiales (Tabla 7) los valores de resistencia térmica están referidos a un muro de 10 [cm] ya que el valor de resistencia térmica depende también del espesor del muro además de la conductividad (ecuación 7).

La solución seleccionada para los muros de envolvente, piso y techumbre será la de madera con aislación de lana de celulosa ya que cuenta con una buena resistencia térmica, facilidad de instalación en terreno y además el aislante proviene de materia reciclado y no derivado del petróleo como lo es el poliestireno expandido en el caso del SIP, aportando un mayor grado de sustentabilidad de la construcción sin entrar en mayor detalles. A continuación se definen las características dimensionales de la vivienda prototipo para luego calcular transmitancias térmicas (U) de los muros, techumbre y ventanas de la envolvente.

4.3 Dimensiones de la vivienda

La vivienda contará con módulos de dimensiones de 3.200[mm] de ancho y 2.440[mm] de alto en los **muros**, los **pisos** estarán modulados en formato de 3.200[mm] x 3.200[mm] como se puede observar en la figura 28, llegando a alcanzar una superficie 10,24 [m²] por módulo, el **cielo** del primer y segundo piso tendrán el mismo formato dimensional.



Figura 27. Diseño industrial de vivienda modular tipo. Fuente: Pastene y Cia Ltda.

Cabe mencionar que dentro de la comunidad ecológica también existe una normativa de un factor de ocupación del suelo de 0,3[-] lo que corresponde a una superficie construida máxima de 364,12[m²] y también una distancia de 3 [m] con el deslinde del terreno del vecino y un antejardín de 5 [m]. Dentro de las características principales de la vivienda dimensionalmente hablando es que contará con una superficie útil aproximada de 170 [m²] en dos pisos, donde su estructura estará formada por vigas y pilares de pino insigne de 3,2[m] de longitud que en su sección poseen 160[mm] de ancho y 270[mm] de alto en el caso de las vigas. En su fachada posee ventanas de doble vidriado hermético (DVH) la cual su principal función es producir ganancias solares durante el día mediante ventanales compuestos por nueve ventanas DVH, también llamados termopaneles con separadores de 12 [mm] y cristales de 4 [mm] de espesor.

Como se puede observar en la figura 28, la vivienda contará con una solución de cocina abierta, junto a ella un comedor y una logia con una pequeña sala de estar, también contará con un baño de visitas el cual no posee ducha y una escalera de madera nativa ciprés, además este piso contará con la pieza principal, walking closet

y el baño principal. En el segundo piso se encontrarán dos piezas habitables con orientación nororiente, además de un baño y una gran sala de estar.

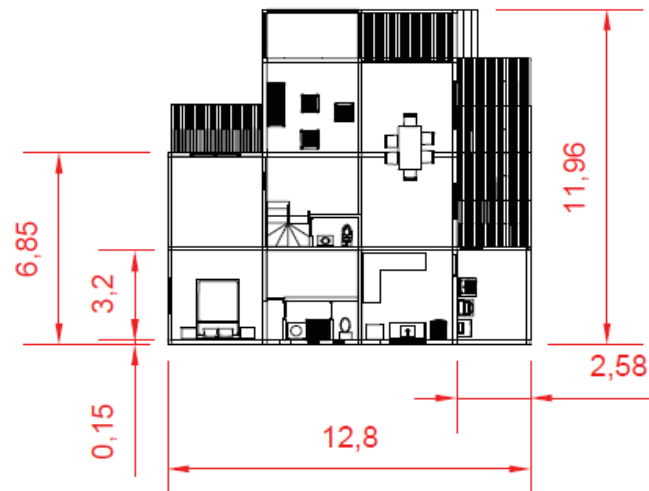


Figura 28.Dimensiones generales planta primer piso (cotas en metros).Fuente: Propia

Balance Térmico de la vivienda

Es importante tener en cuenta las ganancias y pérdidas de la vivienda para realizar un diseño eficiente, y poder precisar cuanta energía es necesaria inyectar para calefaccionar la vivienda, mediante un balance térmico con las siguientes expresiones según la norma EN-13970 para un cálculo simplificado, mediante las siguientes expresiones.

$$Q_H = Q_L - Q_G \quad (9)$$

$$Q_L = Q_T + Q_v \quad (10)$$

$$Q_G = Q_s + Q_I \quad (11)$$

Q_H = Demanda de energía [kWh]

Q_L = Pérdidas de energía [kWh]

Q_G = Ganancias de energía [kWh]

Q_T = Pérdidas por transmisión de los muros [kWh]

Q_V = Pérdidas por ventilaciones o infiltraciones [kWh]

Q_S = Ganancias solares [kWh]

Q_I = Ganancias internas [kWh]

Las pérdidas por transmisión (Q_T) se producen debido a la transmitancia térmica del muro, techo y piso donde tienen gran importancia las conductividades de los distintos materiales y sus espesores y se calcula según la ecuación 12. El factor reductor de temperatura se produce debido a que en las viviendas existen espacios que si bien no se encuentran calefaccionados como el baño, logia u otro existe un diferencial de temperatura menor que con el exterior.

$$Q_T = A * U * f_t * G_T \text{ [kWh]} \quad (12)$$

A = área en [m²]

U = Transmitancia térmica del muro, piso, techumbre en [W/m²*K°]

f_t = coeficiente reductor de temperatura.

Interior – exterior = 1; interior – interior no habitable = 0,75

G_T = Grados día del lugar (kilo Kelvin)

Las pérdidas por ventilación se producen debido a las infiltraciones que suceden entre uniones entre el muro y el pilar, infiltraciones en las ventanas (marco y cristal) y muro-techumbre, también debido a las ventilaciones (natural y/o forzada). Se calcula de la siguiente manera:

$$Q_V = V * n_v * c * G_t \quad (13)$$

V = Volumen interior acondicionado neto

n_v = renovación de aire por hora

c = capacidad específica volumétrica del aire [$W \cdot h / m^3 \cdot K^\circ$]

G_t = grados día del lugar

Ganancias

Las **ganancias internas** de una vivienda se producen debido a la energía que aportan las personas y aparatos eléctricos disponibles en la vivienda.

Según la norma EN-13790 para una vivienda familiar se utiliza un valor convencional de $2,1 [W/m^2]$ para el período de invierno que es cuando se calefacciona la vivienda.

Las ganancias internas se calcular de la siguiente manera:

$$Q_I = t * q_i * A_{SRE} \quad (14)$$

t = período de calefacción en horas [h]

q_i = Cargas internas ($2,1 [W/m^2]$ para el caso de vivienda)

A_{SRE} = Superficie de referencia a calefaccionar en [m^2]

Por otro lado las **ganancias solares**, son las ganancias que manera pasiva a través de las ventanas ubicadas en las distintas direcciones, donde se produce el efecto invernadero, ya que al dejar pasar la radiación incidente se transforma en radiación infrarroja la que posee una longitud de onda mayor siendo la cara interna de la ventana opaca para la radiación. Se calculan de la siguiente manera.

$$Q_s = r * g * A_F * G \quad (15)$$

Dónde:

r = factor reductor debido a la suciedad, no perpendicularidad, en verano aleros, sombras. [-]

g = factor solar del vidrio. [-] cuociente entre la radiación que atraviesa el vidrio y la que atravesaría si el cristal se sustituyera por un hueco transparente.

A_F = Hueco bruto de la ventana [m^2] (cristal)

G = Radiación solar en función de la orientación en [kWh]

4.4 Aislación térmica de la envolvente

La naturaleza siempre tiende al equilibrio y en el caso de la energía no es la excepción, en una vivienda al encontrarse en su interior con una temperatura mayor que la del medio ambiente que la rodea, de forma natural la transferencia de calor ocurre de manera perpendicular a las paredes donde el gradiente de temperatura determina la velocidad de transferencia de calor mientras mayor sea el gradiente mayor será su velocidad de transferencia.

Para poder reducir la velocidad de transferencia de calor existe un concepto llamado **resistencia térmica** que es la capacidad de un material para **oponerse al flujo de calor**, depende principalmente de la configuración geométrica y las propiedades térmicas del medio que atraviesa. Existen tres tipos de resistencias térmicas que son correspondientes a los tres mecanismos de transferencia de calor, resistencia térmica a la **conducción, convección y radiación**.

Al igual que las **resistencias eléctricas** realizando una analogía con las leyes de Kirchhoff, en transferencia de calor cuando contamos con varios materiales en un muro cada resistencia individual en serie se suma lo cual significa que se ofrece mayor resistencia al flujo de calor.

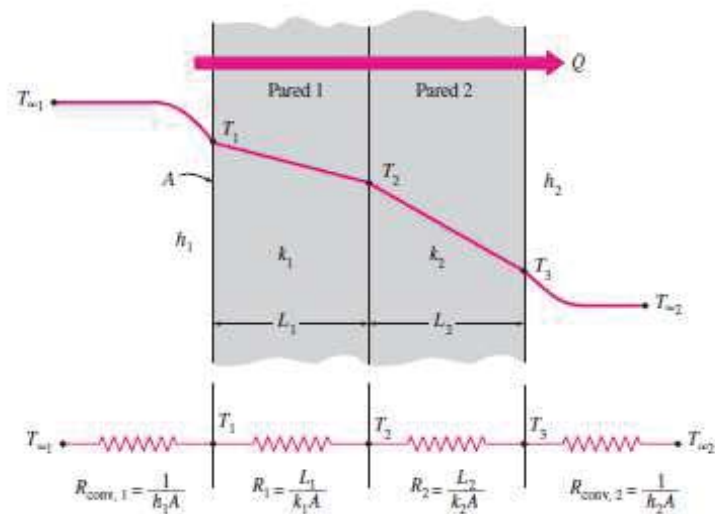


Figura 29. Red de resistencias térmicas en serie de una pared plana de dos capas. Fuente Yunus Cengel “Transferencia de calor”.

En el caso de la figura 29 contamos con una pared plana de dos capas donde tenemos transferencia de calor por convección en ambos lados, exterior e interior. En este caso estamos en presencia de una red de resistencias térmicas en serie donde existe resistencia por convección y por conducción.

$$R_{total} = R_{conv1} + R_{pared1} + R_{pared2} + R_{conv2} \quad (16)$$

Si este valor de resistencia térmica es bajo no habrá oposición al flujo de calor entre el medio ambiente y el interior de la vivienda lo que eventualmente se traduce en un **bajo confort térmico**. Ahora si bien podemos contar con una envolvente que posee una alta resistencia térmica, existe un fenómeno que puede afectar de gran manera al confort térmico si no se tiene en cuenta que es el **punto térmico** el cual es importante tenerlo en cuenta en el diseño de la vivienda.

A modo de ejemplo, un termopanel de doble vidriado con marco de aluminio, donde el termopanel es un buen **aislante térmico** y el marco de aluminio un buen **conductor térmico**, permite que el calor se escape donde es posible que con bajas temperaturas bajas de invierno puede condensar pequeñas gotas de agua en el

marco de aluminio fenómeno que no ocurre en el vidrio. Otro ejemplo es en el caso de un tabique que posee aislación de lana de vidrio con baja conductividad térmica donde los pies derechos están compuestos por perfiles Metalcom, la lana de vidrio es considerada un buen aislante, pero el Metalcom un **conductor térmico**, lo que produce una discontinuidad en la capa aislante que produce pérdidas de calor en el elemento heterogéneo y eventualmente condensación intersticial en el muro.

Estos dos ejemplos mencionados anteriormente son **puentes térmicos constructivos** los cuales se deben a un cambio de un material a otro que poseen alta conductividad térmica respecto de otro, existen otros casos como es el puente térmico producido por **cambios en la geometría de la vivienda**, como por ejemplo una esquina, o disminución de espesor de un muro. Otros puentes térmicos pueden ser las cañerías, canalizaciones eléctricas, vanos de puertas y ventanas, etc.

Si la vivienda se encuentra bien diseñada las pérdidas de calor ocurrirán en su mayoría a través muros perimetrales, techumbre, pisos ventilados y las ventanas (ventana y marco), que se encuentran estipulados en la reglamentación térmica **artículo 4.1.10 de la O.G.U.C** Para realizar los cálculos de transmitancia térmica (U) existe una metodología de cálculo definida por la NCh 853, donde los valores para R_{si} (resistencia superficial interior) y R_{se} (resistencia superficial exterior) según sea el caso, utilizando como base la ecuación (7) expresados en $[m^2 \cdot K^\circ / W]$.

En el caso de los muros nos encontramos en el caso de un flujo horizontal en elementos verticales, distinto es el caso de techumbre y pisos ventilados donde tenemos elementos horizontales con flujo ascendente o descendente según corresponda (invierno o verano), tal como se ilustra en la figura 30.

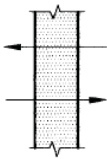
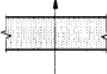
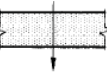
Resistencias térmicas de superficie en m ² x K/W							
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si}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

Figura 30.Valores de resistencia térmica. Fuente: Norma NCh 853.

4.4.1 Muros de envolvente

Como vimos anteriormente, uno de los materiales de mayor empleo en la construcción chilena con buena **resistencia térmica** es la **madera** por sobre el hormigón armado y el ladrillo (ver tabla 6) la cual es **cinco** veces el valor del hormigón y ladrillo en 1 [cm] de longitud.

Los tabiques soportantes son los principales elementos de la estructura resistente de la vivienda. Sus componentes son encargados de transmitir las cargas estáticas y dinámicas, hoy en día el uso de tableros contrachapados y tableros de hebra orientada como el OSB (oriented strain board) son utilizados como principal componente arriostrante de tabiques soportantes en estructuras de madera.

La solución propuesta es una estructura de tabiquería con pies derechos de madera de 2x4" utilizando como elemento arriostrante paneles de OSB de 11,1[mm] en cada cara, con aislación térmica de lana de celulosa en su interior de 100[mm] de espesor y revestimiento exterior e interior de la vivienda. Una de las ventajas es la versatilidad

de construir el módulo a la medida que uno prefiera, con lo que se puede estandarizar también la solución de ventanas con un premarco que venga de fábrica el formato del módulo seleccionado es de 3,20 x 2,44 [mt].

Otra de las grandes ventajas de trabajar con esta solución de muro es la posibilidad de minimizar el trabajo en terreno, obteniendo un mayor control de costos, horas-hombre y menor cantidad de residuos en comparación con una construcción de albañilería u hormigón.

A modo comparativo el construir una casa de **140 m²** de hormigón y albañilería demora un mínimo de **siete meses**, en cambio la misma vivienda con paneles prefabricados tarda alrededor de **tres meses**, donde este sistema no es necesario montar moldajes como en un sistema de hormigón que además exige un tiempo de fraguado y curado mínimo.

Cálculo de transmitancia térmica del diseño del muro.

La solución propuesta estará compuesta por un revestimiento exterior llamado Smart panel, luego la plancha de OSB de 11,1[mm], para luego dar paso a una barrera de humedad bidireccional cuya función es la de evitar posibles condensaciones intersticiales en el interior de los muros, luego la solución de pino 2x4" con aislante de celulosa, para terminar con una barrera de vapor al interior de la vivienda y sobre esta una placa de yeso-cartón con una densidad de 650[kg/m³]. Para el cálculo de la transmitancia térmica de la solución es necesario saber la resistencia térmica de cada uno de los elementos que conforman la solución y con ello saber la transmitancia de la solución completa mediante cálculo sabiendo en un principio que la transmitancia es inversamente proporcional a la resistencia térmica.

$$U_{total} = \frac{1}{R_{total}} \left[\frac{W}{m^2 K^{\circ}} \right] \quad (17)$$
$$R = \frac{e}{\lambda} [m^2 K^{\circ} / W]$$

Dónde:

λ = conductividad del material expresado en [W/m°K]

e = espesor del material expresado en metros

Utilizando como base la ecuación 16 podemos expresar una forma simplificada para calcular la transmitancia térmica del muro, propuesta por el manual CEV 2.0 debido a que la transferencia de calor se desplaza a distintas velocidades, donde la conductividad de los materiales es diferente uno de otro, según manual CEV en la **figura 31**, cuando estamos en presencia de estructura de madera utiliza un 15% del espacio total del tabique y el otro 85% corresponde al aislante considerado.

$$U_{total} = U_{madera} * A_{madera} + U_{solucion} * A_{solucion} \left[\frac{W}{m^2 K^\circ} \right]$$

Tipo de estructura	% de estructura a considerar
Tabiquería de estructura metálica	10%
Tabiquería de estructura de madera	15%

Figura 31. Porcentaje de estructura en tabiquería. Fuente: Manual CEV 2.0.

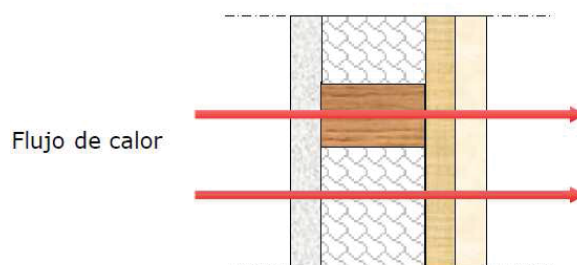


Figura 32. Flujo de calor en un elemento heterogéneo. Fuente: Curso CEE. Módulo 2.

Como se ilustra en la figura 32, un fenómeno donde se encuentran materiales de distintas conductividades, hay distintos flujos de calor ocurriendo en un instante, para

el caso de puentes térmicos estamos en presencia de distintos materiales pero uno de ellos posee una gran conductividad respecto del otro, como puede ser un muro estructurado en acero, con aislante entre medio, una forma de evitar esto es aislar por fuera del muro mediante un sistema EIFS, el cual consta de poliestireno de alta densidad, asegurando una continuidad en la capa aislante.

Material	espesor [mm]	Λ [W/m ² *K°]	R [m ² *K°/W]
yeso cartón	15	0,24	0,0625
Lana de celulosa	100	0,041	2,44
Smart Panel	9,5	0,23	0,04
Cerámico	15	1,75	0,0085
Madera	100	0,104	0,96
OSB	11	0,23	0,05

Tabla 8. Resistencia y conductividades de distintos materiales. Fuente NCh 853

$$R_{\text{solución}} = R_{si} + R_{\text{smart}} + R_{OSB} + R_{\text{lana}} + R_{OSB} + R_{\text{yeso}} + R_{se}$$

$$R_{\text{madera}} = R_{si} + R_{OSB} + R_{\text{madera}} + R_{OSB} + R_{\text{yeso}} + R_{se}$$

Se ilustra gráficamente en la figura 32 que es lo que sucede en casos que estamos en presencia de elementos heterogéneos los cuales el flujo de calor ocurre en distintas velocidades ya que los distintos materiales poseen diferentes conductividades. Mencionado anteriormente los valores de R_{si} y R_{se} por defecto de 0,05 y 0,12 en la figura 30 de la NCh 853, podemos saber la resistencia total del muro y con ello la transmitancia térmica de la solución propuesta.

$R_{\text{solución}} = 2,651 \text{ [m}^2\text{K}^\circ\text{/W]}$ lo que corresponde a un valor de transmitancia de:

$$\mathbf{U_{\text{solución}} = 0,377 \text{ [W/m}^2\text{K}^\circ\text{]}}$$

$R_{\text{madera}} = 1,293 \text{ [m}^2\text{K}^\circ\text{/W]}$ Lo que nos da un valor de transmitancia térmica de:

$$\mathbf{U_{\text{madera}} = 0,77 \text{ [W/m}^2\text{K}^\circ\text{]}}$$

$$\mathbf{U_{\text{total}} = 0,77 * 0,15 + 0,377 * 0,85 \text{ [W/m}^2\text{K}^\circ\text{]}}$$

$$\mathbf{U_{\text{total}} = 0,435 \text{ [W/m}^2\text{K}^\circ\text{]}}$$

Este valor de transmitancia correspondiente al muro de envolvente cumple a cabalidad con lo exigido en la O.G.U.C artículo 4.1.10 donde el valor U exigido para muros es de **1,9 [W/m²K°]** en la zona térmica 3-A, el valor calculado de la solución completa es **4** veces menor aproximadamente del valor exigido.

Si contáramos con una solución tradicional en la zona centro del país estaría compuesto por albañilería armado (albañilería más acero con un revestimiento de poliestireno expandido de 10[mm] con una densidad de 15[kg/m³]. El valor de transmitancia térmica lo podemos encontrar en el **listado oficial de soluciones constructivas** que corresponde al valor de **$U = 0,75 [W/m^2 \cdot K^\circ]$** obtenido en el código **1.2.M.B2** este valor es casi la mitad de lo exigido, pero sigue siendo casi dos veces mayor que la solución propuesta.

En la figura 33 se encuentra el caso de vivienda tradicional es el de hormigón armado con una placa de yeso cartón de 10[mm] sin aislación, el valor es una transmitancia térmica de **1,3[W/m²K°]**, disponible en el listado de soluciones constructivas bajo el código **1.2.M.A2**, estos valores de transmitancia no han sido calculados en este apartado debido a que se encuentran disponibles ensayos en el listado oficial de soluciones constructivas, este valor es casi **cuatro veces mayor** que el valor de la solución propuesta, sin embargo esta solución cumple con las exigencias de la reglamentación térmica, sin embargo no es suficiente para un confort térmico adecuado, donde seguramente ocurrirán problemas de humedad. Este listado de soluciones constructivas es posible encontrarlo en el sitio Web del Ministerio de Vivienda y Urbanismo en el siguiente enlace: http://www.minvu.cl/opensite_20070606164405.aspx. También se encuentran las distintas soluciones para aislamiento acústico y un listado oficial de comportamiento al fuego de elementos y componentes de la construcción, cada solución va con su respectivo código el cual se debe indicar en los formularios correspondientes.

Código 1.2.M.A2	Sistema W631-muro de Hormigón Armado 10 cm (o superior), más plancha POLYPLAK (una placa de yeso cartón RH e=12,5 mm)						
A. Único valor de Resistencia (Rt) y Transmitancia (U) Térmica para la solución constructiva							
RESISTENCIA TÉRMICA (Rt):	---				TRANSMITANCIA (U):	---	
B. En caso que se modifique el espesor del material aislante manteniendo el resto de la configuración constructiva:							
	21	22	23	24	25	26	27
Rt (m² *K/ W)	0.52	0.52	0.76	0.76	0.76	0.99	1.73
U (W/m² *K)	1.91	1.91	1.30	1.30	1.30	1.00	0.57
Espesor Aislante (mm)	10	10	20	20	20	30	60
Descripción de la Solución Constructiva			Genérico	---	Marca Comercial	X	
La solución está conformada por un muro perimetral de hormigón armado de 10 cm de espesor, por el interior del muro, en forma vertical, se aplica como revestimiento Polyplak (1,20 x 2,40 mts), plancha compuesta por una placa de yeso cartón RH e=12,5 mm adherida a una plancha de poliestireno expandido de 15 kg/m3, de espesor según requerimiento de la Zona Térmica. Las planchas Polyplak van fijadas al muro a través de una pasta pegamento de nombre comercial Perfix. Este pegamento se dispuso sobre la plancha antes de pegar al muro, por el lado del poliestireno expandido, en porciones del tamaño de un puño, cada 25 cm, y en el centro dos corridas cada 35 cm., aproximadamente. Las planchas de Polyplak se ubican en el muro, niveladas, aplomadas y alineadas, dejando 10 mm. de dilatación en la parte inferior del muro. En la unión de las planchas Polyplak se realiza tratamiento de juntas -sobre las placas de yeso cartón- éste se efectúa con masilla y cinta para juntas Knauf.							
Forma de cumplir con las exigencias			Densidad material aislante	Institución		Vigencia	
Certificado de ensaye	---	Cálculo (NCh 853. Of. 91)	X	15 kg/m3	Knauf de Chile LTDA.	Diciembre de 2011	
Corte:				Planta (opcional)			

Figura 33.Listado de soluciones constructivas. Fuente: MINVU.

4.4.2 Techumbre

Debido a que el complejo de techumbre es la superficie más extensa que se encuentra en contacto con el exterior, es necesario contar con una solución constructiva que cumpla con los estándares térmicos mínimos indicados en el Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) siendo además donde se exige un menor valor de transmitancia térmica debido a que las pérdidas de calor ocurren en su mayoría por la techumbre. La vivienda

contará con un complejo de techumbre plano llamado también techo de una sola agua, el cual tendrá una inclinación no mayor a 2. Lo anterior es considerando las características climáticas de la zona térmica.

Existen dos tipos de techumbres llamadas “Techumbre fría y Techumbre caliente” en la techumbre fría la aislación se encuentra sobre el cielo o losa dependiendo del caso y no posee entretecho habitable, mientras que la techumbre caliente la aislación térmica se encuentra debajo de la cubierta y el entretecho forma parte del área calefaccionada de la vivienda. En este caso específico la solución será del tipo “**techumbre fría**” donde la aislación debe mantener sus propiedades térmicas, evitando la humedad sobre la aislación con una adecuada ventilación de la techumbre mediante una cámara de aire ventilada, como se puede ver en la figura 34 la solución estará compuesta por una techumbre con cerchas, con aislante térmico el cual estará sobre el cielo asegurando que el aislante sea instalado de manera continua y homogénea, donde se debe mantener constante el espesor del aislante, por lo tanto en el caso de techumbres con cerchas como es este el caso la aislación se debe prolongar sobre las soleras para que no constituyan puentes térmicos.

Cálculo de transmitancia térmica de techumbres

La solución propuesta de techumbre para la vivienda estará compuesta por paneles de barrera radiante de 15 [mm] con un empalizado de madera configurado de la siguiente manera según la figura 34.

- Estructurado con módulos de pino 2 x 4”.
- Estructura de envigado en cielo de segundo piso con madera 2 x 8” de pino insigne con aislante de lana de celulosa de espesor total de 200 [mm] y 25[kg/m³] de densidad, con cierre en el cielo de OSB estilo “**quickfinish**” con 11,1[mm] de espesor para terminación en cielo segundo piso.
- Estructura de cercha estilo diente de sierra con inclinación menor a 5°.

Empíricamente se sabe que la mayor parte del calor (alrededor de un 40%) se disipa por la techumbre en invierno es por ello que debe aislarse con un mayor espesor, en verano la situación funciona de manera inversa donde la techumbre funciona como una gran olla a presión lo que provoca que el segundo piso se sobrecaliente.

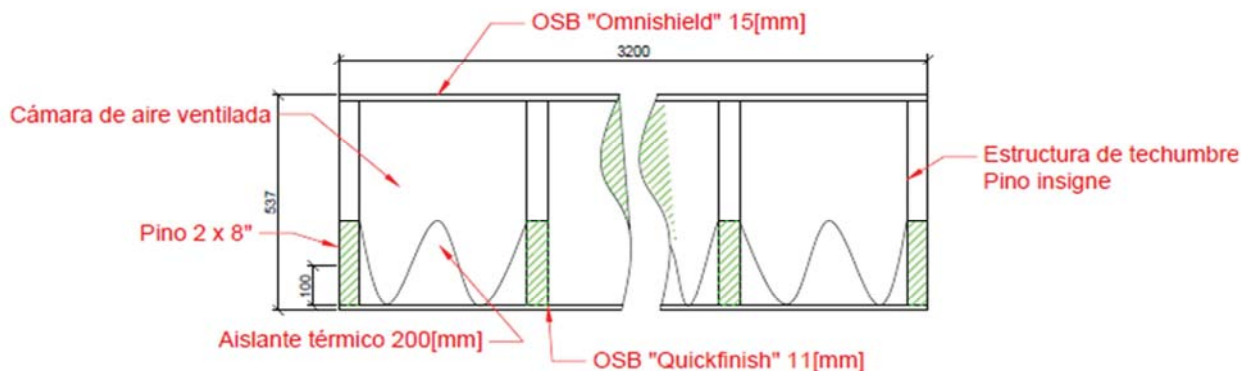


Figura 34. Solución de cielo y techumbre. Fuente: Elaboración propia.

Es necesario que la techumbre posea una ventilación adecuada (cámara de aire) ya que es necesario lograr que la humedad pueda evacuar al exterior para no humedecer la techumbre debido a que la madera se ve afectada directamente, cambiando sus propiedades dimensionales y mecánicas, como se ilustra en la figura 35, no así la lana de celulosa caso contrario sería si se tratara de lana de vidrio. Otra característica que posee la techumbre es que posee una barrera radiante llamada comercialmente “**OSB LP Techshield u Onmishield**” (figura 36) consta de una placa de OSB de 15 [mm] en este caso y en la otra cara una lámina de aluminio adherida a la placa lo que conlleva una mejora en la reflexión de la radiación infrarroja en un 97% logrando reducir la temperatura de la vivienda en verano en un 17% cuando son instalados en áticos y un 9% en el cielo además poseen pequeñas incisiones que permiten la evacuación del vapor de agua.

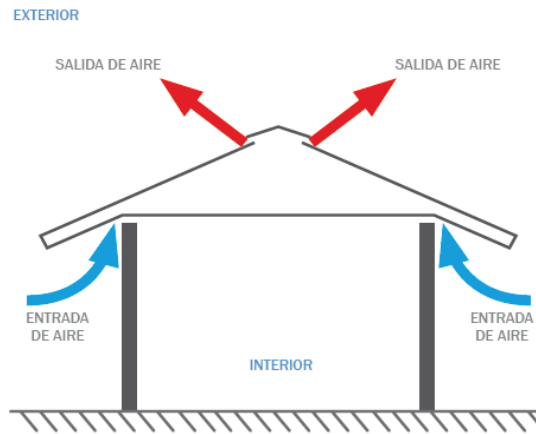


Figura 35. Cámara de aire ventilada. Fuente: Manual de acondicionamiento térmico CDT.

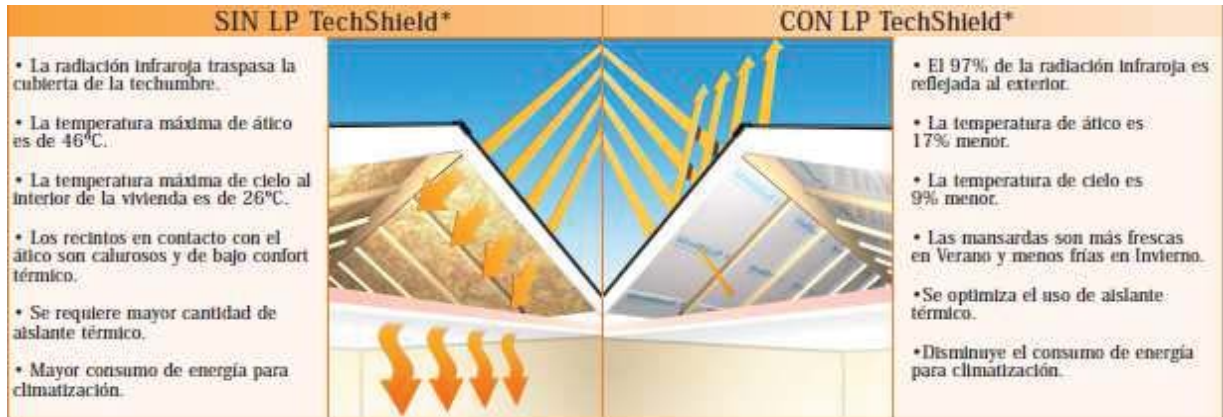


Figura 36. Diferencias entre instalaciones con y sin Techshield. Fuente: LP

En este caso el flujo de calor es del tipo vertical lo que está estipulado en la NCh 853 (figura 36) con valores de R_{si} y R_{se} de 0,10 [$m^2 \cdot K^\circ / W$] cada uno, como sucede en el caso del piso se trata de un elemento heterogéneo donde la velocidad de transferencia de calor es distinto en cada caso por lo que se calcula de igual manera solo que cambian sus valores de transmitancia y resistencia térmica utilizando la ecuación genérica número 8.

$$R_{techumbre} = R_{si} + R_{osb} + R_{pino} + R_{se}$$

$$R_{lana} = R_{si} + R_{osb} + R_{lana} + R_{se}$$

Lo que nos da como resultado:

$$R_{\text{techumbre}} = 2,17 \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

$$U_1 = 0,46 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$R_{\text{iana}} = 5,12 \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

$$U_2 = 0,195 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Utilizando la consideración de la figura 31 para los porcentajes de madera calculamos el U_{total} :

$$\mathbf{U_{total} = 0,234 \text{ [W/m}^2\text{K]}}$$

El valor obtenido para la techumbre se encuentra por debajo de los **0,47[W/m²K]** que exige la ordenanza general de urbanismo y construcción, un detalle a mencionar es que no se estipulo en la solución de “OSB omnishield” debido a que entre el aislante y la plancha existe una cámara de aire ventilada por lo que el calor se mueve por mecanismos de convección lo que sí está estipulado mediante el valor de R_{se} , hay que mencionar que el valor de conductividad de la lana de celulosa está estipulado para una densidad de **25[kg/m³]**, por lo que hay que garantizar que la densidad sea la correcta para una resistencia térmica adecuada.

4.4.3 Piso

En este caso en particular se pretende intervenir lo mínimo posible el terreno por lo que se descarta una losa (radier) en contacto con el terreno, en este caso la solución será sobre pilotes donde **no** hay contacto directo con el terreno, como ventaja un menor costo en las fundaciones debido a que no es necesario ejecutar movimientos de tierra para construir un radier, además de ventilar los pisos.

Dentro de la reglamentación térmica se exige que la transmitancia térmica de los **pisos ventilados** para la zona 3 debe ser de **$U = 0,7 \text{ [W/m}^2\text{K}^\circ]$** según la “NCh 853”. El cálculo de transmitancia térmica no difiere mucho del cálculo anterior de techumbre donde la transmisión de calor ocurre en sentido vertical y no en horizontal

como según la **figura 30**, donde en el caso de invierno tenemos un flujo descendente por los pisos ventilados y ascendente en el caso de verano, con ello los valores de R_{si} y R_{se} varían según la estación. La solución para esta vivienda estará compuesto por paneles de madera, estructurado en pino insigne 2x8" con lana de celulosa en su interior donde la cara interior del panel estará compuesto por un placa de OSB de 15[mm] y sobre esta hormigón afinado de 40 [mm] de espesor y en su cara exterior por paneles de OSB de 15[mm].

Cálculo de transmitancia térmica de pisos ventilados

Para el cálculo de la transmitancia térmica de los pisos ventilados se calculará según la NCh 853, los valores de conductividad térmica se encuentran en el **Anexo 4 de dicha Norma**, donde R_{madera} representan un 15% de la solución completa y el 85% restante corresponde a la de lana de celulosa.

$$R_{madera} = R_{si} + R_{osb} + R_{pino} + R_{osb} + R_{hormigon} + R_{se}$$

$$R_{lana} = R_{si} + R_{osb} + R_{lana} + R_{osb} + R_{hormigon} + R_{se}$$

Al igual que en la solución de techumbre la densidad de la lana de celulosa deberá ser de **25[kg/m³]** para asegurar una transmitancia térmica de **0,041 [W/m²K°]**. Acorde a la figura 30 según la NCh 853 estamos en presencia de un flujo descendente tomando en cuenta que en invierno el calor fluye desde el interior de la vivienda hacia el medio ambiente donde los valores de R_{si} y R_{se} son los siguientes.

$$R_{si} = 0,17[m^2 \cdot K^\circ / W] \quad R_{se} = 0,05[m^2 \cdot K^\circ / W]$$

$$R_{madera} = 1,92[m^2 \cdot K^\circ / W] \quad R_{hormigón} = 1,3[m^2 \cdot K^\circ / W]$$

$$U_{total} = 0,341[W/m^2 \cdot K^\circ]$$

Según el artículo 4.1.10 en la O.G.U.C. se exige para la zona 3-A un valor de 0,7[W/m²·K°] con el valor calculado se cumple con el valor mínimo exigido en la reglamentación térmica, utilizando la solución constructiva propuesta.

4.4.4 Puentes térmicos

Un fenómeno térmico que ocurre en viviendas de las cuales no se tiene mucho conocimiento es de los puentes térmicos, el cual puede llegar a representar hasta un 30% de la demanda de calefacción cuando no se diseña tomando en cuenta este fenómeno, como se observa en la figura 37. Existen distintos tipos de puentes térmicos asociados a una vivienda en general los cuales son **constructivos, geométricos y cambio de material**. El **puente térmico constructivo** es solamente cuando el aislamiento cambia su espesor facilitando la transferencia de calor con exterior, el **puente térmico geométrico** tiene relación con lo anterior pero debido a una esquina donde a una superficie interior corresponde una superficie exterior mayor y por último el puente térmico debido a un cambio de material como se observa en la figura 38, es debido a un material con una conductividad térmica distinta que el cerramiento normal, en este caso puede ser puntual o lineal. Los puentes térmicos pueden tener efectos negativos debido a un aumento del flujo térmico entre el interior y el exterior como se mencionó anteriormente, es posible que haya un aumento de la humedad relativa en una zona específica, pudiendo tener el riesgo de condensaciones intersticiales en el aislante térmico y eventuales formaciones de mohos.



Figura 37. Puentes térmicos en cámara termográfica. Fuente: Ecohouses.es

En este apartado calcularemos los puentes térmicos más significativos con un software llamado “**THERM**” el cual calcula los puentes en 2D según la norma “**ISO 10211-1**”.

$$\varphi = \varnothing_{2D} - \Sigma (U \times l) \quad (18)$$

Dónde:

φ = Puente térmico lineal en [W/m*K°]

$\varnothing_{2D}$ = Valor calculado en THERM en [W/m*K°]

U = Transmitancia térmica del muro calculada en [W/m²*K°]

L = largo en metros.

Los puentes térmicos más significativos en este caso es la unión entre muros en una esquina donde estamos en presencia de un pilar con un herraje de acero en su interior, además del cambio de espesor debido a que las distancias varían en su interior respecto de su exterior, la norma aconseja dibujar hasta un metro de distancia del puente térmico realizando un corte adiabático. La figura 38 ilustra claramente un ejemplo de puente térmico debido a que la vivienda se encuentra estructurada en Metalcom (acero galvanizado) que posee una gran conductividad alrededor de 50 [W/m*K°], donde entre pies derechos llevará un material aislante en el interior de muros y techumbres. Hoy en día en Chile esta solución de estructuración mediante Metalcom es muy utilizada a lo largo del país, llegando producir en algunos casos problemas de condensación intersticial en el muro afectando la conductividad de la mayoría de los aislantes utilizados comúnmente.



Figura 38. Puentes térmicos en Metalcom. Fuente: casascanadienseschile.cl

Unión pilar-muro.

En la esquina donde se encuentra un pilar con dos muros de la envolvente estamos en presencia de un puente térmico que se hace necesario calcular, tal como se ve en la **figura 39**.

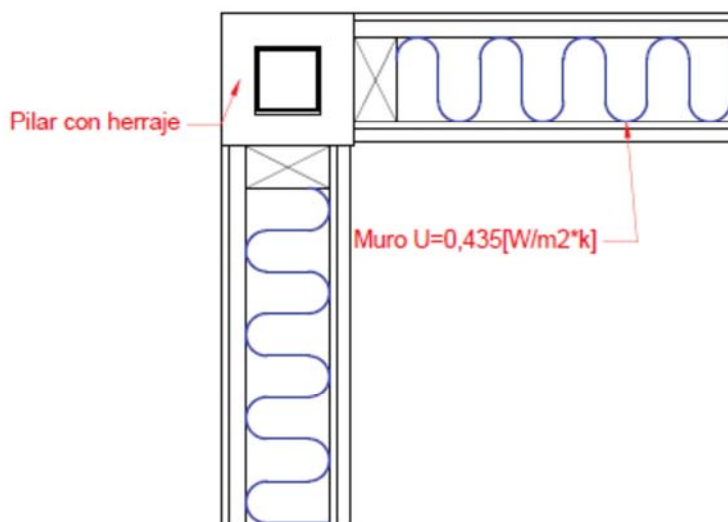


Figura 39. Detalle constructivo unión pilar-muro. Fuente: Elaboración propia.

Hay que tener una serie de consideraciones para simplificar el cálculo en “Therm”, definiendo una temperatura exterior de -4°C tomando en cuenta el día más frío del año 2015 y una temperatura interior de 20 ° C, se asume que en los extremos del muro es adiabático. Para el cálculo también se toman los valores de resistencia el en interior de **0,15[m²*K°/W]** y exterior de **0,05[m²*K°/W]** según la norma NCh 853, estos valores se ingresan en el THERM como “**film coefficient**” que es el valor inverso de la resistencia térmica. Una vez definido todos los elementos constructivos con sus respectivos valores de conductividades se calcula en Therm y arroja el valor de $\emptyset_{2D}$ en [W/m*K°].

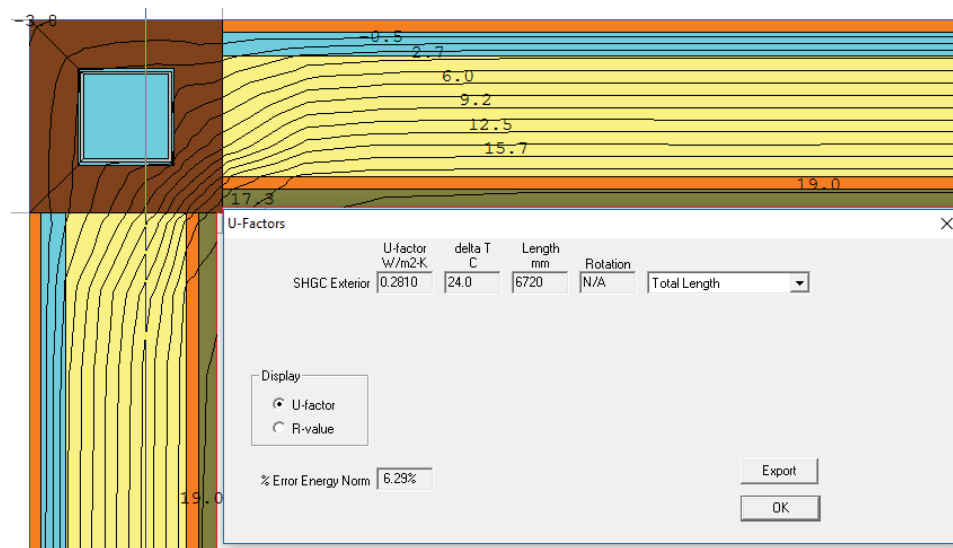


Figura 40. Simulación en Therm para cálculo de puentes térmicos. Fuente: Elaboración Propia. Los valores calculados mediante el software da como resultado un factor U de 0,3229[W/m²*K°], multiplicándose con la longitud total que es 3.430[mm], se calcula el puente térmico lineal.

$$\emptyset_{2D} = 0,281[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}^\circ] \times 6,72[\text{m}] = 1,888[\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}^\circ]$$

$$\varphi = \emptyset_{2D} - \Sigma (U \times l) = 1,888[\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}^\circ] - (0,435[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}^\circ] \times 3,36[\text{m}]) \times 2 = -1,04[\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}^\circ]$$

El valor **negativo** del puente térmico significa que no posee influencia en la transmitancia térmica del muro, ya que cuantificando la transmitancia térmica con el

área del muro es mayor, que el coeficiente de transmitancia lineal calculada con “THERM”, esto es debido a que la sección de acero es mucho menor comparando con la sección del pilar que es de madera.



Figura 41. Muestra infrarroja de la unión de pilares con ambos muros. Fuente: Elaboración Propia.

Unión Viga-Losa

Otro puente térmico importante puede ser el caso de la unión entre la losa del segundo piso con la viga soportante. Tendremos las mismas condiciones ambientales (temperaturas) y resistencias superficiales.

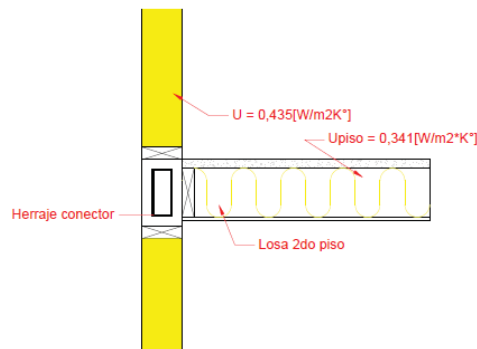


Figura 42. Detalle constructivo losa-viga. Fuente: Elaboración propia.

Realizando los cálculos en Therm nos da como resultado:

$$\phi_{2D} = 0,2745 [W/m^2 \cdot K^\circ] \times 5,025 [m] = 1,379 [W/m \cdot K^\circ]$$

$$\phi = \phi_{2D} - \Sigma (U \times l) = 1,379 [W/m \cdot K^\circ] - (0,435 [W/m^2 \cdot K^\circ] \times 5,025 [m]) = -0,806 [W/m \cdot K^\circ]$$

Al igual que en el caso anterior el valor obtenido es un valor negativo por lo tanto no se tomará en cuenta el puente térmico, concluyendo que la solución constructiva es apta para romper el puente térmico, distinto es el caso si es que los pilares y vigas fueran de acero.

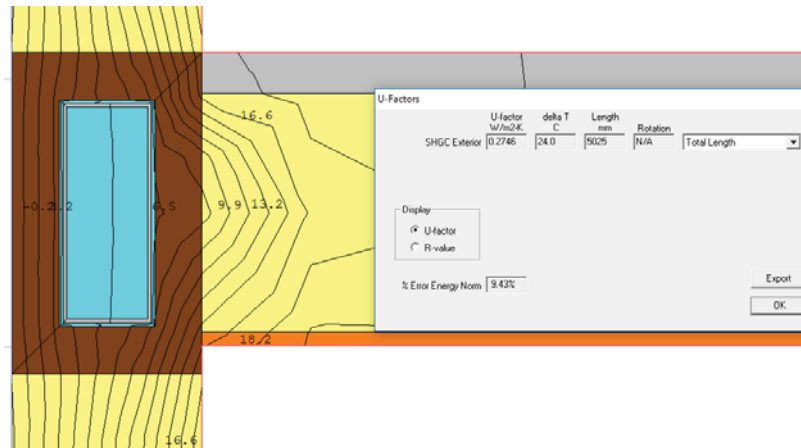


Figura 43. Cálculo en THERM puente térmico viga-losa. Fuente: Elaboración propia.

Fenómenos de condensación y mohos al interior de la vivienda

Existe un fenómeno asociado a los puentes térmicos y transmitancia de los muros el cual es el de la **condensación intersticial** y **mohos** para ver si esto es efectivo en la vivienda se utiliza un factor llamado **factor de temperatura**, el cual se obtiene al dividir la temperatura superficial del puente térmico en cuestión y la temperatura exterior por la diferencia de la temperatura exterior e interior.

Calcularemos en los puentes térmicos más significativos de la vivienda que son la unión muro-pilar, losa-viga y ventanas.

$$fR_{si} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (19)$$

Dónde:

θ_{si} = Temperatura superficial interior en [°C]

θ_e = Temperatura exterior ambiente en [°C]

θ_i = Temperatura interior de la vivienda en [°C]

La temperatura superficial interior es posible obtenerlo del software THERM el cual tiene la opción de visualizar las isotermas en la solución constructiva.

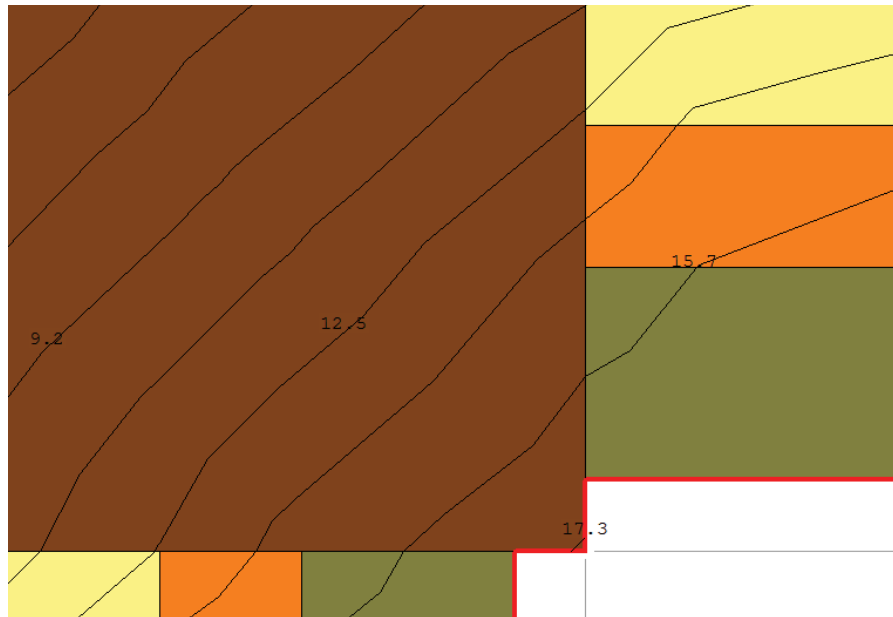


Figura 44. Isotherma en unión muro-pilar. Fuente: Elaboración propia.

Utilizando los valores descritos anteriormente sabemos que la temperatura interior de la vivienda es de 20°C y del exterior es de -4°C, además de los 17,3°C como se observa en la figura 44 en el puente térmico en cuestión, eso da un factor en la unión pilar-muro.

$$fR_{si} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = (17,3 - (-4)) / (20 - (-4)) = 0,88[-]$$

Este factor a medida que se aproxima a 1 quiere decir que la temperatura superficial del puente térmico es aproximado al valor interior, eliminando la posibilidad de condensaciones intersticiales, en cambio un valor cercano a 0 quiere decir que la

temperatura superficial interior es cercana a la temperatura exterior con lo que el riesgo de condensación es alto por no decir seguro.

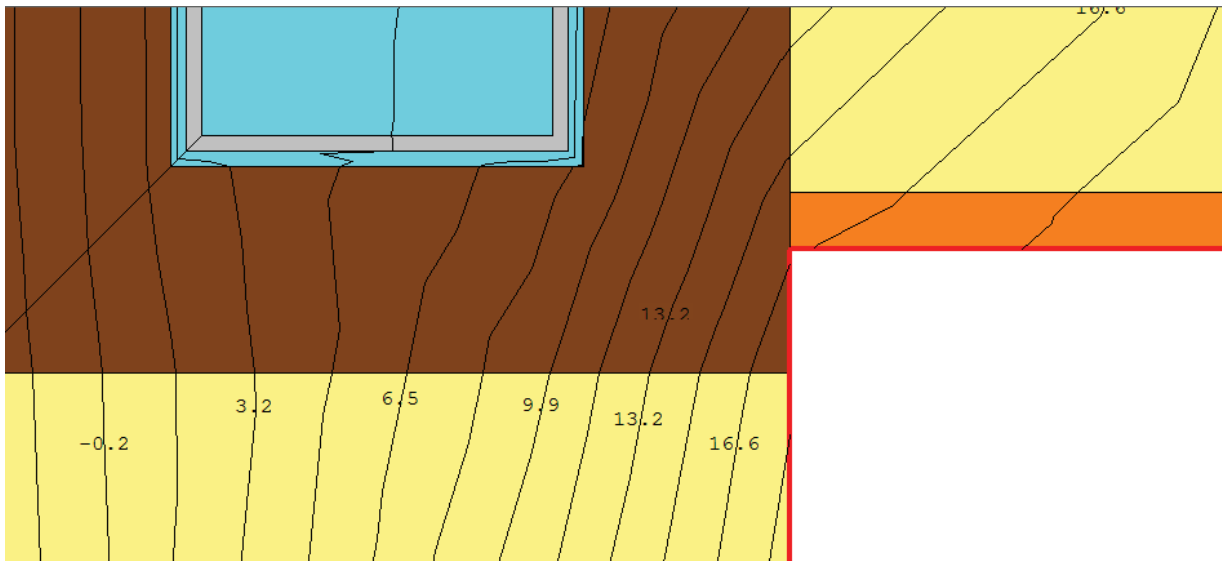


Figura 45. Isoterma en unión viga-losa. Fuente: Elaboración propia.

$$fR_{si} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = (16 - (-4)) / (20 - (-4)) = 0,83[-]$$

Falta aún calcular si es que las ventanas sufrirán condensaciones en el cristal o marco para lo cual se obtiene del cálculo de factor de temperatura.

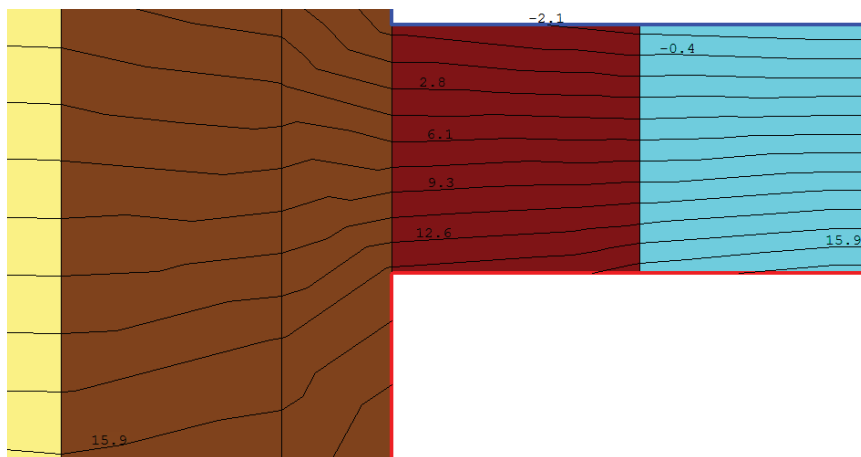


Figura 46. Isoterma en marco de ventana. Fuente: Elaboración propia.

$$fR_{si} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = (14,3 - (-4)) / (20 - (-4)) = 0,76[-]$$

Debido a que la calificación energética de vivienda (CEV) no contempla la humedad y/o condensación en alguno de sus factores, se realizarán comparaciones entre los valores obtenidos con los valores exigidos en la CTE (código técnico de edificación) de origen español del cual es la base del CEV se exigen valores de humedad relativa y factores de temperatura según el clima donde se emplaza la vivienda.

En el CTE, la vivienda se define con una clase de higrometría 3 ($h_r = 55\%$) el cual es una clase con baja producción de humedad. Y para el clima disponible en Santiago habla de un clima tipo C que corresponde a un clima templado - cálido. Según eso se definen los siguientes factores de temperatura (fR_{si}).

CATEGORÍA DEL ESPACIO	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Clase de higrometría 5	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Clase de higrometría 4	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

Tabla 9. Clase de higrometría según zona climática. Fuente: Tabla 3.2 del CTE

www.codigotecnico.org

4.4.5 Ventanas

Las ventanas poseen distintos desempeños en términos de energía según los distintos componentes que se elijan. Existen soluciones de ventanas para climas fríos y para climas cálidos, donde uno de los factores es el coeficiente de sombra (CS). Coeficiente de sombra es la capacidad del cristal para filtrar el calor producido por los rayos directos del sol, a medida que este coeficiente va disminuyendo su capacidad de filtrar es mayor. Para climas fríos se recomienda ventanas con valores de coeficiente de sombra alto, contrario es el caso de climas cálidos.

Además del coeficiente de sombra al igual que los otros componentes de la envolvente es importante el valor de transmitancia térmica donde el valor de U de una ventana depende de sus componentes (marco y cristal) y que cada uno de estos componentes solo posee un porcentaje del área total de la ventana. Donde los porcentajes de área del cristal suele ser entre 90 a 70% del área total y el marco entre un 10 a 30% del área total, este cálculo simplificado es sugerido por el “**Manual de calificación energética de vivienda**” del MINVU, antes de realizar el cálculo se mencionarán las distintas soluciones disponibles en el mercado, para seleccionar lo más adecuado.

4.4.5.1 Marcos de ventana

Existen en el mercado una serie de marcos disponibles en el mercado donde cada uno presenta ventajas y desventajas.

Marcos de aluminio

Una de las grandes ventajas de estos perfiles es que no se oxidan ni se decoloran con el tiempo, siendo además de menor espesor comparado con un marco de madera o PVC. Una de sus desventajas importantes es el valor de una transmitancia térmica mayor, existe una solución de este tipo que posee ruptura de puente térmico que ayuda a aminorar el valor de transmitancia térmica de la solución, donde se utiliza un mal conductor entre la cara interior y exterior reduciendo la transmisión del calor y se evita la condensación.

En el caso de los marcos de aluminio estos perfiles ocupan alrededor de un 16% de su superficie total de la ventana en el caso de una ventana piso-cielo y alrededor de un 22% en el caso de una ventana de antepecho.

Marcos de PVC

En el caso de los perfiles de PVC tienen valores de transmitancia cercanos a $2[W/m^2 \cdot K]$, con lo que poseen un comportamiento térmico mejor que un perfil de

aluminio, además estos perfiles no se ven afectados por condensaciones en la superficie, resistentes a la corrosión y estables a cambios de temperatura, es importante en este caso poseer perfiles de buena calidad ya que debido a que las ventanas no poseen refuerzos metálicos en sus perfiles pueden sufrir deformaciones con presiones inadecuadas y con el viento, con ello podrían aumentar las infiltraciones en las viviendas. En Chile actualmente existen dos tipos de perfiles de PVC, la solución americana y europea.



Figura 47. Perfil PVC Europeo (izquierda) y americano (derecha).Fuente: immerglass.cl

Existen ligeras diferencias entre uno y otro siendo la más importante el valor de la transmitancia térmica siendo en el caso americano un valor de $2,8[W/m^2 \cdot K^\circ]$ y $1,8[W/m^2 \cdot K^\circ]$ para el caso europeo con perfiles de tres cámaras.

	Perfiles					
	Aluminio			PVC		Madera
	Con RPT 12[mm]	Con RPT 4[mm]	Sin RPT	Americano	Europeo	
$U[W/m^2 \cdot K^\circ]$	3,2	4	5,7-5,8	2,8	1,8	2-2,2

Tabla 10.Valores de U de distintas soluciones. Fuente CDT

4.4.5.2 Vidrios

El cristal de la ventana es el de mayor influencia en el valor de transmitancia térmica de una ventana donde existen soluciones del tipo de vidrio monolítico, doble vidriado hermético (DVH) y Low-E.

Vidrio monolítico

Está formado por una sola lámina de vidrio, es posible encontrarlo tinteado o reflectivo para mejorar el coeficiente de sombra del cristal, esta solución es la **peor** disponible del mercado en términos de transmitancia térmica (**5,8[W/m²*°K]**).

Doble vidriado hermético

Este tipo de solución está compuesto por dos vidrios y una cámara hermética de aire entre ellos que los separa, se recomienda tener una separación de 12 [mm] para lograr un menor valor de transmitancia térmica. La hermeticidad de la cámara se logra debido a un sello perimetral que aísla la solución del exterior, existen ocasiones donde hay una combinación de cristales (cristal común y un low-E) y/o Argón, contenido en su cámara el cual ayuda a disminuir la transmisión de calor.

Solución	U [W/m²*°K]	Coef. De Sombra
Monolítico 6 [mm]	5,8	0,98
2 cristales comunes de 6 mm	2,8	0,81
Cristal Low-E de 6 mm y un cristal común de 6 mm	1,8	0,51
2 cristales comunes de 6 mm y gas Argón	1,8	-
Con un cristal Low-e de 6 mm, cristal común 6 mm y gas Argón	1,3	0,28

Tabla 11. Valores de transmitancia y CS de las soluciones. Fuente: Loipon S.A Multitec.

Accesorios de ventanas

Existen accesorios para lograr un correcto funcionamiento como los herrajes, perfilería de la ventana, instalación, sellos, juntas de dilatación y burletes.

Herrajes

Los herrajes son los mecanismos necesarios para el movimiento y funcionamiento de las ventanas, principalmente son de acero inoxidable para evitar problemas con humedad y corrosión de estos. Dentro de los herrajes existen los cierres unipuntos,

multipuntos y brazos. Los cierres tienen como función cerrar ventana contra el marco de la ventana el **cierre unipunto** como su nombre lo dice cierran en solo un punto siendo la solución menos adecuada para lograr una buena aislación térmica y acústica debido a que no hay un cierre hermético completo pudiendo producirse infiltraciones, sin embargo es la solución más utilizada en Chile debido a su bajo costo. El **cierre multipunto** son los que poseen más de un punto de cierre existen de dos y cuatro puntos de cierre, pueden ser verticales como también horizontales, estos producen una aislación mucho más eficiente que el cierre unipunto evitando infiltraciones.

Los **brazos** dentro de la ventana cumplen la función de soportar la hoja de la ventana, es importante que los brazos sean bien dimensionados para permitir un cierre hermético ya que si estos no pueden soportar el peso, con el tiempo la ventana puede quedar desnivelada produciéndose infiltraciones, como criterio general el brazo debe ser igual a $\frac{3}{4}$ de altura total del cristal para obtener un funcionamiento correcto, al igual que los cierres deben ser de acero inoxidable o aluminio para no sufrir con la corrosión.

Tipos de ventanas

En el mercado existen distintos tipos de ventanas que favorecen o no la estanqueidad de la vivienda, siendo la mejor solución la fija y la peor la ventana de corredera.

Ventana de corredera

Son las que poseen **menor estanqueidad**, aun así las de mayor aceptación en nuestro país, debido a su configuración se hace difícil cambiar por otra solución una vez instalada por lo que se recomienda tomar las siguientes medidas:

- Utilizar cierre multipunto por cada cristal instalado.

- Utilizar felpa en los encuentros entre cristales para mejorar la estanqueidad entre ellos.
- Utilizar burletes y sellos perimetrales en los encuentros de hoja.

Ventanas de abatir

Poseen una **buena estanqueidad** al usarse con los herrajes adecuados, se aconseja bisagras y cierres multipuntos. Si abren hacia afuera se deben usar limitadores de apertura para evitar daños por apertura repentina debido al viento.

Ventanas Proyectantes

Presenta muy buena estanqueidad, con un cierre a presión efectivo y fácil manejo. Es importante usar cierres multipuntos, además de brazos capaces de aguantar el peso del cristal.

Cuidados en la instalación de ventanas.

Antes de la instalación de una ventana se deben tomar en cuenta que el espacio perimetral hueco, llamado **vano** se encuentre con una cuadratura adecuada, para ello se miden las dos diagonales del vano donde irá la ventana, la diferencia de estas medidas no pueden mayor a 5 [mm] cuando las diagonales son mayores a 2 [m] y no pueden ser mayor a 3[mm] cuando son menores a 2[m]. Cuando existe un marco y premarco la holgura entre estos dos debe ser de 0-15[mm].

Además de verificar la cuadratura del vano, debe verificarse que los **plomos** estén adecuados ya que si alguno de sus lados verticales se encuentra desaplomado el marco puede no quedar bien anclado al muro, produciendo a futuro filtraciones de humedad siendo un problema grave en el caso de un marco de madera, además afecta a la estanqueidad de la ventana con lo que no funciona de manera correcta la aislación térmica y acústica.

Similar es el caso cuando la base del vano no está correctamente **nivelada** ocurrirán daños similares a los descritos anteriormente a esto se suma la posible acumulación de agua, es por esto que debe existir una pequeña pendiente hacia el exterior o algún tipo de desagüe para evitar este tipo de problemas, queda demás decir que la superficie del vano debe estar completamente seca para evitar problemas con los sellos exteriores pudiendo no quedar adherido al muro.

Como medida preventiva siempre se debe dejar una holgura entre el marco de la ventana y el vano, destinados absorber dilataciones y contracciones debido a los cambios de temperatura, esta holgura debe ser rellena con una junta capaz de absorber estos cambios dimensionales, generalmente es algún tipo de silicona.

Dentro de los sellos existen los **burletes** los cuales tienen como función generar de estanqueidad al aire y agua en ventanas y puertas, existen diversas formas para las distintas necesidades, debe ser elásticos, duros, resistentes al calor, rayos UV y ser tenaces a la deformación por compresión, deben estar presentes en todo el largo ya que si existe una discontinuidad se generan infiltraciones.

Condensación en ventanas

Las ventanas poseen una mayor transmitancia térmica que los muros de la envolvente, esto quiere decir que en algún momento (invierno por lo general) podrían encontrarse a menor temperatura que los muros o techumbres, con lo cual son susceptibles a la condensación superficial.

Este problema ocurre en la mayoría de las viviendas debido a que las actividades desarrolladas dentro de la vivienda, generan humedad en el interior y este aire con “humedad relativa” alta al encontrarse con el vidrio que está a menor temperatura, podría alcanzar la temperatura de rocío, condensando el vapor de agua contenido en el aire, esto genera humedad indeseada en la vivienda que al final generan patologías **como hongos y moho** o también humedeciendo el aislante térmico cuando es por el interior cambiando su transmitancia térmica.

Actualmente no hay soluciones externas para ventanas existentes para mejorar los valores de transmitancia térmica, por lo que existen soluciones como realizar ventilaciones cruzadas en los meses de invierno cuando se realizan actividades que liberan vapor como, duchas, planchados y secados de ropa, etc. Esta ventilación cruzada permite salir el vapor hacia el exterior y produce además una renovación del aire, en el caso de las ventanas simples se hace imposible evitar condensaciones por lo que se debe procurar que los orificios que se ubican en la parte inferior del marco no se encuentren tapados para la salida del agua condensada. Para evitar problemas de moho y hongos, se debe impedir el apozamiento de agua y asegurarse que el sello de las ventanas sea hermético. Es necesario definir la temperatura del punto de rocío para las condiciones más desfavorables, para este caso con una humedad relativa de 70% y 20°C dentro de la vivienda con 0°C en el ambiente exterior, para ello se utiliza la carta psicrométrica adjunto en el anexo 4 para calcular la temperatura de rocío, bajo estas condiciones la temperatura de rocío es de 14[°C], según el cálculo de puente térmico realizado que se encuentra graficado en la figura 45 con -4[°C] la temperatura en el borde del vidrio es de 14,3[°C], siempre considerando una temperatura en el interior de la vivienda de 20[°C].

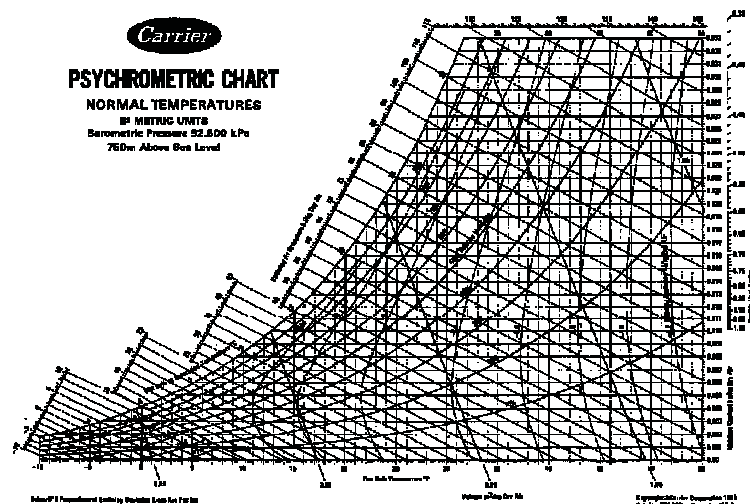


Figura 48. Carta psicrométrica. Fuente: Google.cl

Cálculo de transmitancia térmica de ventanas

La solución propuesta para este diseño será la de ventanas de DVH (termopanel), con marco de madera de pino insigne, para la fabricación práctica, los termopaneles contarán con dos medidas de ventana con dimensiones de 925 x 970 [mm] y los termopaneles más pequeños serán rectangulares y tendrán una dimensión de 325 x 970 [mm], como solución completa. El cristal utilizado será de la marca “Lirquen” modelo SGG Planitherm One II el cual ofrece las siguientes características según la **tabla 12**.

Vidrio de Alta Transmisión Luminica (Termopanel 6 / 12 / 6 mm.) con el revestimiento de acuerdo a standards NFRC 100

Vidrio Exterior	Apariencia	Posición Coating	Transm. Luminica TL(%)	Factor Solar g	Coef. Sombra	Reflex. Externa LR (%)	Reflex. Interna LR (%)	Valor K (w/m2/K) 12mm. Aire	Valor K (w/m2/K) 16mm. Argón	Valor U Btu (/h.ft2.F) 12mm. Aire	Valor U Btu (/h.ft2.F) 16mm. Argón
Planitherm Dual 0.9	Neutral	#3 #4	65	0.45	0.52	24	24	1.32	1.15	0.23	0.20
Planitherm Dual 1.0	Neutral	#3 #4	74	0.57	0.66	15	15	1.35	1.19	0.24	0.21
Planitherm One / Planitherm One II	Neutral	#3	71	0.49	0.57	22	23	1.62	1.40	0.29	0.25
Planitherm XN / Planitherm XN II	Neutral	#3	81	0.61	0.70	12	13	1.66	1.44	0.29	0.25
Planitherm XN Diamant/ Planitherm XN Diamant II	Extra Clear	#3	83	0.63	0.73	12	13	1.66	1.44	0.29	0.25
Planitherm 1.16 / Planitherm 1.16 II	Neutral	#3	78	0.61	0.70	12	12	1.70	1.49	0.30	0.26
Planitherm Total +	Neutral	#3	80	0.69	0.79	12	12	1.70	1.48	0.30	0.26
Planitherm 1.3 T	Neutral	#3	75	0.62	0.71	12	12	1.79	1.58	0.31	0.28

Four Seasons Low-E Glass (Termopanel 6 / 12 / 6 mm.)

Vidrio Exterior	Apariencia	Posición Coating	Transm. Luminica TL(%)	Factor Solar g	Coef. Sombra	Reflex. Externa LR (%)	Reflex. Interna LR (%)	Valor K (w/m2/K) 12mm. Aire	Valor K (w/m2/K) 16mm. Argón	Valor U Btu (/h.ft2.F) 12mm. Aire	Valor U Btu (/h.ft2.F) 16mm. Argón
Planistar Sun	Neutral	#2	71	0.35	0.40	14	15	1.63	1.41	0.29	0.25
Planitherm 4S II	Neutral	#2	65	0.40	0.46	27	24	1.62	1.40	0.29	0.25
Planitherm 4S EVO	Neutral	#2	60	0.37	0.42	22	26	1.62	1.40	0.29	0.25

Tabla 12. Características del cristal seleccionado. Fuente: Catálogo Lirquen.

Dentro de las principales características a destacar es la baja transmitancia térmica con aire o argón siendo **1,62 y 1,42** [W/m²*K°] respectivamente y un **factor solar de 0,49** el cual significa que la radiación solar incidente en el cristal solo ingresa el 49% tomando en cuenta la gran superficie acristalada, para prevenir sobrecalentamientos en verano con un coeficiente de sombra bajo este valor es obtenido diviendo por 0,87 que es la cantidad de luz que ingresa en un cristal de 3[mm] de espesor, debido a la

gran superficie acristalada en la fachada Norte es un valor adecuado para la solución propuesta.

Según la O.G.U.C art.110 se exige un porcentaje máximo de superficie respecto de la envolvente según la solución y el valor de transmitancia térmica del vidrio, según la zona térmica, en el caso de la zona térmica 3 se exige un porcentaje de un 25% máximo del área total de la envolvente, para el caso de un DVH se exige un máximo de un 60% en el caso que la solución posea un valor de transmitancia térmica entre 3,6 y 2,4[W/m²K°] y para valores menores a 2,4 [W/m²K°], se exige un máximo de 80%. Por ende se hace necesario calcular el área de muros de envolvente y de las ventanas para saber exactamente, cual es el porcentaje de cada uno.

Cada módulo de la vivienda posee un área de 7,808[m²] sin contar los pilares y vigas, las ventanas en su totalidad (marco y cristal) miden 1,82[m²] en el caso de la ventana grande y la ventana chica mide 0,433[m²] en su totalidad, existe otro módulo que posee un área de 3,9[m²] este módulo construido mide la mitad en comparación al otro pero posee la misma altura.

Nombre	Área total	Área Ventana	%
Vista Frontal	39,04	22,866	59%
Vista Poniente	46,848	11,36	24%
Vista Sur	39,04	6,238	16%
Vista Oriente	54,656	10,118	19%
Total	179,584	50,582	28%

Tabla 13. Porcentaje de ventanas respecto a la envolvente. Fuente: Elaboración Propia

El porcentaje calculado en la **tabla 13** con el valor total es un valor menor al exigido por la reglamentación térmica (figura 20).

Dónde:

$$U_{total} = U_g * P_g + U_f * P_f \quad (20)$$

U_g = transmitancia cristal **1,42[W/m²*K°]** U_f = transmitancia marco

P_g = Porcentaje de área de cristal P_f = Porcentaje de área de marco

$$U_f = 1/R_t$$

$$R_t = R_{si} + R_{se} + e_{mad}/\lambda_{mad} = 0,15 + 0,02 + (0,045/0,104) = 0,588[m^2*K^\circ/W]$$

$$U_f = 1,7[W/m^2*K^\circ]$$

$$P_g = 70\% \text{ y } P_f = 30\% \quad U_g = 1,42 [W/m^2*K^\circ] \quad U_f = 1,7[W/m^2*K^\circ]$$

Basándose en la NCh 853 sabemos que el conjunto de un termopanel (marco y cristal) y utilizando la **ecuación (10)** con un cálculo simplificado, propuesto por la calificación energética de vivienda nos da un valor de:

$$U_{total} = 1,504[W/m^2*K^\circ]$$

Otra forma de cálculo es mediante la norma “**ISO 10077-1**”, el cual define la transmitancia térmica de una ventana mediante, agregando los puentes térmicos de la instalación y el puente térmico del espaciador entre los dos cristales, explicitado en la siguiente fórmula.

$$U_{winstalado} = \frac{(U_g \times A_g) + (U_f \times A_f) + (\varphi_{espaciador} \times L_g) + (\varphi_{instalación} \times L_f)}{A_g + A_f} \quad (21)$$

Dónde:

- U_g = Transmitancia cristal en [W/m²*°K]
- A_g = Área cristal en [m²]
- U_f = Transmitancia marco en [W/m²*°K]
- A_f = Área marco en [m²]
- $\varphi_{espaciador}$ = coeficiente puente térmico espaciador en [W/m*°K]
- $\varphi_{instalación}$ = coeficiente puente térmico de instalación en [W/m*°K]
- L_g = longitud del borde del cristal en [m]

La única incógnita en este caso es el puente térmico de instalación que debe calcularse una vez más mediante el software “THERM”, especificando la instalación de la ventana (marco + cristal) simulando las condiciones ambientales que fueron definidas en el apartado de puentes térmicos, además se debe considerar que el cristal se sustituye con un panel aislante con una conductividad térmica de **0,035[W/m*K°]**, según la norma **UNE 10077-2** ya que se desea analizar el efecto del puente térmico de la instalación y no el efecto del espaciador con el cristal en la ventana instalada.

Dónde:

$$\begin{aligned}\varphi_{instalación} &= \dot{Q}_{2d} - \sum U_j \times l_j = U_{factor} \times l_{total} - U_{muro} \times l_{muro} - U_{p.aislante} \times l_{marco} = \\ &= 0,666[\text{W/m}^2\cdot\text{K}^\circ] \times 1,317[\text{m}] - 0,435[\text{W/m}^2\cdot\text{K}^\circ] \times 3,2[\text{m}] - 0,035[\text{W/m}^2\cdot\text{K}^\circ] \times 4,4[\text{m}] \\ &= -0,668[\text{W/m}\cdot\text{K}^\circ]\end{aligned}$$

El valor del puente térmico de instalación **negativo** quiere decir que las pérdidas por transmitancia térmica en la ventana son menores comparativamente con las pérdidas de calor producidas en el muro.

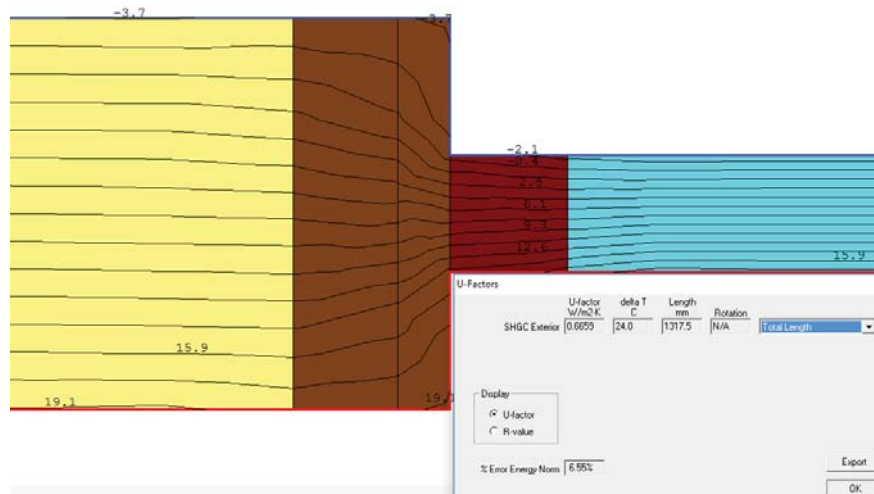


Figura 49. Simulación puente térmico ventana en Therm. Fuente: Elaboración propia.

Con lo que el valor U de la ventana se encuentra supeditado por U_g , U_f y $\phi_{\text{espaciador}}$.

$$U_{\text{winstalado}} = \frac{1,42[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^\circ] \times 0,91[\text{m}^2] + 1,7[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^\circ] \times 0,39[\text{m}^2] + 0,035[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^\circ] \times 3,88[\text{m}^2]}{1,3[\text{m}^2]}$$

$$= 1,61[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^\circ]$$

El valor calculado es un valor bastante aproximado con el procedimiento de cálculo simplificado en la calificación energética de vivienda propuesto por el MINVU, donde no se tienen en cuenta los puentes térmicos del espaciador y de la instalación en el primer caso, podría diferir más aún en el caso que el marco fuese de otro material, como por ejemplo aluminio el cual tiene un valor de conductividad mayor con lo que el puente térmico de instalación puede llegar a tener un valor significativo.

Ganancia solar por ventanas

Como mencionamos en un comienzo uno de los factores más importantes es la orientación de la casa, principalmente la fachada para optimizar las ganancias solares pasivas, siendo la disposición óptima una “fachada longitudinal” como está ilustrado en la **figura 50**.

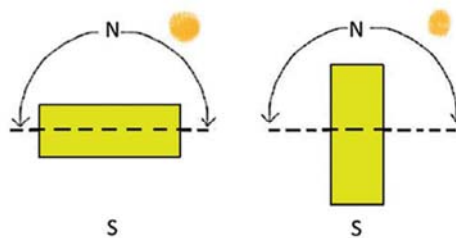


Figura 50. Fachada longitudinal (izquierda), fachada transversal (derecha). Fuente: CDT “Manual acondicionamiento térmico”.

Para verificar las ganancias solares se utilizarán, cálculos simplificados para realizando un balance energético en la ventana, agregando además factores tales como suciedad, radiación de no perpendicularidad, factores de sombra, etc. Estas ganancias solares tienen relación con la radiación que se transmite a través del vidrio

más una porción de la radiación absorbida que luego pasa al interior de la vivienda mediante convección, la figura 51 ilustra gráficamente lo mencionado.

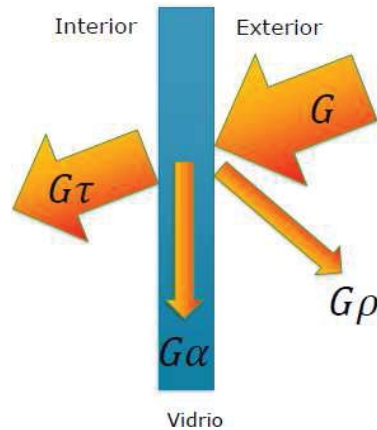


Figura 51. Esquema de radiación a través de un vidrio. Fuente: MINVU.cl

Dónde: G : radiación incidente sobre la ventana en $[W/m^2]$

$G\tau$: radiación solar que pasa a través del vidrio en $[W/m^2]$

$G\alpha$: radiación absorbida por el vidrio en $[W/m^2]$

$G\rho$: radiación reflejada por el vidrio en $[W/m^2]$

Hay que tomar en cuenta que la trayectoria del Sol varía según la época del año, aun así se sabe que la trayectoria siempre es de Este a Oeste donde en invierno el plano de la órbita del Sol es mucho más bajo, y en verano el Sol pasa más alto donde en invierno pasa mucho más bajo.

Para calcular las ganancias y pérdidas de una ventana tomaremos en cuenta la norma “**EN-ISO 13790**” referido al cálculo simplificado de pérdidas y ganancias de energía, para calcular la demanda de calefacción, mediante un balance térmico.

$$Q_s = A_g * U_w * f_t * G \quad (22)$$

Dónde:

Q_s = Ganancias solares de la ventana **[kWh]**

A_g = Área del cristal en $[m^2]$.

U_w = Transmitancia térmica de la ventana en $[W/m^2 \cdot K^\circ]$.

f_s = factor solar y otros factores que pueden afectar la radiación incidente (no perpendicularidad, suciedad, factor de sombra, etc).

G = Radiación incidente en la orientación correspondiente en $[kWh/m^2]$

$$Q_T = A_v * U_v * G_t \quad (23)$$

Donde:

Q_t = Pérdidas térmicas de la ventana en $[kWh]$

A_w = Area total de la ventana (cristal y marco) en $[m^2]$

G_t = Grados día del lugar en $[kKh]$

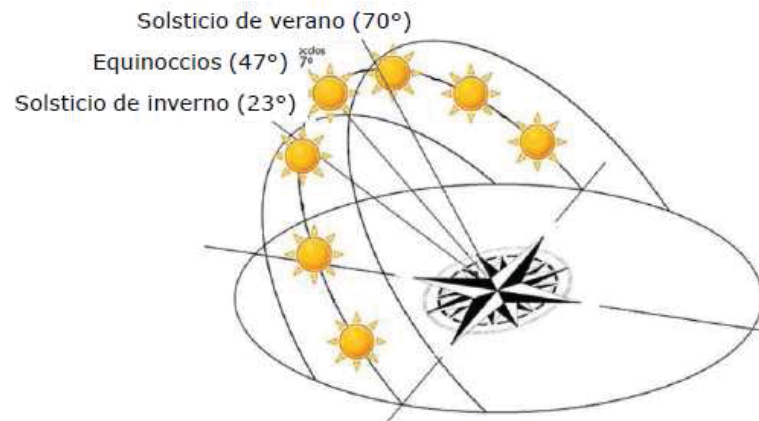


Figura 52. Trayectoria del Sol en invierno y verano. Fuente: Manual de calificación energética.

Primero hay que ordenar las ventanas según la orientación correspondiente añadiendo, la radiación solar incidente obtenida del registro solarimétrico elaborado por la UTFSM(Universidad Técnica Federico Santa María) en la dirección que corresponda además de factores considerados por cada una de las ventanas su valor de transmitancia térmica si el total del balance térmico arroja un valor negativo

indica que hay ganancias en la ventana y un valor positivo indica que hay pérdidas por lo que habría que calefaccionar la vivienda, en este balance **no** se toma en cuenta la refrigeración ya que no se utilizará refrigeración activa en la vivienda, si existiesen índices de sobrecalentamiento se utilizará ventilación natural.

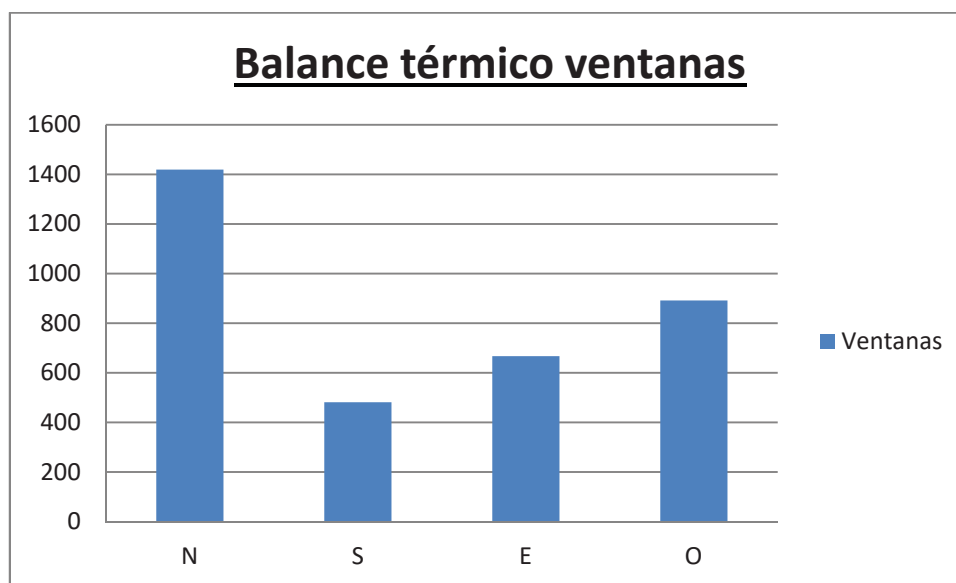


Figura 53. Balance térmico de ventanas en las distintas orientaciones. Fuente: Elaboración propia.

Este balance térmico que muestra la figura 53 toma en cuenta una radiación solar promedio de los seis meses más fríos en el año y otra serie de factores que afectan las ganancias solares tales como la no perpendicularidad de la ventana respecto a la radiación, ensuciamiento, y un factor de sombreamiento adicional que afecta a las ventanas desde la V1 a la V13 en orientación **Norte** puesto que se ven afectadas por sombras proyectadas en el alero de la vivienda, además del factor solar del cristal el cual la función de este factor es evitar sobrecalentamientos en verano, además del sombreamiento generado por arboledas en el lado poniente de la vivienda y en el lado Sur.

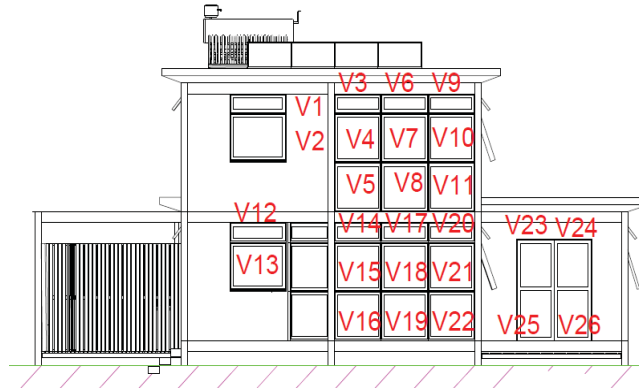


Figura 54. Esquema de ventanas en orientación Norte. Fuente: Elaboración propia.

El valor total obtenido en la orientación Sur es mayor que las ventanas que poseen una orientación Norte debido a que las ganancias solares son mucho menores ya que la orientación no es la óptima, es por ello que las ventanas en esta dirección deben ser las menores posibles y así minimizar las pérdidas de calor en la vivienda.

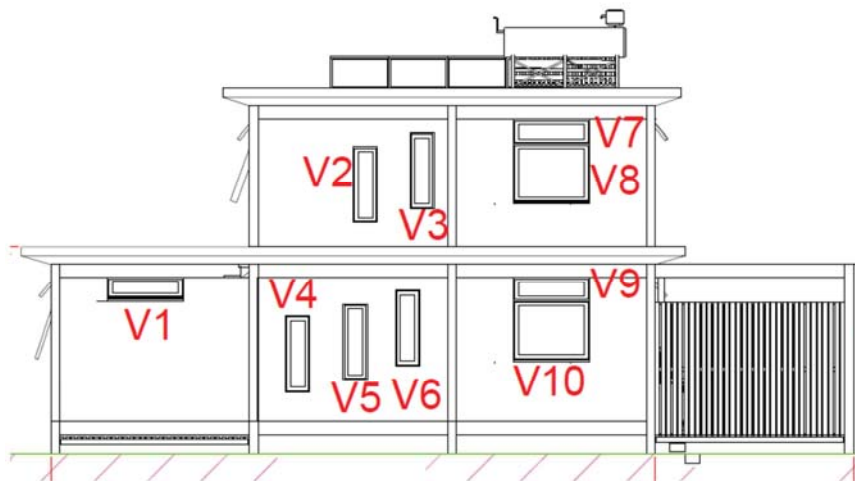


Figura 55. Esquema ventanas orientación Sur. Fuente: Elaboración propia.

Ya que las puertas de acceso principal y lateral están configuradas del mismo modo que las ventanas DVH (cristal y marco) son consideradas ventanas puesto que poseen ganancia solar a diferencia de una puerta común y corriente, que al ser opacas no permiten el paso de la luz y la radiación solar.

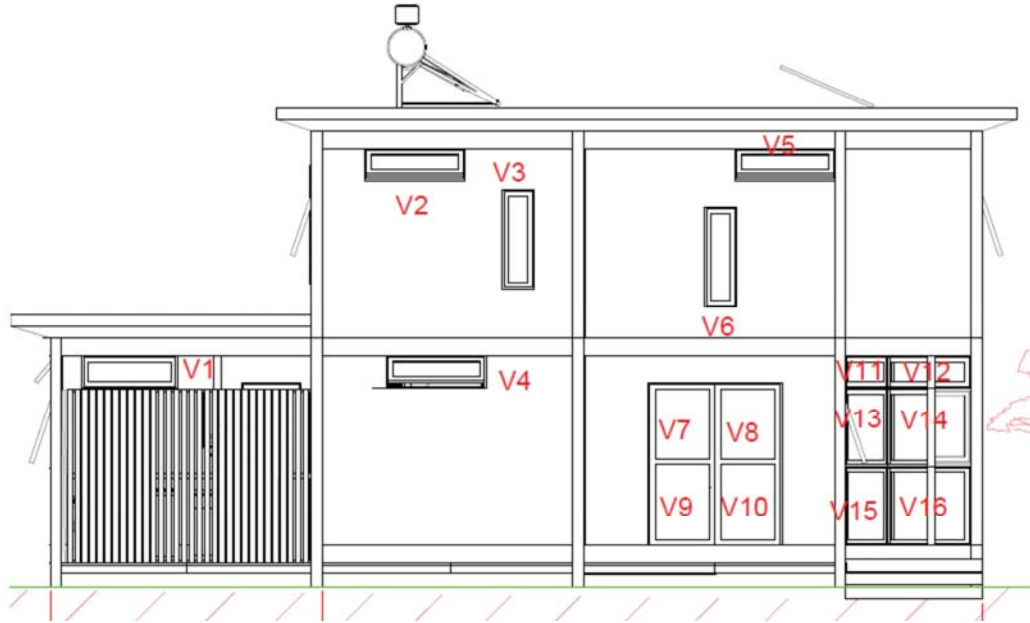


Figura 56. Esquema ventanas orientación oriente. Fuente: Elaboración propia

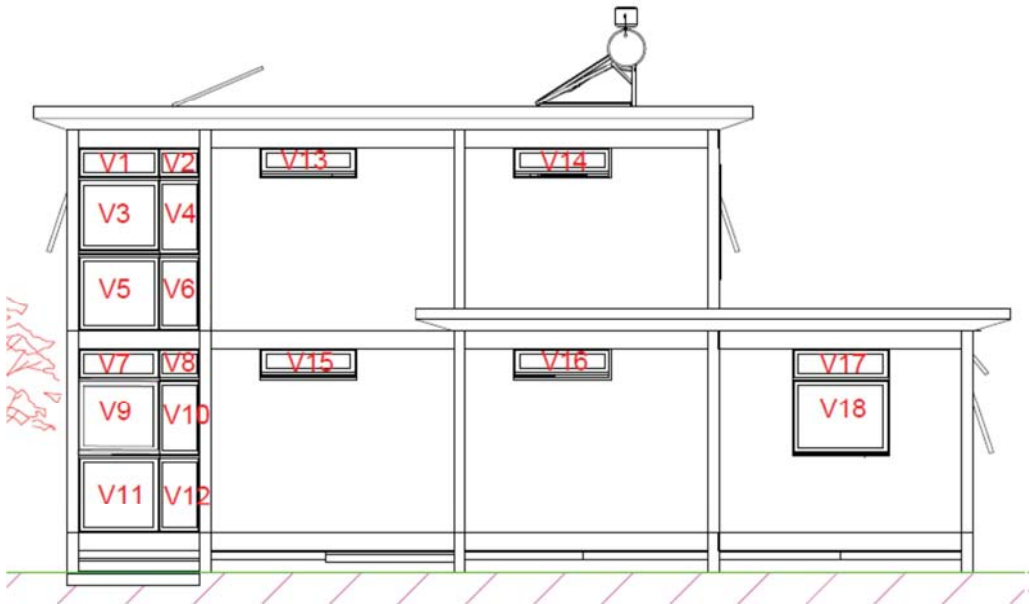


Figura 57. Esquema ventanas orientación poniente. Fuente: Elaboración propia.

Según el balance térmico de cada de una de las ventanas en las orientaciones correspondientes existe una pérdida de calor por lo cual se hace necesario

suministrar calor mediante sistemas de calefacción, el valor total se debe dividir por la superficie habitable de la vivienda a calefaccionar (superficie de referencia), en este caso la cocina se considera una superficie habitable donde se utiliza el concepto de cocina abierta, por lo tanto la superficie de referencia a calefaccionar es en total 122,88[m²], si se suman todos los balances y se divide por la superficie de referencia nos da un valor característico de **28,14[kWh/m²*año]**.

Pérdidas por ventilación de la vivienda e infiltraciones

Existen pérdidas asociadas a la ventilación y las infiltraciones que afectan directamente las condiciones dentro de la vivienda. Las infiltraciones generalmente ocurren en las ventanas entre el marco y el muro, a pesar del uso de sellos de silicona el desgaste termina por provocar infiltraciones, además existen infiltraciones en las puertas, desagües que atraviesan el piso, cañerías, etc.

En viviendas tradicionales se sabe empíricamente que existe una renovación de 1 a 1,5 renovaciones por hora el volumen de referencia. Si la altura entre el piso y cielo es de 2,4[m] y la superficie a calefaccionar es de 122,88[m²].

$$V_{\text{referencia}} = 122,88[\text{m}^2] * 2,4[\text{m}] = 294,912[\text{m}^3].$$

Utilizando ecuación 13: $Q_v = 294,912[\text{m}^3] * 1,0[1/\text{h}] * 0,33[\text{Wh}/\text{m}^3\text{K}^\circ] * 49[\text{kKh}]$

$$Q_v = 4.768,72[\text{kWh}]$$

A pesar de todo siempre es necesario ventilar la vivienda, para la eliminación de exceso de humedad en el ambiente, ahora para una mayor eficiencia es necesario controlar la ventilación e infiltraciones, las infiltraciones son ventilaciones no deseadas las cuales no es posible controlar y dependen principalmente de la calidad de la construcción, resolver de manera adecuada los encuentros se hace prioritario ya sea entre los muros, ventanas y cielos. Hoy en día para una ventilación adecuada existen una serie productos ya que si bien se puede ventilar la vivienda mediante la apertura de las ventanas se puede realizar también con accesorios de ventilación de

muro tomando en cuenta que es posible utilizar filtros dentro de este accesorio como se ve en la **figura 58**, es posible filtrar las partículas producto del smog, como las $mp_{2,5}$ y mp_{10} .



Figura 58. Accesorio para ventilación de muro con filtro incorporado. Fuente: www.jonas.cl.

4.5 Fenómeno de sobrecalentamiento asociado a la vivienda.

Existe un concepto aún no mencionado que es necesario destacar que es el concepto de **inercia térmica**. Este concepto está asociado a la masa que posee la vivienda ya que la idea principal en este caso es la de almacenar la energía captada durante el día y cederla con retardo en la noche. En la **figura 59** se configura una vivienda con inercia térmica pero sin aislación exterior, si bien existe una diferencia mínima de temperatura entre el interior y el exterior se observa cierto retardo en alcanzar la temperatura debido a la inercia térmica. En la **figura 60** se observa una

temperatura interior mucho más estable debido a la configuración de la vivienda con aislante en el exterior, esto quiere decir que a pesar de existir inercia térmica no garantiza una temperatura de confort en el interior. La inercia térmica permite amortiguar los cambios de temperatura entre el día y la noche, donde una de las formas de almacenar es poseer una gran masa para almacenar calor y luego cederlo cuando sea necesario, junto con utilizar materiales que posean gran masa se recomienda un aislamiento por el exterior garantizando una continuidad, esto permite que en el invierno la vivienda calefaccionada durante el día libere calor al interior durante la noche, el aislante impide el paso de calor desde el interior de la vivienda hacia el exterior, distinto es el caso del verano donde el aislante impide el paso de calor hacia el interior de la vivienda durante el día y se libere energía durante la noche, sin embargo depende de cada caso y el uso que se le dé a la vivienda, donde existen casos que se hace uso de la vivienda las 24 horas al día y otros casos donde se hace uso en horarios establecidos, en el primer caso existe un beneficio donde se necesita mantener una temperatura de confort el día completo por lo que una gran inercia térmica conlleva un beneficio de confort y menor gasto de energía. En el segundo caso se debe tener una vivienda con la menor inercia térmica posible donde en la mayoría de los casos el uso es durante la noche se busca alcanzar la temperatura de confort no importando las horas anteriores a esta y exista una temperatura no confortable. Otro sistema capaz de combatir el sobrecalentamiento en las viviendas de construcción liviano es un intercambiador de calor con recuperador el cual posee la principal función de precalentar en invierno y de preenfriar en verano, asegurando una temperatura de confort durante todo el año, además posee la ventaja de controlar de mejor manera las renovaciones de aire reduciendo el monóxido de carbono y filtrar el aire evitando partículas de smog y polvo, este recuperador es muy utilizado en el estándar Passivhaus siendo prácticamente obligatorio tomando en cuenta la alta hermeticidad de la vivienda.

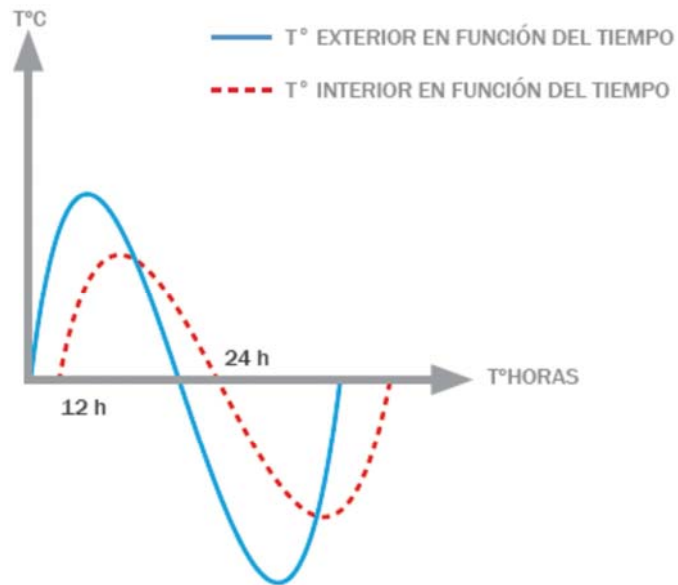


Figura 59. Vivienda con inercia térmica sin aislación exterior. Fuente: Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso CDT.

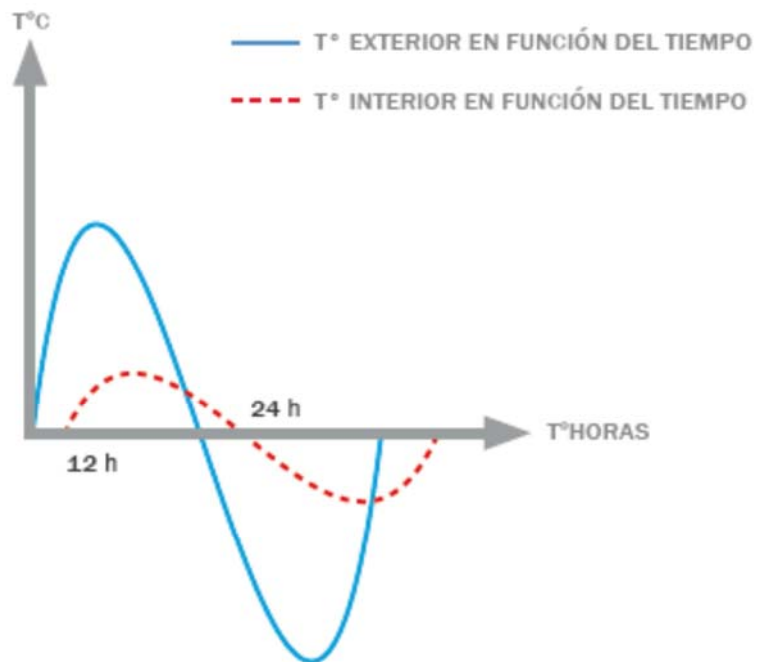


Figura 60. Vivienda con inercia térmica y aislación exterior. Fuente: Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso. CDT

Debido a que la construcción de esta vivienda está compuesta por paneles de madera con aislación en su interior estamos en presencia de una vivienda de construcción **liviana**, por lo cual se necesitan una serie de soluciones constructivas para suplir la falta de inercia térmica para aminorar el efecto de sobrecalentamiento en verano.

Alero

El alero debe cumplir la función de proteger a la vivienda para que no sufra sobrecalentamiento en el período de verano y también no bloquear el Sol en épocas de invierno, además de proteger la vivienda de las aguas lluvias y evitar posibles filtraciones entre la unión de techumbre y muro.

Para poder dimensionar el alero sabemos que el día 21 de Diciembre de cada año el Sol se encuentra en la parte más alta en dirección Norte en el hemisferio Sur, para ello se dispone de una planilla Excel capaz de dimensionar correctamente el alero tomando como base la cantidad de días que uno requiere que entre la luz, ángulo del alero, altura del muro y la latitud.

Mediante una planilla Excel diseñada por la web **permacultura Somontano** (<https://enronados.wordpress.com/2013/07/25/calculo-de-aleros/>) calcula la dimensión del alero introduciendo los datos mencionados en la figura 61.

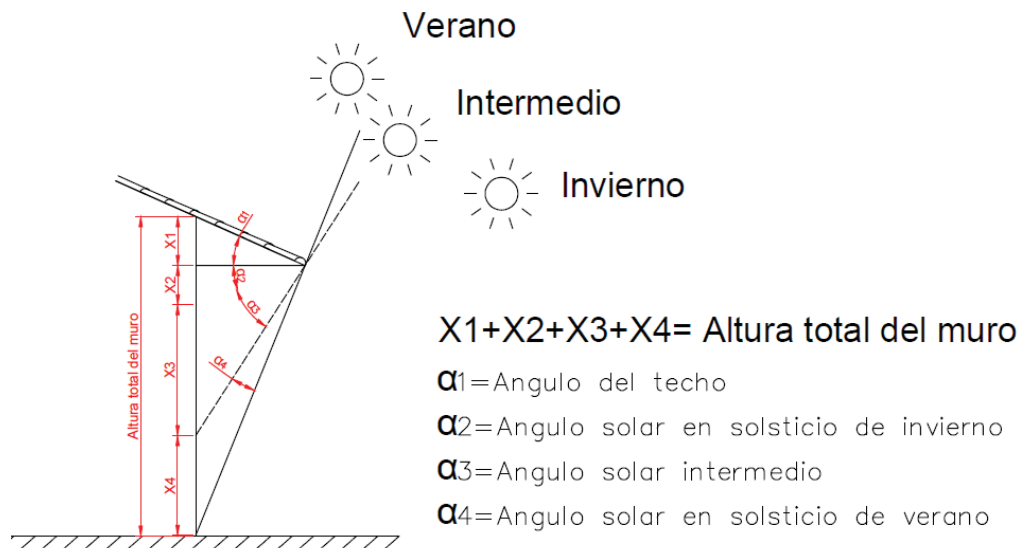


Figura 61. Esquema de alero en vivienda. Fuente: permacultura Somontano.

Datos:

- Latitud: 33° Sur.
- Ángulo del techo: 5°.
- Solsticio de Verano: 21 de Diciembre.
- Solsticio de Invierno 21 de Junio.
- Cantidad de días que no debe entrar la radiación solar, introduciendo la fecha.

Con estos datos, la longitud horizontal del alero que calcula la planilla Excel tomando en cuenta los días de Sol disponibles, arroja un resultado de 92,3[cm] en longitud horizontal y de 92,7[cm] en longitud inclinada, además arroja una superficie que estará siempre bajo la sombra que es de 60[cm] ($x_1 + x_2$), desde que empieza el muro en la superficie acristalada.

Fachada Ventilada

La fachada ventilada está asociada a una cámara de aire generada entre el revestimiento exterior y el cerramiento de la vivienda (muros perimetrales), donde se genera una ventilación continua de en el interior de la cámara de aire, esto hace

posible mejorar las características térmicas de la edificación y una serie de ventajas que se nombran a continuación.

- **Eliminación de humedad:** El revestimiento exterior distanciado del cerramiento logra que la lluvia no entre en contacto con el muro, con una ventilación continua seca rápidamente las paredes, evitando que la humedad penetre la vivienda.
- **Aislamiento térmico:** La irradiación solar calienta el revestimiento externo que transmite a su vez a la cámara de aire, logrando que la irradiación que llega al muro perimetral es bastante menor que en el caso de no existir una fachada ventilada. En invierno el caso es distinto debido a que el cerramiento posee este revestimiento que aumenta la resistencia térmica de la solución mejorando la aislación térmica.
- **Aislamiento acústico:** El revestimiento exterior crea una barrera a las ondas sonoras además de poseer juntas abiertas entre cada siding logrando romper con las ondas sonoras reduciendo la energía acústica que llega al muro perimetral.

Para que pueda ser considerada una fachada ventilada debe existir una separación de al menos 3 cm del muro de la envolvente.

Árboles de hoja caduca.

Estos árboles poseen la característica de mantener sus hojas durante los meses de verano, donde pueden generar sombra sobre la vivienda, mitigando el sobrecalentamiento, y en la temporada de invierno pierde sus hojas para dar paso a la radiación solar, en la planilla de PHPP (software Passivhauss) se le asigna alrededor de un 12-20% de factor de sombra por árboles de hoja caduca.



Figura 62. Árbol de hoja caduca típico. Fuente:www.google.cl

Demanda de calefacción en la vivienda.

Una vez que se calculan todas las pérdidas por la envolvente de la vivienda (muro, techumbre y piso), además de las ventanas e infiltraciones, es posible dimensionar el equipo de calefacción, se selecciona principalmente según su potencia térmica.

Nombre	U [W/m ² *K°]	Superficie [m ²]	Energía [kWh]	Energía [kWh/m ² *año]
Muro Oriente	0,435	31,72	662,31	5,39
Muro Poniente	0,435	34,49	720,15	5,86
Muro Sur	0,435	31,63	660,43	5,37
Muro Norte	0,435	15,413	321,82	2,62
Techumbre	0,234	126,16	1417,03	11,53
Piso	0,341	71,68	1173,26	9,55
Ventanas	1,61	56,46	2548,08	28,14
Infiltración	-	122,88	4768,72	38,81
Ganancias Internas	-	-	1130,25	-9,198
			Total	98,07

Tabla 14. Energía expresada por m² necesaria para calefacción. Fuente: Elaboración propia

Según la norma EN-13790 las ganancias internas de calor debido a la radiación emitida por las personas y artefactos dentro de la vivienda es de 2,1[W/m²], tomando como referencia la superficie de la vivienda a calefaccionar (**122,88[m²]**) y las horas de uso (alrededor de 4.380[hrs]) nos da como resultados ganancias internas de 1.130[kWh/año], este valor como la energía que necesita la vivienda para

calefaccionar se deja expresada por los m^2 . El resultado de **98,07[kWh/m²*año]** es la demanda para calefaccionar la vivienda durante los 6 meses más fríos, donde se emplazaría la vivienda. Este valor nos permite dimensionar el equipo de calefacción y el consumo de energía primaria de la vivienda, en términos de calefacción, iluminación y electrodomésticos. La demanda de potencia térmica para la calefacción de la vivienda se obtiene de la demanda total por el total de horas lo que nos da una potencia térmica de **2,75[kW]**, con este valor es posible seleccionar un equipo de calefacción. Una opción válida es la de un sistema de calefacción central mediante bomba de calor o caldera, pero este tipo de sistemas encarece la construcción de la vivienda lo cual la familia que va a habitar la vivienda puede utilizar uno o dos calefactores autocontenidos que pueden ser, por ejemplo de la marca “Toyotomi”, de preferencia eléctrico para no producir un aumento en la humedad del interior de la vivienda como es el caso cuando se utilizan combustibles como el kerosene y no existen evacuación de gases al exterior aportando humedad al interior debido al proceso de combustión. Otra opción más eficiente es la de bombas de calor tipo “splitter”, que poseen un COP de invierno generalmente de 2,5[-].

4.6 Análisis estructural de la vivienda.

Un factor importante para la vivienda es un diseño estructural adecuado tal que sea capaz de soportar cargas sísmicas, de viento, lluvias, etc. Para lo cual es importante cumplir con las normas chilenas correspondientes, en el caso de esta vivienda en particular se tomó en cuenta una intervención mínima del terreno (fundación en base a poyos), sin necesidad de uso de retroexcavadoras como sería en el caso de realizar una fundación con cimientos corridos, disminuyendo de alguna manera los costos asociados a las fundaciones.

Fundación en base a pilotes

La función principal de esta fundación es soportar y transmitir los esfuerzos hacia el suelo además de fijar la estructura y aislarla de la humedad, generalmente se

construye en condiciones de terreno con grandes pendientes y/o desniveles además de ser una solución más económica que otras posibilidades, estas fundaciones son utilizadas generalmente en estructuras de madera o metal.

Debido a que la vivienda se encuentra estructurada en madera y material liviano para este tipo de solución se suelen usar fundaciones simples y económicas ya que estamos en presencia de una vivienda con bajo peso en relación a una vivienda construida de albañilería por ejemplo.

Para este tipo de fundaciones existen las siguientes recomendaciones:

Profundidad: 60-80 [cm]

Ancho: 40 x 40 [cm]

Dosificación: 170[kg] x m³

Dentro de los principales elementos de esta solución se encuentran las vigas maestras, secundarias, pilotes y poyos de fundación.

Vigas maestras: Son las vigas de mayor envergadura generalmente son de 2" x 8" o 3" x 6" las cuales su función es la de distribuir las cargas a los pilotes y fundaciones, en este caso se utilizan de las dimensiones descritas en la figura 68.

Vigas Secundarias: Generalmente son de dimensiones de 2 x 6" o 2 x 4" las cuales se ubican perpendiculares a las vigas maestras y están distanciadas entre 40 – 60[cm] y su función es la de soportar la base del entablado de piso.

Fundaciones: Se utiliza en construcciones en base a madera, además de economizar en gastos de hormigón, además sirven como solución a terrenos con pendientes con la ventaja de obtener pisos ventilados, además de recibir las cargas de los pilotes se debe realizar un correcto emplantillado para que las fundaciones no sufran problemas por humedad del suelo.

Pilotes: Son los encargados de transmitir las cargas a las fundaciones y entregar horizontalidad a las vigas maestras impidiendo su torsión, estos pueden ser de madera, acero u hormigón, generalmente son de sección circular

Diagonales: Elementos que permiten mantener unida la estructura tanto verticalmente como horizontalmente, evitando el volcamiento de la estructura. Pueden ser de madera, acero u hormigón con una sección cuadrada, rectangular o circular.

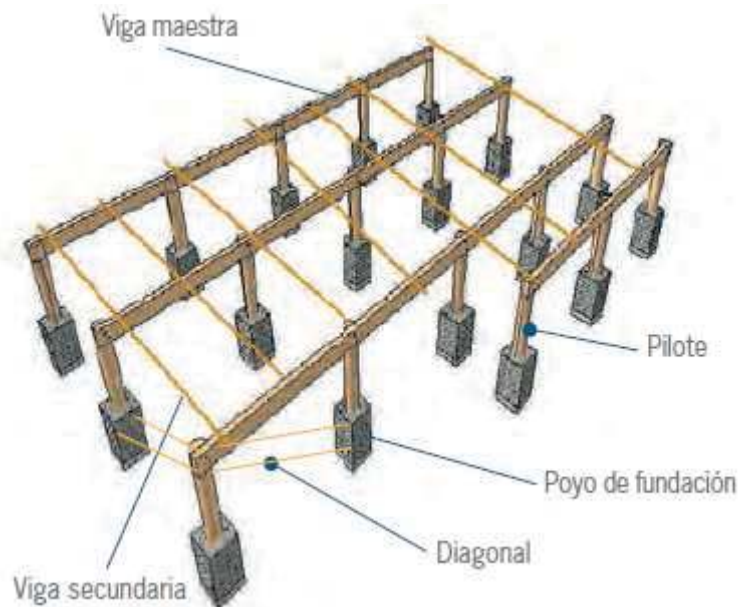


Figura 63.Elementos de una fundación sobre pilotes. Fuente: “Manual de construcción LP”

Inicio de construcción de la vivienda

Para el inicio de la construcción se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Tipo de suelo
- Pendiente
- Características de las cargas
- Cota de nivel freático

- Capacidad del soporte de suelo

Para comenzar la construcción se debe contar con los planos de ubicación de los pilotes en el terreno en los planos de fundaciones además de especificar el ancho y profundidad de las fundaciones. Luego de verificar los factores mencionados anteriormente se debe efectuar un chequeo de las dimensiones (anchos y profundidades) de las fundaciones para la instalación de las fundaciones, como la nivelación también y el sello.

Para comenzar en base al plano de fundaciones se procede a trazar los diferentes ejes sobre niveletas el cual consiste en un listón horizontal y uno vertical de apoyo lo que permite a modo global poner en línea un punto intermedio con relación a los extremos, para ello son necesarios a lo menos tres para efectuar una efectiva nivelación.

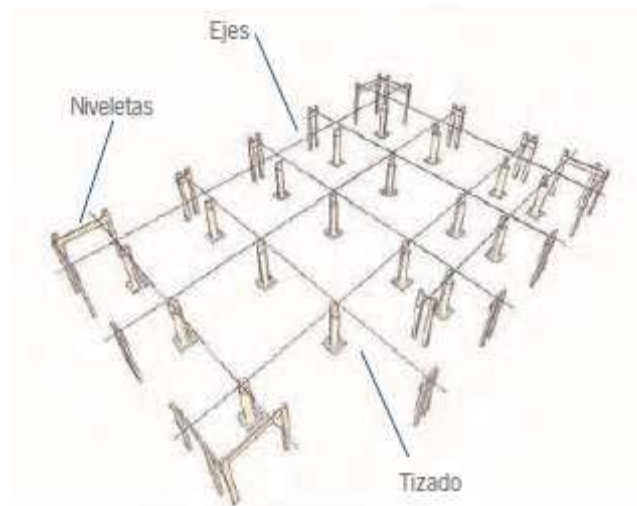


Figura 64. Esquema de referencia de procedimiento de trazado. Fuente: Manual de construcción LP.

Una vez marcado los ejes en las niveletas se unen los puntos de intersección el cual con un plomo se proyecta la intersección el cual es el centro de la fundación, posteriormente se trazan las fundaciones en función de este centro. Luego se

procede a realizar la excavación manualmente hasta encontrar terreno apto para colocar el sello de excavación.

Como el terreno posee gran cantidad de humedad, para evitar que las fundaciones se debiliten o sufran problemas de fraguado por falta de agua, se prepara colocando una capa de hormigón pobre de 5 [cm] de espesor en el fondo de la excavación llamado **emplantillado**, el que evitará este tipo de problemas. En paralelo a este trabajo se realiza las preparaciones de los pilotes con las secciones previamente calculadas y los largos capaces de suplir la diferencia de niveles del terreno, además del uso de fierro de 5 [mm] y a lo menos de 35[cm] de largo, lo que permite anclar el pilote al poyo de hormigón del cimiento.

Luego el emplantillado se procede a colocar los pilotes en la excavación asegurándose que se encuentran en línea con su respectiva lienza además de nivelarlo correctamente, se asegura mediante arriostramiento para evitar fenómenos de volcamiento. Una vez en su posición definitiva se procede al hormigonado de la fundación verificando nuevamente su nivel y plomo, ya que posteriormente no será posible corregir alguna posición, una vez hormigonadas las fundaciones se espera que fragüe a lo menos 48 horas.

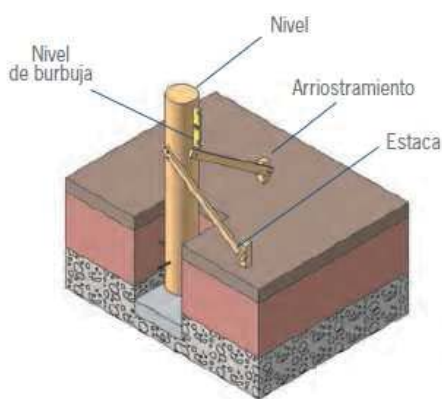


Figura 65. Esquema de pilote asegurado mediante arriostramiento. Fuente: “Manual de construcción LP”.

En el caso de esta vivienda en particular se utilizará un sistema de vigas y pilares donde una de complicaciones principales es la de conexión entre los distintos elementos, es por esto que la solución propuesta será de herrajes de diversas formas dependiendo de la conexión y la ubicación del pilar y/o viga donde la forma de unirlos será mediante placas de conexión metálicas. Una de las ventajas de este tipo de construcción es de materialidad liviana en comparación a una de hormigón llegando a ser **cinco veces** más liviana que una vivienda tradicional, esto permite que las fundaciones sean menores debido a que la aceleración producida por los sismos es proporcional a la masa siendo menos riesgosa en caso de terremoto o sismo que una vivienda tradicional de albañilería u hormigón armado. En primer lugar debemos saber la clasificación según la ordenanza de la vivienda la cual pertenece a una clasificación del tipo **H**. Se define como una construcción prefabricada de madera, con paneles de madera, yeso-cartón, fibrocemento o similares.

Se consideran dos tipos de cargas en la vivienda cargas permanentes y cargas eventuales en el caso de las cargas permanentes son debido al propio peso de la vivienda y sobrecargas, para cargas eventuales se consideran cargas debido a sismos, vientos e impacto. Hay que considerar que en el sector de la comunidad ecológica (precordillera) se cuenta con un suelo de características de roca blanda definidas en la O.G.U.C. con una presión admisible de **9[kg/cm²]** en las fundaciones. Para una vivienda unifamiliar se considera el peso propio de la vivienda más sobrecargas que vienen dadas por el techo y el piso. En este caso específico debido a que el techo puede ser utilizado como terraza, la sobrecarga en el techo es de **250[kg/m²]** y en el piso de **200[kg/m²]**.

Las vigas y pilares son fabricadas con madera estructural de pino radiata que poseen distintas características mecánicas asociadas a un grado estructural según la norma NCh 1198 y según el porcentaje de humedad de la madera, que en este caso serán fabricadas con **madera seca aserrada** (humedad relativa menor o igual al 12%)

durante su construcción y servicio, por lo que las tensiones admisibles y módulos de elasticidad se consideran en estado seco, como se ve en la figura 66.

Item	Condición de humedad de la madera		Condición considerada para la madera en la determinación de su(s)	
	Durante la construcción	En servicio	Tensiones admisibles	Módulo de elasticidad
1	$H_c \geq 20\%$	$H_s \geq 20\%$	Verde	Verde
2	$H_c \geq 20\%$	$H_s \leq 12\%$	Seca ($H = 12\%$)	Seca ($H = 12\%$)
3	$H_c \leq 12\%$	$H_s \leq 12\%$	Seca ($H = 12\%$)	Seca ($H = 12\%$)
4	$H_c \leq 12\%$	$H_s \geq 20\%$	Verde	Seca ($H = 12\%$)
NOTA - Para valores intermedios considerar 5.2.8. H_c : humedad de construcción. H_s : humedad de servicio.				

Figura 66. Humedad de la madera y consideraciones de su resistencia. Fuente: NCh 1198

Una clasificación en la norma NCh 1989 indica que la madera del tipo pino radiata posee una clasificación distinta a las otras especies, enfocado con una mayor atención debido a que el pino radiata es ampliamente utilizado en el sector de construcción, donde existe una clasificación visual y una clasificación mecánica.

Esta clasificación mecánica nos da unos valores más certeros con los cuales podemos trabajar ya que la madera se somete a ensayos mecánicos, en cambio la clasificación visual es una clasificación que toma en cuenta los defectos como nudos, inclinación de la fibra, arista faltante, alabeos, bolsillos de resina, existiendo una correlación de estos defectos con la resistencia mecánica de la madera. En el mercado nacional es usado ampliamente la clasificación visual.

- **Tensión admisible de flexión: 76 [kg/cm²]**
- **Tensión admisible de compresión: 76[kg/cm²]**
- **Módulo de elasticidad en flexión: 102.000[kg/cm²]**

Grado estructural	Tensiones admisibles de					Módulo de elasticidad en flexión $E_f^{2)}$	Índice de aplastamiento en compresión normal $E_{cn,h}$ (MPa/mm)
	Flexión ¹⁾ F_f	Compresión paralela F_{cp}	Tracción paralela ¹⁾ F_{tp}	Compresión normal F_{cn}	Cizalle F_{cz}		
a) Visuales							
GS	11,0	8,5	6,0	2,5	1,1	10 500	5,65
G1	7,5	7,5	5,0	2,5	1,1	10 000	
G1 y mejor	9,5	7,8	5,5	2,5	1,1	10 100	
G2	5,4	6,5	4,0	2,5	1,1	8 900	
b) Mecánicos							
C24	9,3	8,0	4,7	2,5	1,1	10 200	5,65
C16	5,2	7,5	3,5	2,5	1,1	7 900	
1) Valores aplicables sobre piezas de altura de sección transversal 90 mm.							
2) Valores aplicables sobre piezas de altura de sección transversal ≥ 180 mm. El módulo de elasticidad característico inherente al percentil del 5%, E_{fk} , se puede estimar como $0,60 E_f$.							

Figura 67. Clase estructural y propiedades mecánicas de la madera. Fuente: NCh 1198.

Las vigas y pilares que serán los encargados de transmitir las cargas verticales a las fundaciones poseen las siguientes dimensiones:

Vigas: 270 x 160 x 3200 (mm)

Pilares: 160 x 160 x 2400 (mm)

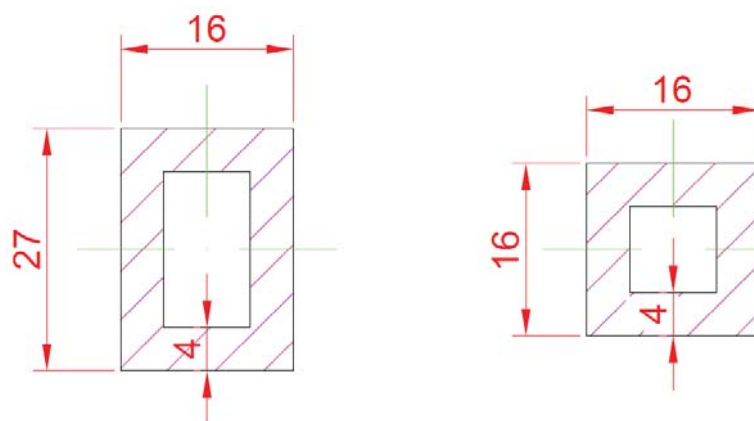


Figura 68. Viga y pilar en sección (cotas en cms). Fuente: Elaboración propia.

Estos pilares son fabricados de manera laminada en pino radiata mediante clavos helicoidales de 4" y cola industrial especial para uso en exterior y poder soportar altas cargas. Además se toma en cuenta las vigas secundarias con un separación de 400[mm] a lo largo del panel el cual tiene una dimensión de 3.200[mm], cabe destacar que el cálculo será de manera simplificada ya que el objetivo de este estudio no es analizar en detalle el comportamiento de la madera frente a sismos, vientos y sobrecargas.

Dentro del peso propio del **piso** se toman en cuenta los siguientes ítems:

$$\text{Aislante: } 25[\text{kg/m}^3] \times 0,1[\text{m}] = 2,5[\text{kg/m}^2]$$

$$\text{OSB: } 500[\text{kg/m}^3] \times 0,027[\text{m}] = 13,5[\text{kg/m}^2]$$

$$\text{Envigado: } 750[\text{kg/m}^3] \times 0,2[\text{m}] = 150[\text{kg/m}^2]$$

$$\text{Hormigón afinado: } 2.200[\text{kg/m}^3] \times 0,04[\text{m}] = 88[\text{kg/m}^2]$$

$$\text{Carga total} = \text{peso propio} + \text{sobrecarga} = 254[\text{kg/m}^2] + 200[\text{kg/m}^2] = \mathbf{454[\text{kg/m}^2]}.$$

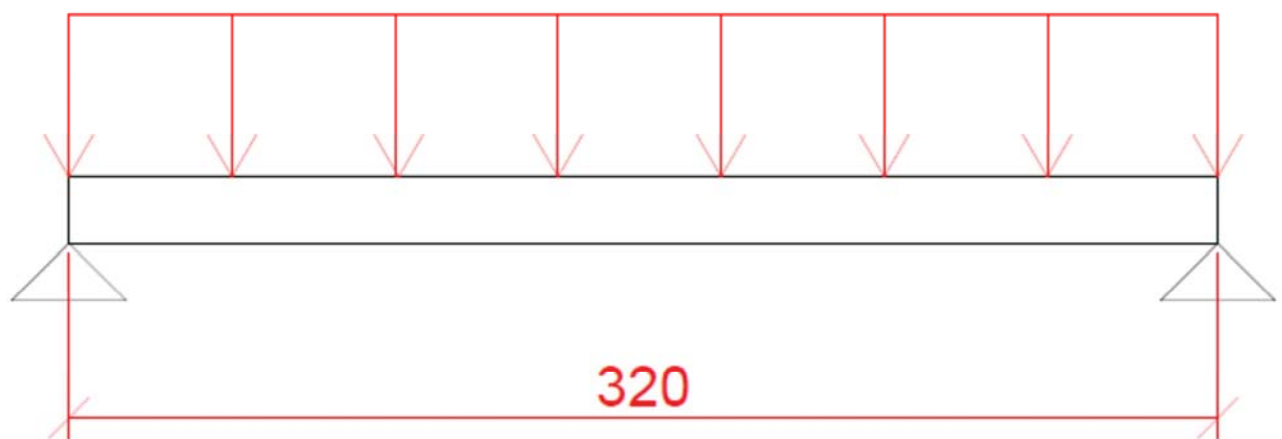


Figura 69. Viga de piso con carga uniforme. Fuente: Elaboración propia.

Ya con las tensiones admisibles y los pesos propios de la vivienda se calcula en el anexo 5 las tensiones de diseño y las deformaciones en las **vigas soportantes de piso** que conforman el entramado lo que según los cálculos nos dio:

$$F_f = 70[\text{kg/cm}^2] < 76[\text{kg/cm}^2]$$

$$\Delta_{\text{adm}} = L / 360 \text{ Donde } L = \text{Largo de la viga}$$

$$320/360 = 0,9[\text{cm}]$$

$$\Delta_{\text{max}} = 0,8[\text{cm}] < \Delta_{\text{adm}}$$

Luego se calculan las cargas en las vigas tipo cajón que nos arroja unas tensiones de diseño y deformaciones con los siguientes valores:

$$F_f = 24,6[\text{kg/cm}^2] < 76[\text{kg/cm}^2]$$

$$\Delta_{\text{max}} = 0,34[\text{cm}] < \Delta_{\text{adm}}$$

Luego se calculan los elementos estructurales restantes que serían en este caso los pilares tipo “cajón” descritos en la **figura 68** los cuales deben diseñarse de acuerdo a las tensiones de compresión y deformación según pandeo. Se calculan el momento de inercia, las fuerzas que actúan sobre el pilar, área resistente.

$$I = 4.019[\text{cm}^4]$$

$$W = 536 [\text{cm}^3]$$

$$A = 176[\text{cm}^2]$$

$$i = 4,77[\text{cm}]$$

$$\lambda = L_p / i = 250/4,78 = 52,3 < 170$$

Según los cálculos y consideraciones del anexo 1 el resultado de λ_0 es:

$$\lambda_0 = 81,4$$

Podemos calcular la tensión admisible de compresión afectada a pandeo mediante la siguiente fórmula:

$$f_{cp} = f_c \left[1 - 0,33 \frac{\lambda^4}{\lambda_0^4} \right] \quad (24)$$

$$f_{cp} = 71,7 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$f_a = 42,6 \text{ [kg/cm}^2\text{]} < f_{cp}$$

Cargas horizontales

Dentro de las cargas horizontales deben considerarse las cargas por sismo y viento a la cual se encuentra sometida la vivienda y deben ser calculadas mediante la norma NCh 1198, utilizando la siguiente formula.

$$F_1 = \frac{Q_0 * W_1 * h_1}{W_1 * h_1 + W_2 * h_2} \quad (25)$$

Dónde:

$$Q_0 = 0,12 * P$$

P = Peso de la vivienda

F = Fuerza horizontal

W = Peso tributario del piso

h = altura sobre una basal

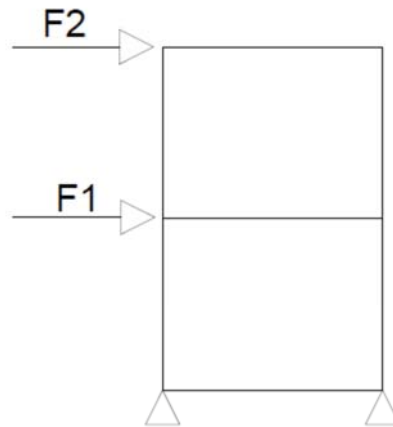


Figura 70. Fuerzas horizontales sísmicas que afectan a la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

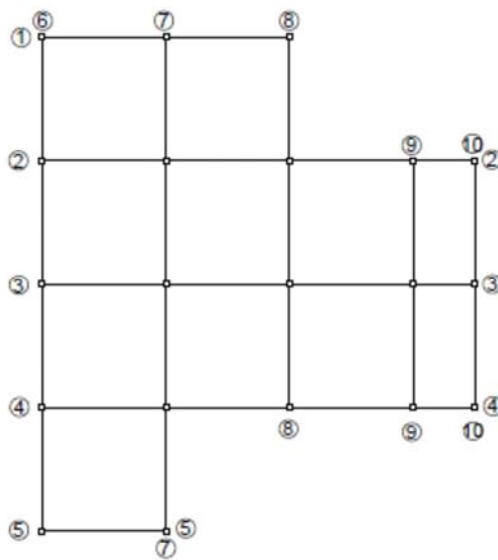


Figura 71. Esquema de vigas y pilares en el primer piso. Fuente: Elaboración propia.

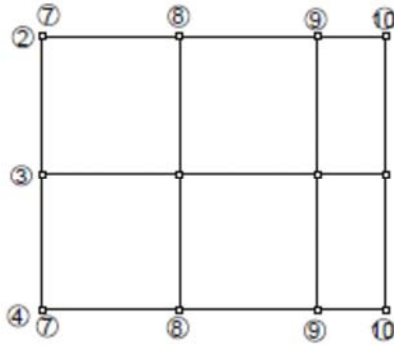


Figura 72. Esquema de vigas y pilares en el segundo piso. Fuente: Elaboración propia.

Con la formula mencionada anteriormente y los pesos propios de los distintos elementos de la vivienda se calculan las fuerzas que actúan debido a sismos lo cual en el anexo 5 nos arrojó como resultado las siguientes fuerzas:

$$F_1 = 1925,8 \text{ [kg]}$$

$$F_2 = 1927,1 \text{ [kg]}$$

Vientos

Según la norma NCh 432. existen parámetros establecidos para calcular la presión básica del viento a diferentes alturas y pisos dependiendo si es que nos encontramos localizados en un campo abierto o cercano al mar o si nos encontramos en la ciudad. Si la altura se encuentra en un lugar intermedio los valores se interpolan.

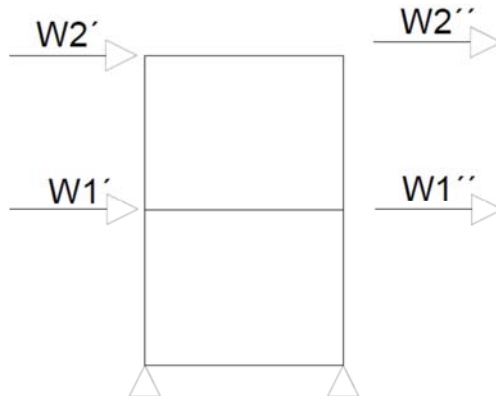


Figura 73. Esquema del efecto de los vientos sobre la vivienda. Fuente: Elaboración propia

Es necesario saber la altura media del primer y segundo piso para calcular las fuerzas que actúan sobre la vivienda, además de las presiones básicas (q) obtenidas según la tabla 1 de la NCh 432.

$$h_1 = 1,35[\text{m}] \quad \text{Interpolando } q = 57,3[\text{kg}/\text{cm}^2]$$

$$h = 4,05[\text{m}] \quad \text{Interpolando } q = 60,4[\text{kg}/\text{cm}^2]$$

Con estos valores se calculan las fuerzas que actúan en la vivienda que viene dada por la siguiente expresión, según el siguiente esquema:

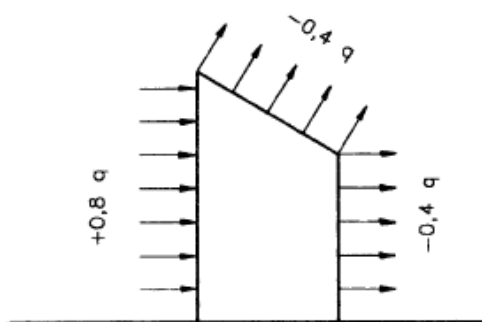


Figura 74. Efecto de los vientos en una vivienda. Fuente: NCh 432.

$$W' = 0,8 * \left(q_1 * \frac{h}{2} + q_2 * \frac{h}{2} \right) * 6,8 \quad (26)$$

$$W'' = 0,4 * \left(q_1 * \frac{h}{2} + q_2 * \frac{h}{2} \right) * 6,8 \quad (27)$$

Los valores correspondientes son:

$$W_1' = 1296,6[\text{kg}]$$

$$W_2' = 443,6[\text{kg}]$$

$$W_1'' = 432,2[\text{kg}]$$

$$W_2'' = 223,3[\text{kg}]$$

Cargas totales (sismos y vientos)

La vivienda se ve sometida a cargas puntuales debido a los sismos y vientos que actúan sobre la base de la vivienda que son necesarias saber

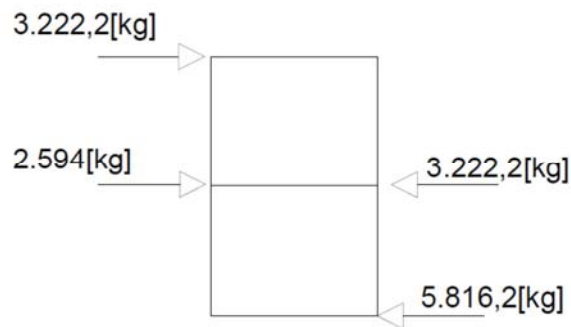


Figura 75. Cargas influyentes en la vivienda según normas correspondientes. Fuente: Elaboración propia.

4.7 Sistema de calentamiento de agua sanitaria

Para el ACS (agua caliente sanitaria), se diseñará con un sistema solar térmico apoyado con un sistema de respaldo tradicional que en este caso corresponde a un calefont alimentado por GLP (gas licuado de petróleo), debido a que en la comunidad no se cuenta con una red de gas natural.

Uno de los factores que la gente común y corriente no toma en cuenta es que los colectores solares no cuentan con la capacidad de ser una fuente de energía constante para todo el año, esto quiere decir que los colectores solares por si solos no son capaces de suministrar ACS durante todo el período que se le exige, es por esto que se hace necesario contar con una fuente de respaldo, es por ello que se define un porcentaje de aporte de los colectores solares para cubrir gran parte de la necesidad energética en este caso energía térmica.

En el caso de esta vivienda unifamiliar requerimos a lo menos un 75% de aporte solar para el calentamiento de aguas sanitarias, se calculará la demanda energética en términos de ACS.

Demanda energética de ACS.

En el caso de esta vivienda unifamiliar está diseñada para que una familia de cinco personas pueda vivir de manera cómoda. En promedio se toma en cuenta que la ducha consume alrededor de 10[lit/min] tomando en cuenta que una persona se toma una ducha de 5 minutos, se consume alrededor de 250 [lts] en total diario tomando en cuenta solamente las duchas.

Si tomamos en cuenta posibles sobreconsumos como duchas que poseen una duración mayor a cinco minutos y la utilización de agua caliente para el lavado de cubiertos, loza, etc. Se utilizará un estanque de 350 [lts], es importante dimensionar de manera correcta ya que esto influye directamente en el costo del sistema de calentamiento de agua.

Para el cálculo de la demanda energética sabemos que necesitamos calentar agua desde la temperatura de agua de red, en este caso la temperatura en promedio es de 13°C y necesitamos elevar la temperatura hasta los 60[°C].

$$Q_{agua} = m_{agua} * c_{p\ agua} * \Delta T_{agua} \quad (28)$$

Dónde:

$$C_p = 4,18 \text{ [kJ/kg} \times \text{C}^\circ]$$

$$M_{agua} = 350 \text{ [kg]}$$

$$\Delta T_{agua} = T_{final} - T_{inicial} = (60 - 13) = 47 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$Q_{agua} = 68.761 \text{ [kJ/día]}$$

	% contribución solar	[MJ/año]
Demanda energética		25.098
Demanda cubierta	75 %	18.823

Figura 76.Demanda cubierta por colectores solares. Fuente: Elaboración propia

Es necesario proporcionar **68.761[kJ/día]**, para poder elevar la temperatura del agua a 60°C y así evitar un problema sanitario relacionado con una bacteria llamada legionella. Una vez que se sabe el requerimiento energético diario de la vivienda en términos de ACS, se diseña el sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares tomando como premisa **realizar un aporte de al menos un 75%** de los requerimientos de energía en ACS, la variación mensual depende principalmente por los días que contiene cada mes ya que en este caso según la tabla 15, la demanda para el ACS es constante ya que la temperatura del agua de red es relativamente constante. Considerar que existen pérdidas por el sistema de colectores solares debido a las pérdidas de calor por las cañerías, estanque almacenador de ACS y también en el colector como se analizará más adelante, pero para efectos de cálculos y dimensionamientos de superficie colectora se analiza mediante un cálculo estático tomando en cuenta radiaciones promedios mensuales, según el registro solarimétrico de la UTFSM.

Mes	Cantidad Días	Demanda[kJ/día]	Mensual[kJ/mes]	Anual[MJ/año]
Enero	31	68.761	2.131.591	25.097,765
Febrero	28	68.761	1.925.308	
Marzo	31	68.761	2.131.591	
Abril	30	68.761	2.062.830	
Mayo	31	68.761	2.131.591	
Junio	30	68.761	2.062.830	
Julio	31	68.761	2.131.591	
Agosto	31	68.761	2.131.591	
Septiembre	30	68.761	2.062.830	
Octubre	31	68.761	2.131.591	
Noviembre	30	68.761	2.062.830	
Diciembre	31	68.761	2.131.591	

Tabla 15.Demanda energética en ACS. Fuente: Elaboración Propia

4.7.1 Irradiancia Solar Disponible

En base a las necesidades energéticas para el ACS y el aporte solar debemos saber cuánta energía se encuentra disponible en la zona para dimensionar los colectores

de manera correcta aplicando factores de corrección, como suciedad, no perpendicularidad y deterioro además del ángulo de inclinación adecuado para los colectores.

Estos valores de la tabla 16 son obtenidos en la localidad de Tobalaba específicamente en el aeródromo de La Reina, donde su latitud es de 33,45° Sur, sin embargo estos valores es para una superficie horizontal no para una superficie inclinada como sería en el caso de los colectores solares, aplicando estos factores se puede observar comparativamente la radiación disponible en $[MJ/m^2 \cdot \text{mes}]$ versus la demanda de ACS de la vivienda bioclimática tomando en cuenta que la demanda de ACS se mantiene constante durante el año como se ve en la figura 77, a diferencia de la calefacción ya que el perfil de consumo de calefacción en los meses más fríos es de mayor demanda y es cuando menos energía solar para calefacción hay disponible

Mes	Irradiancia Mensual $[MJ/m^2]$
Enero	695,1
Febrero	583,1
Marzo	460,0
Abril	345,8
Mayo	249,6
Junio	186,8
Julio	223,1
Agosto	300,6
Septiembre	403,7
Octubre	524,1
Noviembre	650,5
Diciembre	735,1
	5.357,5

Tabla 16. Irradiancia disponible en un plano horizontal. Fuente: Registro solarimétrico

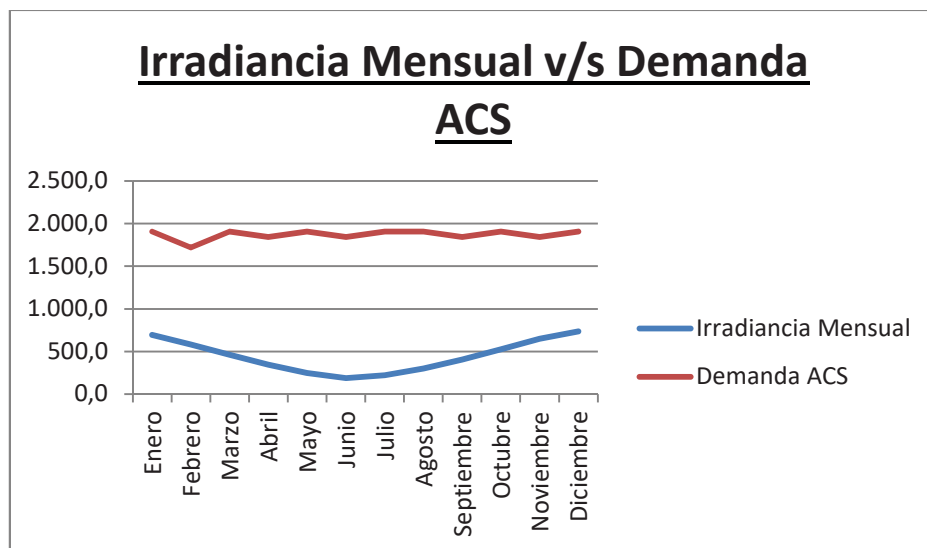


Figura 77. Irradiancia mensual y demanda de ACS. Fuente: Elaboración propia.

Se recomienda utilizar el ángulo de los paneles de acuerdo con su latitud cuando se espera obtener un rendimiento adecuado a lo largo de todo el año, en caso de requerir mejor rendimiento durante el período de invierno se debe aumentar este ángulo en 10-15° para captar mayor radiación debido a que el Sol se encuentra más bajo y si lo que se busca es mejorar en verano se debe disminuir 10° en su inclinación respecto a la latitud debido a que el Sol se encuentra en un punto más alto.

Periodo de Utilización	Inclinación de los colectores
Anual, con consumo cte.	B°
Preferentemente en invierno	($\beta^\circ + 10^\circ$)
Preferentemente en verano	($\beta^\circ - 10^\circ$)

Figura 78. Inclinación de colectores solares según su uso. Fuente: “Instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas en edificios e industria, CDT”.

Debido a que necesitaremos un consumo constante durante el año el ángulo de inclinación será de 33°, con una orientación preferente al Norte para aprovechar de mejor manera la energía sola

Mes	Irradiancia Mensual con 33° [MJ/m ²]
Enero	626,5
Febrero	577,1
Marzo	475,5
Abril	396,4
Mayo	306,5
Junio	234,1
Julio	278,2
Agosto	351,8
Septiembre	431,6
Octubre	511,8
Noviembre	594,7
Diciembre	650,4
Total	5.434,6

Tabla 17. Irradiancia mensual con inclinación de 33°. Fuente: Registro Solarimétrico.

Como se puede observar en las tablas adjuntas anteriormente (16 y 17) con una inclinación de 33° existe mayor ganancia en los meses de Invierno donde el Sol se encuentra a menor altura distinto es el caso de los meses de Verano donde el Sol se encuentra en mayor altura, de igual manera existen servomecanismos que permiten sacar el máximo rendimiento a los colectores variando su posición según el movimiento del Sol y en la época en que se encuentra, estos mecanismos son de coste muy alto por lo que se descartan para el diseño del sistema de captación solar, la otra opción es proporcionarle la inclinación de manera manual.

Se mencionó anteriormente que existe un factor debido al deterioramiento de los colectores, otro factor a tomar en cuenta es que el Sol no se encuentra durante todo el día perpendicular a los paneles por lo que igual se aplica un factor de no perpendicularidad. Una vez considerado los factores correspondientes se puede calcular la irradiancia útil, sabiendo las horas útiles donde es posible captar la energía solar y convertirla en energía térmica para poder traspasar la energía en forma de calor al agua, utilizando los datos de la tabla 19 podemos saber exactamente los [W/m²] en un día medio que es posible captar con la inclinación de los colectores en 33°

Mes	Irradiancia Mensual Inclinación 33° [MJ/m ²]	Factor de deterioramiento [-]	Factor de no perpendicularidad	Irradiancia Mensual efectiva 33° [MJ/m ²]
Enero	626,5	0,97	0,97	589,474
Febrero	577,1	0,97	0,97	542,993
Marzo	475,5	0,97	0,97	447,398
Abril	396,4	0,97	0,97	372,973
Mayo	306,5	0,97	0,97	288,386
Junio	234,1	0,97	0,97	220,265
Julio	278,2	0,97	0,97	261,758
Agosto	351,8	0,97	0,97	331,009
Septiembre	431,6	0,97	0,97	406,092
Octubre	511,8	0,97	0,97	481,553
Noviembre	594,7	0,97	0,97	559,553
Diciembre	650,4	0,97	0,97	611,961
Total	5.434,6			

Tabla 18. Irradiancia mensual efectiva con factores de suciedad y perpendicularidad. Fuente: Elaboración Propia.

Con estos datos podemos saber la irradiancia útil que podremos obtener diariamente debido que sabemos la irradiación mensual efectiva con los factores correspondientes y el número de horas útiles en un día medio. Las horas útiles son mayores a medida que nos acercamos al solsticio de verano (21 de Diciembre) y son menores más próximos al solsticio de invierno (21 de Junio).

Mes	Horas útiles
Enero	9,5
Febrero	9,5
Marzo	9,0
Abril	9,0
Mayo	8,0
Junio	7,5
Julio	8,0
Agosto	9,0
Septiembre	9,0
Octubre	9,5
Noviembre	9,5
Diciembre	9,5

Tabla 19. Horas útiles en un día medio de cada mes. Fuente: “Sistemas solares térmicos CDT, página 113”.

Mes	Irradiancia efectiva 33° [MJ/m ²]	Días	Horas útiles	Irradiancia útil diaria [W/m ²]
Enero	589,47	31	9,5	556,00
Febrero	542,99	28	9,5	567,04
Marzo	447,40	31	9,0	445,44
Abril	372,97	30	9,0	383,72
Mayo	288,39	31	8,0	323,01
Junio	220,26	30	7,5	271,93
Julio	261,76	31	8,0	293,19
Agosto	331,01	31	9,0	329,56
Septiembre	406,09	30	9,0	417,79
Octubre	481,55	31	9,5	454,21
Noviembre	559,55	30	9,5	545,37
Diciembre	611,96	31	9,5	577,21

Tabla 20. Irradiancia útil diaria en un día medio. Fuente: Elaboración Propia.

4.8 Selección de un colector solar y sistema solar térmico.

Existe una gran variedad de colectores diseñados para rangos de temperaturas adecuados, mencionaremos algunos tipos a continuación sin entrar mucho en detalle. Su función principal es la de captar la radiación solar y convertirla en energía

térmica, donde se puede calentar algún fluido, en lo posible se debe trabajar con la menor temperatura posible debido a que a mayor temperatura existen mayores pérdidas por radiación, convección, y conducción. En general todos los colectores solares (captadores térmicos), deben cumplir con la siguientes características generales.

- Resistente a las condiciones del exterior (polvo, nieve, granizo, ambientes marinos, etc).
- Estable y duradero.
- Fácil de montar y fácil mantenibilidad.
- Resistente a bajas y altas temperaturas.
- Eficientes en lo posible en la conversión de energía.

4.8.1 Colector de placa plana

Es el más adecuado para un rango de temperatura bajo (hasta 70° aproximadamente), es también al mismo tiempo uno de los colectores con menor rendimiento y el más económico. Se encuentra compuesto por una placa absorbente, carcasa inferior y una cubierta transparente superior.

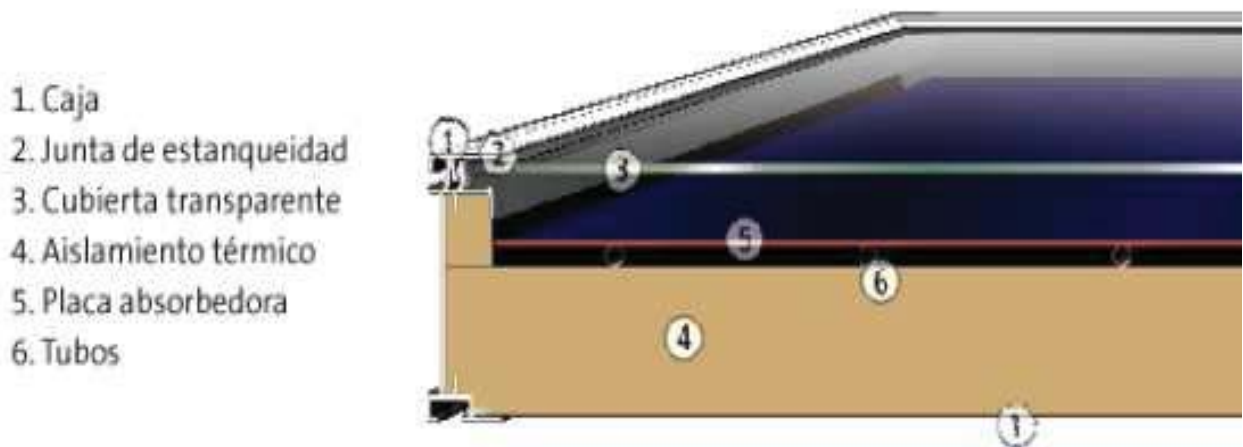


Figura 79. Componentes de un colector de placa plana. Fuente: Curso “Nodo solar”.

Generalmente la **placa absorbente** es de cobre y está formada por un conjunto de tubos donde los cuales circula el agua a ser calentada, su **función** es la de captar el máximo posible de la radiación y a su vez emitir lo mínimo hacia el exterior, esta captación y emisión mínima tiene el nombre de “**alta selectividad**”.

En la **figura 80** a continuación se grafica de mejor manera el principio de selectividad mediante una correcta configuración de materiales y recubrimientos tipo, captando una gran cantidad de energía solar en forma de calor pero a la vez emitiendo solamente un 5% al ambiente.

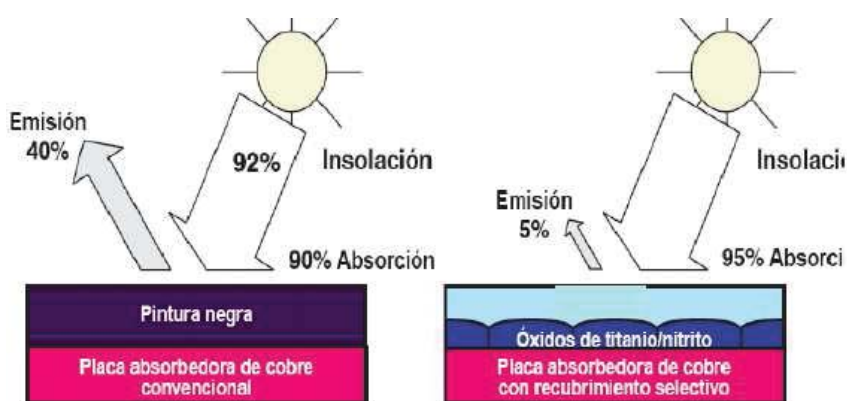


Figura 80. Principio de selectividad según el material. Fuente: “Curso Nodo Solar”

Para lograr una buena eficiencia del colector solar es necesario aislar adecuadamente el fondo del colector, bajo la superficie absorbente y en las partes laterales. Si se encuentra bien diseñado el colector podemos evitar alrededor de un **20%** las pérdidas térmicas. Este **aislante térmico** debe poseer resistencia a altas y bajas temperaturas además de no perder sus características con la humedad y un espesor adecuado. Otro elemento importante del colector solar de placa plana es la **cubierta transparente**, posee varias funciones dentro de las cuales es la de proteger el absorbedor (placa absorbente), reducir las pérdidas térmicas y producir el **efecto invernadero**, este efecto se obtiene cuando las ondas solares de longitud corta logran atravesar la cubierta que generalmente es de vidrio, para luego en el absorbedor transformarse en longitudes de onda larga, para este tipo de onda el

vidrio es opaco acumulándose la energía en forma de calor en el interior del colector de placa plana.

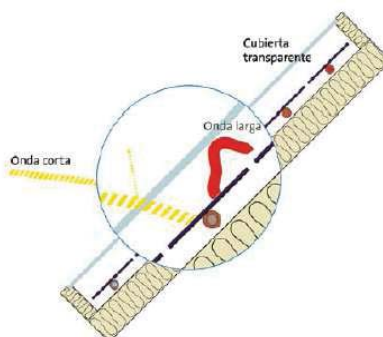


Figura 81. Principio de funcionamiento efecto invernadero. Fuente: NodoSolar

Existen más elementos aún no nombrados como las **juntas** y la **carcasa**. La primera tiene como función asegurar estanqueidad entre la cubierta y la carcasa, además sirve para absorber las dilataciones entre la carcasa y la cubierta para que no se produzcan roturas, obviamente deben resistir los rayos UV para no degradarse y las inclemencias del clima. La **carcasa** en cambio cumple una función de proteger los componentes del captador y soportar los anclajes de fijación además es el elemento donde se fija la cubierta, debe estar protegido contra la corrosión.

4.8.2 Colector al vacío

Existen varios tipos de colectores al vacío donde lo que se pretende es minimizar al máximo las pérdidas por convección, además de transformar la energía solar en energía térmica.

Colector de flujo directo: En la placa absorbente existe un tubo coaxial de intercambio de calor a través del que pasa el medio de transporte de calor, por el principio de contracorriente. El agua que proviene de la red entra por el interior del tubo coaxial y retorna por la cavidad exterior que se encuentra en contacto con la placa elevándose su temperatura.

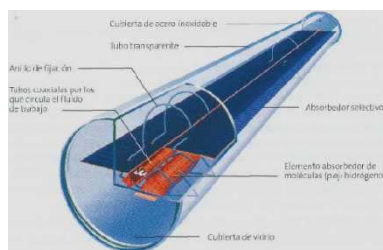


Figura 82. Colector de flujo directo. Fuente: NodoSolar.

Tubo de calor: Este caso es distinto al anterior debido a que el intercambio es de flujo indirecto mediante un tubo de calor (Heat Pipe). Es un tubo hueco cerrado en los dos extremos, sometidos a un vacío, donde en un extremo se encuentra un fluido vaporizante que suele ser una mezcla de alcohol en su interior. Esta mezcla de alcohol absorbe el calor de la radiación solar evaporizándose, luego se eleva hasta la parte superior del tubo donde cede su calor latente de vaporización, condensándose para luego retornar por capilaridad a la parte inferior del tubo, generalmente es usado para procesos industriales debido a sus temperaturas de trabajo

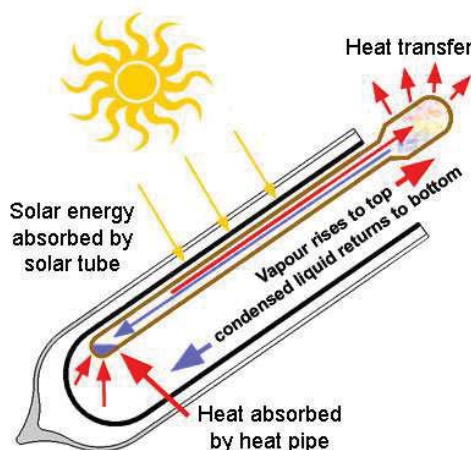


Figura 83. Principio de funcionamiento de un tubo de calor. Fuente: Curso “Nodo Solar”

En general los colectores solares al vacío poseen las siguientes ventajas en comparación con los colectores solares planos.

- Alcanzan temperaturas de trabajo mayores a la de los colectores planos, por lo cual pueden servir para procesos industriales que requieren temperaturas de trabajo mayores y climatización con mejores rendimientos.
- Menores pérdidas térmicas debido a su mayor aislación térmica, reduciendo sus pérdidas por convección.

Dentro de sus desventajas se encuentran las siguientes.

- Temperaturas de estancamiento mayores y altas cargas térmicas a los elementos cercanos a los colectores. Posee mayor vaporización que del fluido de trabajo en comparación a los colectores solares planos.
- Costos superiores en comparación a un colector de placa plana cuando las temperaturas de trabajo son medias (50°C aproximadamente).

4.8.3 Balance térmico de un colector y ecuaciones fundamentales

En el funcionamiento normal de un colector solar independiente del tipo, existen una serie de pérdidas que son necesarias mencionar debido a que la energía incidente sobre el colector no es aprovechada en su totalidad como muestra la **figura 84** a continuación, dentro de la radiación incidente existe una parte que es rechazada debido a la opacidad y también otras pérdidas asociadas a convección y radiación.

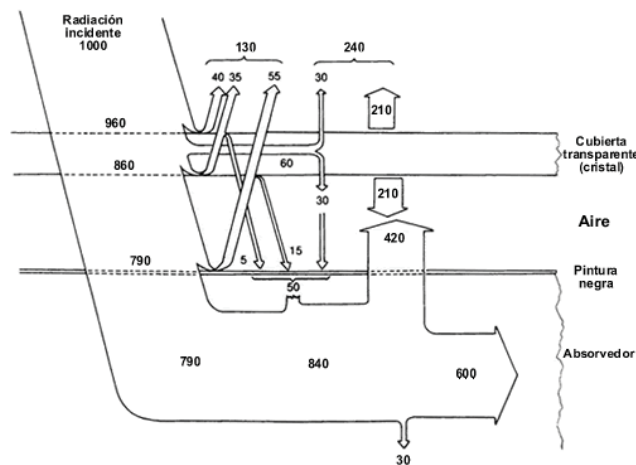


Figura 84. Balance térmico de un colector tipo. Fuente: textoscientificos.com

Como se puede observar la radiación incidente es alrededor de $1000[\text{W}/\text{m}^2]$, donde la energía captada finalmente es alrededor de un 60%, existe radiación solar la cual no logra atravesar la cubierta transparente debido a su longitud de onda para la cual el vidrio es opaco ocurriendo reflexión y absorción de la cubierta de cristal y otra porción que no se absorbe por la superficie captadora (absorbedor) debido a la reflexión, estas pérdidas son denominadas como pérdidas ópticas. Estas pérdidas se encuentran representadas en la siguiente ecuación.

$$P_{\text{ópticas}} = I_s * A_c * (1 - \alpha * \tau) \quad (29)$$

I_s =Radiación solar incidente en $[\text{W}/\text{m}^2]$

A_c = Área de cubierta de vidrio en $[\text{m}^2]$

α = Absortividad de la superficie captadora [-]

τ = Transmisividad del vidrio[-].

Existen también pérdidas térmicas por convección y radiación y ecuaciones que cuantifican la energía que se cede al medio ambiente.

Donde las pérdidas por convección vienen dadas por la ecuación 30

$$Q_{\text{convección}} = U * A_p * (T_m * T_a) \quad (30)$$

U: Coeficiente global de transmisión de intercambio de por convección en $[\text{W}/\text{m}^2 * \text{K}^\circ]$.

A_p : Área de captación del colector en $[\text{m}^2]$.

T_a : Temperatura ambiente en $[\text{C}^\circ]$.

T_m : Temperatura media del colector en $[\text{C}^\circ]$.

Ahora en el caso de las pérdidas por radiación vienen dadas por la ecuación de radiación de Steffan Boltzmann.

$$Q_{radiación} = \varepsilon * A_p * \sigma \sigma (m^4 * T^4) \quad (31)$$

ε : Emisividad de la placa captadora [-].

Ahora bien las pérdidas térmicas es la suma de las pérdidas por convección y radiación:

$$Q_{pérdidas} = Q_{radiación} + Q_{convección} \quad (32)$$

Es posible combinar ambas pérdidas con un coeficiente global de transferencia U_L lo que nos da como resultado la siguiente ecuación.

$$Q_{global\ perdidat} = U_L * A_p * (T_m \times T_a) \quad (33)$$

Sabiendo las pérdidas ocurridas en un colector (ópticas y térmicas), sabemos el calor útil que será transferido al medio caloportador.

$$Q_{útil} = Q_{ABS} - P_{ópticas} - Q_{Pérdidas} \quad (34)$$

$$Q_{útil} = I_s * A_c * (\tau(\tau - U_l * A_p * (T_m - T_a)) \quad (35)$$

El problema de la ecuación 35 es que se encuentra expresado en la temperatura media del colector la cual es muy difícil de establecer, pero se sabe la temperatura de entrada y salida del colector, por lo que la temperatura media se expresa mediante la temperatura de entrada del colector y se agrega un factor de eficacia F_r debido a que no todo el calor captado por la superficie absorbedora es cedida al agua, quedando la ecuación expresada de la siguiente manera:

$$Q_{útil} = F_r * A_c * (I_s * (\tau(\tau - \frac{U_l}{A_c} * (T_e - T_a)) \quad (36)$$

Donde se saben todos los valores excepto de C que corresponde a la relación entre A_c/A_p el cual A_c es el área de concentración y A_p el área de captación, en el caso de los colectores de placa plana esta relación es 1 distinto es el caso de los colectores concentradores. Conociendo la ecuación del calor útil para un colector solar se

puede calcular el rendimiento de un colector solar que queda expresado de la siguiente manera.

$$\eta = Q_{\text{útil}} / (A * I_s) \quad (37)$$

η = Rendimiento del colector.

A = Área del captador expresado en $[m^2]$.

I_s = Energía incidente expresado en $[W/m^2]$.

$Q_{\text{útil}}$ = Energía útil obtenida por el captador en $[W]$.

Reemplazando la ecuación de $Q_{\text{útil}}$ en la ecuación queda el rendimiento expresado como:

$$\eta = F_r * (\tau \alpha) - [F_r * U_l * (T_e - T_a) / I_s] \quad (38)$$

En esta ecuación quedan representadas las eficiencias ópticas y térmicas donde $(\alpha \tau)$ representa la eficiencia óptica del colector que da el factor multiplicativo entre la absorbancia de la placa con la transmitancia de la cubierta. Los valores de eficiencia es posible obtenerlos de curvas de ensayo en los colectores de los cuales se obtienen mediante ambientes controlados, controlando velocidades del viento, radiación incidente y el diferencial de temperatura ambiente y la temperatura de entrada al colector. Lo que va variando es la temperatura de entrada al colector y la temperatura ambiente llegando a obtener una curva característica simplificada como la que se muestra a continuación.

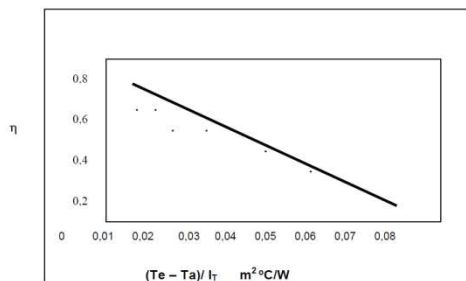


Figura 85. Curva característica de un colector solar. Fuente: Curso NodoSolar.

Esta curva sin embargo está compuesta de una forma simplificada debido a que aumenta la temperatura del colector las pérdidas por convección se aumentan de forma cuadrática, sin tomar en cuentas las pérdidas por radiación se encuentran elevadas a la cuarta, dando como resultado una **curva parabólica** no una recta. Para este caso la curva viene dada por el fabricante con los valores característicos correspondientes a las pérdidas ópticas y térmicas.

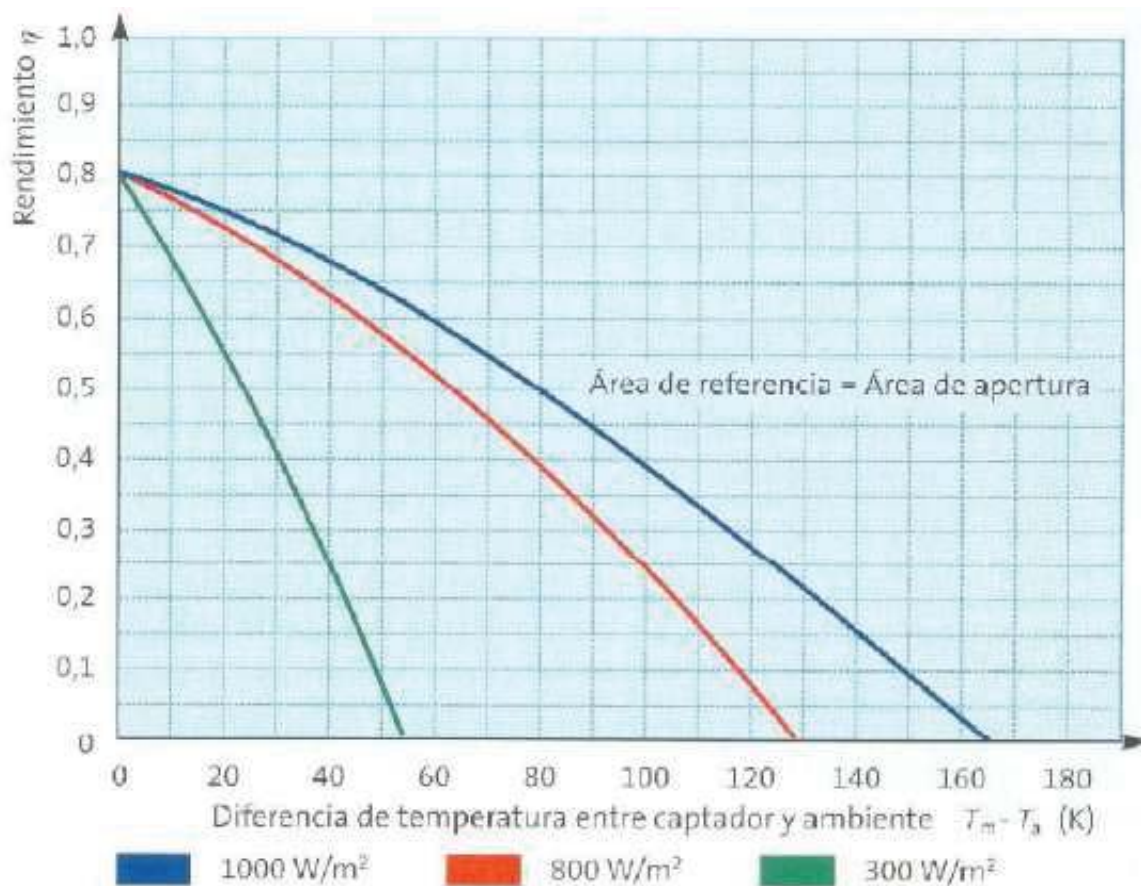


Figura 86. Curva característica de segundo orden. Fuente: Curso "Structuralia".

Visto las distintas características y comportamiento de los colectores solares como rendimientos, temperaturas de estancamiento, composiciones, modos de funcionamiento se realiza la selección para el ACS que en este caso debido al rango de temperatura de trabajo y costes se optará por un **colector de placa plana**.

Colector	Rango Temperatura [C°]	h ₀	UL [W/°C*m ²]
Sin cubierta	10-40	0,9	15-25
Cubierta simple	10-60	0,8	7
Cubierta doble	10-80	0,65	5
Superficie colectiva	10-80	0,8	5
Tubos al vacío	10-130	0,7	2

Figura 87. Cuadro comparativo de colectores. Fuente: Curso “Structuralia”.

Una vez seleccionado el modelo según catálogo y curvas características del colector podremos saber el rendimiento en un día medio de cada mes del colector.

En este caso se selecciona un colector solar de placa plana marca “Astersa” de los cuales se dispone de un absorbedor de cobre con tratamiento **selectivo**, estos colectores se encuentran sometidos a un test de estanqueidad de 15 [bar] en todas sus gamas. La gama “NEO” es la más completa y versátil, es adecuada para todo tipo de climas, combinando eficiencia y durabilidad de al menos 25 años en un precio competitivo.

De acuerdo al “Anexo 4” del catálogo podemos obtener los coeficientes de pérdidas y el rendimiento óptico del colector con lo que podremos saber cuál es la superficie requerida para aportar al menos un 75% al ACS.

- **Coeficiente de pérdidas $k_1 = 3,994[W/m^2\text{°K}]$**
- **Coeficiente de pérdidas $k_2 = 0,009[W/m^2\text{°K}]$**
- **Rendimiento óptico = 75,7%**

$$\eta = \eta_0 - k_1 * X - k_2 * X^2 * I \quad (39)$$

Dónde: $X = [(T_{med} - T_{amb}) / I]$

Se estipulo que para el almacenamiento del ACS es necesario llegar al menos a una temperatura de 60°C, considerando la conservación del agua a 55 °C en un estanque de almacenamiento diseñado para estos propósitos.

Mes	Tmed [°C]	Tamb [°C]	Tmed - Tamb[°C]	lútil 33° [W/m ²]	X	X2	k1	k2	η0	η
Enero	60	21,6	38,4	556	0,069	0,0048	3,994	0,009	0,757	46%
Febrero	60	19,5	40,5	567,04	0,071	0,0051	3,994	0,009	0,757	45%
Marzo	60	17,6	42,4	445,44	0,095	0,0091	3,994	0,009	0,757	34%
Abril	60	13,7	46,3	383,72	0,121	0,0146	3,994	0,009	0,757	22%
Mayo	60	11,7	48,3	323,01	0,150	0,0224	3,994	0,009	0,757	9%
Junio	60	7,5	52,5	271,93	0,193	0,0373	3,994	0,009	0,757	4%
Julio	60	8,9	51,1	293,19	0,174	0,0304	3,994	0,009	0,757	2%
Agosto	60	10,4	49,6	329,56	0,151	0,0227	3,994	0,009	0,757	9%
Septiembre	60	11,4	48,6	417,79	0,116	0,0135	3,994	0,009	0,757	24%
Octubre	60	15,7	44,3	454,21	0,098	0,0095	3,994	0,009	0,757	33%
Noviembre	60	17	43	545,37	0,079	0,0062	3,994	0,009	0,757	41%
Diciembre	60	19,2	40,8	577,21	0,071	0,0050	3,994	0,009	0,757	45%

Tabla 21. Rendimiento instantáneo del colector “Neo”. Fuente: Elaboración propia.

Una vez calculado el rendimiento en un día medio de cada mes del colector seleccionado podremos saber cuánto es el aporte mensual por cada metro cuadrado de colector y así saber cuántas unidades serán las necesarias para poder aportar al menos un 75% en energía térmica para el ACS.

Mes	lútil mensual 33° [W/m ²]	Días	lútil diaria 33° [W/m ²]	η	Aporte Solar diario [MJ/m ²]	Aporte Solar mensual [MJ/m ²]
Enero	556	31	17,94	50%	8,95	277,45
Febrero	567,04	28	20,25	49%	9,86	276,12
Marzo	445,44	31	14,37	39%	5,65	175,23
Abril	383,72	30	12,79	29%	3,67	110,17
Mayo	323,01	31	10,42	17%	1,76	54,70
Junio	271,93	31	8,77	4%	0,35	10,88
Julio	293,19	30	9,77	6%	0,62	18,69
Agosto	329,56	31	10,63	16%	1,72	53,44
Septiembre	417,79	30	13,93	30%	4,17	125,02
Octubre	454,21	31	14,65	38%	5,58	172,97
Noviembre	545,37	30	18,18	45%	8,27	248,08
Diciembre	577,21	31	18,62	49%	9,11	282,43

Tabla 22. Aporte mensual y diario por m² de colector solar disponible en un día medio de cada mes. Fuente: Elaboración Propia.

Según los cálculos el aporte anual será de 1.805,19[MJ/m²], lo que como resultante nos da las unidades que se encuentran en la **figura 88**.

Nombre	% de contribución	[MJ/año]	[MJ/m ² *año]	m ²
Demanda energética		22.428		
Demanda cubierta	75%	16.821		
Energía disponible			1.805	
Superficie de captación				9,3

Figura 88. Superficie necesaria de captación solar. Fuente: Elaboración propia.

Con la superficie necesaria, según catálogo la superficie absorbidora es de 1,99[m²] tomando en cuenta el modelo “NEO 20M”, es necesario calcular el número de colectores con la superficie de absorbedor ya que es esta superficie la que capta efectivamente la radiación solar.

Superficie de captación[m ²]	9,3
Superficie unidad captadora [m ²]	1,96
Cantidad de colectores [-]	4,75

Figura 89. Cantidad de unidades colectoras. Fuente: Elaboración propia.

Con el cálculo anterior se selecciona una cantidad de **cinco unidades colectoras**, esta superficie es de 9,95[m²], la cual es mayor a la solicitada, con estos cálculos podremos saber cuánto es el rendimiento del sistema colector.

	Aporte Solar mensual [MJ/m ²]	Sup.captadora [m ²]	Energía requerida mensual[kJ/mes]	E. disponible colectores solares [kJ/mes]	Rendimiento [%]
Enero	277,45	9,95	1.904.826	2.760.651	145%
Febrero	276,12	9,95	1.720.488	2.747.394	160%
Marzo	175,23	9,95	1.904.826	1.743.575	92%
Abril	110,17	9,95	1.843.380	1.096.218	59%
Mayo	54,70	9,95	1.904.826	544.308	29%
Junio	10,88	9,95	1.843.380	108.228	6%
Julio	18,69	9,95	1.904.826	186.011	10%
Agosto	53,44	9,95	1.904.826	531.749	28%
Septiembre	125,02	9,95	1.843.380	1.243.949	67%
Octubre	172,97	9,95	1.904.826	1.721.075	90%
Noviembre	248,08	9,95	1.843.380	2.468.367	134%
Diciembre	282,43	9,95	1.904.826	2.810.159	148%
Total Promedio	81%				

Tabla 23. Rendimiento campo de colectores solares. Fuente: Elaboración propia.

Mes	Aporte Solar mensual [MJ/m ²]	Superficie captadora [m ²]	Energía requerida mensual [kJ/mes]	Energía disponible colectores solares [kJ/mes]	Rendimiento [%]
Enero	277,45	7,96	1.904.826	2.208.521	116%
Febrero	276,12	7,96	1.720.488	2.197.915	128%
Marzo	175,23	7,96	1.904.826	1.394.860	73%
Abril	110,17	7,96	1.843.380	876.974	48%
Mayo	54,70	7,96	1.904.826	435.447	23%
Junio	10,88	7,96	1.843.380	86.583	5%
Julio	18,69	7,96	1.904.826	148.809	8%
Agosto	53,44	7,96	1.904.826	425.399	22%
Septiembre	125,02	7,96	1.843.380	995.159	54%
Octubre	172,97	7,96	1.904.826	1.376.860	72%
Noviembre	248,08	7,96	1.843.380	1.974.694	107%
Diciembre	282,43	7,96	1.904.826	2.248.127	118%
Total Promedio					64%

Tabla 24. Rendimiento del campo colector solar con cuatro unidades captadoras. Fuente: Elaboración propia.

El rendimiento promedio del campo de colectores es de un 81% según la tabla 23, superando en 6 puntos lo requerido como base de diseño que era de un 75%, este valor mayor en porcentaje de aporte solar promedio quizás no es justificable tomando en cuenta el valor de cada colector solar, es interesante realizar el análisis tomando en cuenta cuatro unidades colectores como se analiza en la tabla 24, para ver la variación de rendimiento en términos porcentuales y obviamente el costo. Cabe mencionar que ambos análisis realizados son de la forma estática lo cual contempla valores promedios de cada mes con una irradiación promedio y por lo tanto estos rendimientos son valores medios. Según lo visto en la descripción general de los colectores el rendimiento depende principalmente de la temperatura de trabajo ya

que a medida que la temperatura va en aumento, las pérdidas por convección y radiación van en aumento de manera exponencial. Esto quiere decir que el colector y el sistema solar térmico en sí es un **sistema dinámico**, variando su rendimiento hora a hora, pero se analizó de manera simplificada para efectos de cálculos y dimensionamientos generales del sistema.

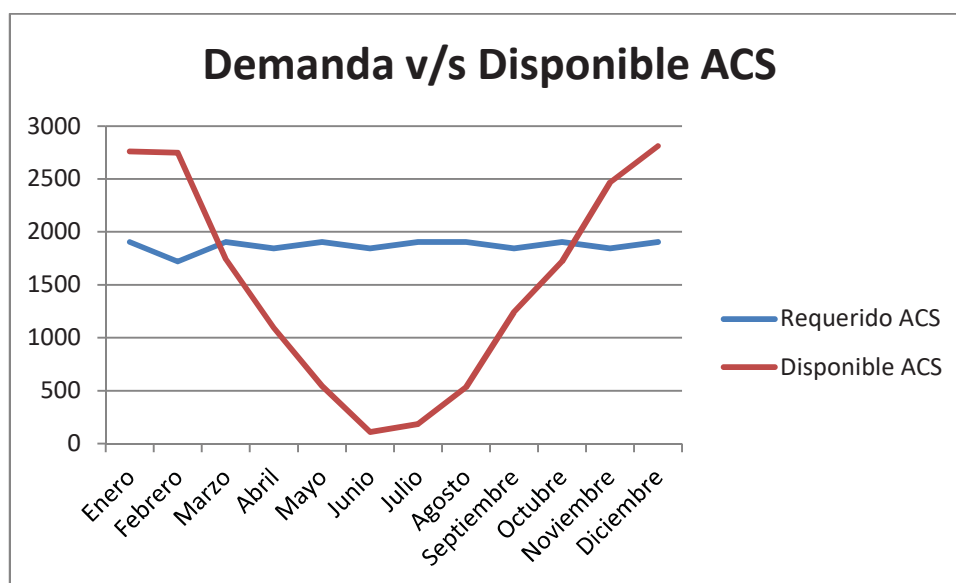


Figura 90. Demanda de ACS versus la energía disponible colectores solares. Fuente: Elaboración propia.

Si bien gran parte de los meses del año es posible cumplir con los requerimientos energéticos de la vivienda en términos de agua caliente sanitaria entre Abril y Noviembre es necesario complementar con un sistema de calentamiento de agua tradicional como puede ser un calefont o caldera, llama la atención que los meses más fríos del año el aporte de los colectores solares son prácticamente nulos, reforzando la idea de un sistema de respaldo obligatorio.

4.8.4 Sistema solar Térmico

En este apartado se verá el sistema solar térmico para el calentamiento de agua sanitaria tomando en cuenta, protección anti heladas, evitar temperatura de estancamiento, almacenamiento de energía, tipo de conexionado de colectores

solares planos (serie, paralelo). En este caso se contará con un circuito de circulación forzada de intercambio indirecto ya que se calentará una mezcla anticongelante para evitar congelamiento del agua, con un intercambiador de calor glicol-agua almacenando la energía en un estanque y una bomba de recirculación en el sistema.

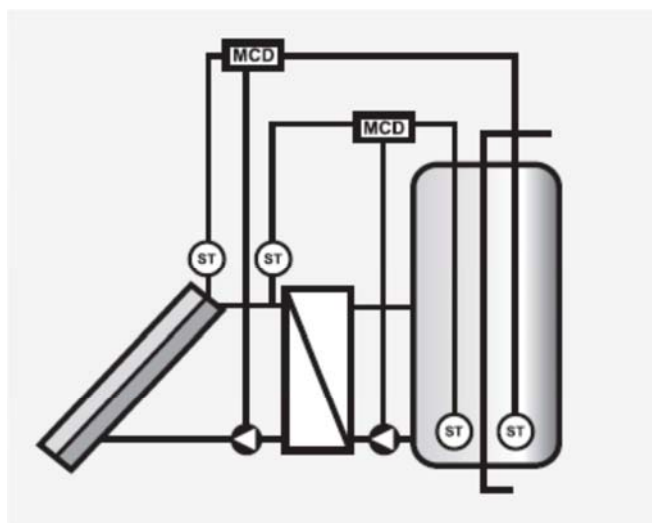


Figura 91. Esquema de un sistema solar indirecto con recirculación forzada y almacenamiento de energía. Fuente: “Manual de energía solar CDT”.

Dentro de las características de este sistema está un intercambiador de calor que debe ser correctamente dimensionado, con la potencia necesaria para lograr una transferencia de calor acorde a lo requerido, con al menos un diferencial de temperatura de 5°C, sin embargo el esquema que se encuentra en la figura 91, difiere en algunas configuraciones respecto al diseño para este caso, donde la configuración sería de la siguiente manera:

- Intercambio de calor sumergido en almacenador de energía.
- Sistema auxiliar en línea centralizada.
- Conexión de colectores mixto(serie-paralelo)

Dentro de las configuraciones posibles de conexiones para el campo de colectores existen tres posibles:

- Serie
- Paralelo
- Mixto

En el caso de tener los colectores conectados en serie se pueden alcanzar temperaturas más altas en el fluido, pero a su vez aumentamos las pérdidas, menoscabando el rendimiento de los colectores, por lo que no se recomienda conectar más de dos colectores en serie para agua caliente sanitaria. Si los colectores se encuentran conectados en paralelo, la configuración actúa como un gran colector, logrando rendimientos como si se tratara de un colector, hay que lograr que esta configuración posea un equilibrio hidráulico adecuado, utilizando en algunos casos retorno invertido para igualar pérdidas de carga o válvulas de equilibrado.

Para el sistema de almacenamiento deberá ser necesario cumplir con los requisitos del intercambiador de calor con el fin de lograr una buena transmisión del calor desde el fluido caloportador hacia el ACS, además será necesario alcanzar temperaturas de 60°C para evitar la legionelosis.

Diseño de circuito hidráulico del sistema solar térmico

Es necesario para que el sistema funcione de manera correcta dispositivos de control, seguridad, con un correcto dimensionado de cañerías, bombas, etc.

Cañerías

Para evitar pérdidas térmicas en las cañerías estas deberán encontrarse aisladas, además de ser lo más corta posibles, estipulando también un diseño adecuado para evitar obturaciones en las cañerías que influyan en el rendimiento de sistema hidráulico para reducir las pérdidas se opta por cañerías termofusionadas diseñadas para temperaturas de hasta 130[°C].

Bombas

Debido a que se contará con un sistema de captadores con una bomba de circulación se debe instalar en la zona más fría del sistema para evitar cavitación, además de tener la precaución que la cañería se encuentre bien soportada para evitar torsiones y flexiones.

Estanque de expansión

Los estanques de expansión deben instalarse en la aspiración de la bomba, de no ser posible la altura de los vasos expansores deberá ser tal para que no se produzcan desbordamientos de fluidos y evitar el ingreso de aire al circuito primario.

Es necesario instalar un estanque de expansión el circuito primario y otro en el circuito secundario.

Purga de aire

En los puntos altos de los captadores solares deben instalarse sistemas de purga constituidos de botellines y purgadores manuales o automáticos.

Diseño del sistema auxiliar

Es necesario contar con un sistema auxiliar para aportar la demanda térmica faltante, en general se desaconseja la utilización de sistemas con efecto Joule por razones de eficiencia energética con grandes consumos de energía eléctrica. El sistema auxiliar debe estar contemplado en el sistema secundario de la instalación, donde una de las opciones debido a las bajas cargas de consumo es el de gas modulante en temperatura el más indicado, como por ejemplo un calefont termosolar estos sistemas deberán contar con un termostato de control.

Diseño del sistema eléctrico y de control

Si el sistema de control se encuentra bien diseñado se aprovechará de mejor manera la energía solar captada funcionando de manera más eficiente el sistema, en general deberá cumplir con las siguientes características:

- Control de funcionamiento del circuito primario y secundario
- Sistemas de protección y seguridad contra sobrecalentamientos, heladas y sobrepresiones.

Este sistema de control debe proteger que nunca se alcance temperaturas suficientes para dañar algún elemento del sistema solar. Este sistema deberá procurar que el fluido no llegue a menos de tres grados por sobre el punto de congelamiento. Las sondas de temperatura deberán ser instalados en la parte superior en el caso de los captadores para medir la temperatura máxima del circuito, y en el caso de los acumuladores deberán ser instalados en la parte inferior donde su medición no se vea afectada por el circuito secundario.

4.9 Iluminación y electrodomésticos.

Uno de los grandes consumos de energía eléctrica a nivel mundial es utilizado en iluminación y es causante del 6% de los gases invernadero, es por ello que se hace necesario mejorar en este tema a nivel país, uno de los avances es la mejora del alumbrado público, además de prohibir el uso de ampolla con resistencia las cuales son de baja eficiencia y generadoras de mucho calor. En general la iluminación eficiente hoy en día se asocia con iluminación con lúmenes promedio de 300 lux y la menor cantidad de energía eléctrica consumida, en este caso lo que se ajusta de mejor manera son las luces LED las cuales poseen un menor gasto energético, además de generar menores pérdidas por calor. Según la norma EN-15251 los valores de lúmenes depende de las tareas que se ejecuten en ese lugar se distribuyen de la siguiente manera según la figura 92.

ZONA DONDE SE EJECUTEN TAREAS	
Exigencias visuales bajas	100 Lux
Exigencias visuales moderadas	200 Lux
Exigencias visuales altas	500 Lux
Exigencias visuales muy altas	1000 Lux

Figura 92. Exigencias visuales donde se ejecutan distintas tareas. Fuente: Norma UNE EN-15251

Se considerarán en general exigencias visuales moderadas para la vivienda ya que regularmente no se realizarán tareas de alta precisión que requieren de 1000 [Lux], además sabemos que las distintas ampolletas poseen distintos consumos según la figura 93.

Nombre	Eficiencia[lm/W]
Incandescente ≤ 25 W	8
Incandescente ≤ 50 W	10
Incandescente ≤ 100 W	12
Halógena ≤ 50 W	12
Halógena ≤ 100 W	14
Fluorescente compacta 11[W]	50
Fluorescente compacta 20[W]	57
Fluorescente con balasto	80
LED Retro blanco	75
LED Retro blanco caliente	65
Tubo de LED	100

Figura 93. Consumo energético de distintas luminarias. Fuente: Manual PHPP.

Se utilizarán cuatro ampolletas LED retro blanco caliente de 3[W] cada una por una superficie de 10,24[m²], a modo general poseemos un consumo de 102[W] en la lanta del primer piso y 60[W] en el segundo piso, además agregar toda la iluminación externa que en este caso corresponde a la logia y terraza agregando 20[W] en su totalidad.

Según el estudio de la CDT “**Uso residencial**” una vivienda tradicional generalmente consta de ampolletas incandescentes lo que aumenta un consumo desde 102[W] a 830[W] lo cual es un aumento significativo en términos energéticos y para el segundo piso aumenta el consumo en 427[W], en el caso de la terraza aumentamos a un valor de 162,5[W], por supuesto que el uso real no serán la totalidad de las luces al mismo tiempo por lo que consideraremos un factor de uso de 0,3 y un uso total de 8[hrs] promedio durante el año completo.

Los electrodomésticos que consumen mayor energía son los refrigeradores y televisores, como se puede observar en la tabla 25.

Electrodomesticos	Potencia[W]	Cantidad	Horas uso	Energía[kWh]
Televisor	65	3	56	567,84
Juguera	350	1	2	36,4
Lavadora	395	1	8	164,32
Refrigerador	400	1	21	436,8
Secador	400	1	3	62,4
Hervidor	850	1	3	132,6
Plancha	1.000	1	2	104
Microondas	1.000	1	1	52
Aspiradora	1.500	1	2	156
Total [kWh]				1.712,36
Total[kWh/m ² *año]				13,94

Tabla 25. Energía consumida por electrodomésticos en una vivienda .Fuente: Ministerio de energía.

Este perfil de consumo puede variar dependiendo del uso de cada vivienda pero es un promedio de uso a lo largo del país con datos estadísticos realizado por el Ministerio de Energía. También es variable la potencia de cada uno de los electrodomésticos siendo unos más eficientes que otros los cuales poseen un etiquetado con la respectiva letra indicando el nivel de eficiencia de los mismos.

Capítulo 5

Análisis de costos y evaluación económica

Uno de los factores importantes en la decisión de compra de una vivienda de este tipo son los costos de esta vivienda respecto a una construcción convencional debido a que puede haber un sobre costo asociado a las ventanas, aislación y diseño. Es por ello que se realiza una comparación de cada uno de los costos y el ahorro que significa vivir en una vivienda bioclimática con las características señaladas en el capítulo anterior. Dentro de los costos serán divididos en obra gruesa primer y segundo piso, mano de obra, mano de obra especializada y costos de administración.

5.1 Costos asociados a la construcción de la vivienda bioclimática

Las tablas 26,27 y 28, corresponde a insumos para la obra gruesa de la vivienda dentro de estos se encuentran elementos constructivos, materiales y recursos que son necesarios para las fundaciones y estructura. Dentro de los materiales principales se encuentran los pilares, vigas y paneles que formarán en gran parte la obra gruesa de la vivienda en primer y segundo piso. En las **tablas 32 y 33** se encuentran los costos de mano de obra los cuales se dividen en mano de obra general y mano de obra especializada, este último ítem corresponde a todas las instalaciones sanitarias, eléctricas, agua potable y pintura.

FUNDACIONES			
OBRAS PREVIAS	Unidad	Cantidad	Costo unitario (UF)
Instalación de faenas	un	1	19,6
Trazado y niveles	un	1	7,8
Andamios	un	1	11,7
Total (UF)			39,2

Tabla 26. Costos de preparación de faena. Fuente: Elaboración propia.

Los costos correspondientes en la tabla 26 son insumos donde el trazado y niveles es una operación bastante sencilla, pero que en este caso exige un mayor tiempo

debido a que estamos por sobre el nivel del terreno para evitar cualquier movimiento de tierra que exige, por ende un mayor costo. Los andamios son considerados para la instalación de muros y pilares en el segundo piso, además estos deberán ser arrendados en empresas de retail como Sodimac, Easy o Imperial, habría que evaluar dependiendo del tiempo de ejecución de la obra gruesa la compra o no de los andamios, sin embargo en este caso se considera un período corto de ejecución de obra gruesa no será necesario.

OBRA GRUESA PRIMER PISO				
	Unidad	Cantidad	Costo unitario (UF)	Total (UF)
ESTRUCTURA				
Pilar Compuesto 6"x6"x240	un	18	0,98	17,64
Vigas Compuesta 6"x10"x320	un	25,5	1,2	30,6
Pasadores 1/2" 20cm	un	700	0,01	7
PISO				
OSB 18mm	un	30	0,6	18,0
OSB 11mm	un	30	0,3	9,0
Aislante celulósico 10cm	un	15	0,31	4,7
Pino paneles 2"x4"x320	un	80	0,13	10,4
Pino envigado 2"x4"x320	un	72	0,13	9,4
Fijaciones	un	100	0,02	2,0
MUROS EXTERIOR				
OSB 11mm	un	30	0,31	9,3
OSB QuickFinish 11mm	un	30	0,6	18,0
Pino 2"x4"x320	un	100	0,13	13,0
Aislante celulósico 10cm	un	30	0,4	12,0
Membrana Hidrófuga	m2	90	0,04	3,6
Barrera Vapor	m2	90	0,02	1,8
Fijaciones	gl	1	1,18	1,18
TOTAL (UF)	167,5			

Tabla 27. Costos en obra gruesa primer piso. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla **27** y **28** se toma en cuenta como obra gruesa los pilares y vigas que estructuran la vivienda como un marco, que puede ser estructurada mediante envigados que son los encargados de transmitir la carga de los pisos, estos envigados se encuentran con aislante de lana celulosa, dentro de los

costos descritos en la tabla, las vigas y pilares son los elementos más costosos de la vivienda debido a que es necesario fabricarlos a medida a pesar de que su largo coincide con los 3,2[m] disponible en el mercado, la sección no coincide con nada disponible comercialmente hablando, por lo que es necesario manufacturarlos en fábrica, estos se fabrican mediante laminación y fijados mediante adhesivos industriales y medio mecánicos de fijación como tornillos zincados, clavos o pernos.

OBRA GRUESA SEGUNDO PISO				
	Unidad	Cantidad	Costo unitario (UF)	Total (UF)
ESTRUCTURA				
Pilar Compuesto 6"x6"x300	un	12	0,98	11,76
Vigas Compuesta 6"x10"x320	un	25,5	1,2	30,6
Herrajes de conexión	un	12	0,8	9,6
Pasadores ½" 20cm	un	500	0,01	5
PISO				
OSB 18mm	un	18	0,6	10,8
OSB QuickFinish 11mm	un	18	0,6	10,8
Aislante celulósico 10cm	un	10	0,3	3
Pino paneles 2"x4"x320	un	55	0,13	7,15
Pino envigado 2"x4"x320	un	50	0,13	6,5
Fijaciones	gl	1	1,2	1,2
MUROS EXTERIOR				
OSB 11mm	un	30	0,3	9
OSB QuickFinish 11mm	un	30	0,6	18,0
Pino paneles 2"x4"x320	un	70	0,1	7,0
Membrana Hidrofuga	m ²	90	0,04	3,6
Barrera Vapor	m ²	90	0,02	1,8
Fijaciones	gl	1	1,2	1,2
TECHUMBRE				
Vigas Compuesta 6"x10"x320	un	15,5	0,98	15,19
Pino estructura 2"x4"x320	un	80	0,13	10,4
Pino envigado 2"x8"x320	un	70	0,13	9,1
Aislante celulósico 20 cm	un	25	0,39	9,75
OSB QuickFinish 11mm	un	32	0,59	18,88
Pino 2"x3"x320 (cercha)	un	200	0,08	16
OSB refractante 9,5mm	un	50	0,59	29,5
Tabla Pino Alero 1"x 3" x320	un	300	0,05	15
Herrajes	un	12	0,78	9,36
Fijaciones	gl	1	1,96	1,96
TOTAL (UF)			272,15	

Tabla 28. Costos en obra gruesa segundo piso. Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de los costos de obra gruesa en primer piso, en la tabla 28, se considera también la techumbre como un ítem agregando elementos como las cerchas una mayor cantidad de aislante tomando en cuenta que las mayores pérdidas de calor se encuentran en la techumbre, además del OSB refractante el cual cumple la función de no dejar escapar el calor, mediante la lámina de aluminio.

DIVISIÓN Y TERMINACIÓN INTERIORES				
	Unidad	Cantidad	Costo unitario (UF)	Costo 1 casa (UF)
TABIQUES INTERIORES (30ml)				
OSB QuickFinish 11mm	un	60	0,59	35,4
Pino 2"x3"x320	un	50	0,08	4
Fijaciones y Anclajes	gl	1	1,18	1,18
PAVIMENTOS				
Losa liviana 4cm	m ³	5	5,88	29,4
Afinado Superficies	m ²	130	0,08	10,4
Cerámica Pisos	m ²	20	0,47	9,4
Cerámica Muros	m ²	40	0,31	12,4
Adhesivo	Tn	4	0,78	3,12
BAÑOS				
Kit Wc+Lavamanos+Grifería	un	3	6,27	18,81
Tina + Ducha Oxigenics	un	2	5,88	11,76
Azulejos	m ²	30	0,24	7,2
Cerámica Piso	m ²	10	0,39	3,9
Otros Baño	gl	1	0,98	0,98
COCINA				
Kit Lavaplatos Doble +Grifería	un	1	7,06	7,06
Muebles Cocina	un	1	13,73	13,73
Mueble colgante	un	1	13,73	13,73
ESCALERA MADERA				
Kit Escalera Pino	gl	1	7,84	7,84
Kit Baranda	gl	1	3,14	3,14
Barniz Poliuretano	gl	1	3,92	3,92
Fijaciones y Anclajes	gl	1	1,18	1,18
CIELOS				
Yeso-cartón	m ²	100	0,2	20
Fijaciones y Anclajes	gl	1	2,75	2,75
PUERTAS				
Puertas Exterior + Marco	un	1	5,88	5,88
Puertas Interior+Marco +Quincallería	un	7	3,14	21,98
TOTAL (UF)	249,16			

Tabla 29. Costos en tabiquerías y terminaciones. Fuente: Elaboración Propia.

Como todas las construcciones las terminaciones son las que consumen gran parte del tiempo en la construcción debido al nivel de detalle que a veces se requiere resolviendo encuentros, aplicación de barnices, sellos e instalación de artefactos.

INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y SANITARIAS				
	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (UF)	Costo 1 casa (UF)
INSTALACIONES ELÉCTRICAS				
Empalmes Eléctrico	gl	1	31,37	31,37
Cables eléctricos, tuberías y cajas	gl	1	21,57	21,57
Enchufes, interruptores, remarcado	gl	1	8,63	8,63
Luces LED	un	75	0,15	11,36
INSTALACIONES SANITARIAS				
Kit Colector Solar ACS, NEO 20M 9,8[m ²]	un	1	60,05	60,05
Calefont Termosolar 13[lts]	un	1	7,44	7,44
Tuberías PVC y Accesorios	gl	1	5,88	5,88
Fosa Séptica	gl	1	23,53	23,53
Excavación	gl	1	11,76	11,76
Tuberías Cobre y Accesorios	gl	1	7,06	7,06
Estanque Agua 2400 [lts]	gl	1	13,73	13,73
Soporte Estructura Fe	gl	1	9,41	9,41
Hydropack	gl	1	5,88	5,88
TOTAL (UF)	217,67			

Tabla 30. Costos en instalaciones eléctricas y sanitarias. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 33 de instalaciones eléctricas y sanitarias el gran costo que se debe asumir en este caso es la de los colectores solares, al igual que el estanque de acumulación de agua de 2.400[lts], ya que en la comunidad ecológica como se mencionó anteriormente no existe aún agua potable en el sector.

Descripción	Costo (UF)
Container	43,13
Lockers	18,03
2 baños químicos	27,45
TOTAL (UF)	88,61

Tabla 31. Costos de instalaciones generales. Fuente: Elaboración propia.

Los costos de instalaciones generales descritos en la tabla 31, corresponden a las comodidades básicas que necesitará la gente que trabaja en la construcción de la vivienda, que corresponde a container que podrán servir como bodega de insumos y una pequeña oficina, los lockers para que la gente pueda guardar sus efectos personales y dos baños químicos los cuales deberán ser vaciados cada dos semanas para efectos de higiene.

Cantidad	Cargo	Perfil	Total Sueldo bruto \$/mes	Sueldo bruto UF/mes	Total
10	Carpinteros	Personal capacitado	\$4.500.000	176,4	1058,4
1	Supervisor	Técnico construcción	\$ 750.000	29,41	176,46
2	Cuidador	Personal capacitado	\$ 310.000	12,155	72,93
TOTAL (UF)	1307,79				

Tabla 32. Costos de mano de obra general. Fuente: Elaboración propia.

Mano de obra especializada	Unidad	Costo unitario (UF)	Costo Total (UF)
Instalación Eléctrica	H.H	1,00	58,82
Instalación Sanitaria y Fosa Séptica	H.H	1,13	50,98
Instalación agua potable y Estanque	H.H	1,05	47,00
Instalación gas y colector solar	H.H	1,1	47,12
Instalación Cerámicos	m ²	0,2	9,8
Instalación Membrana Liquida	m ²	0,47	47,06
Enyesadores	m ²	0,2	68,63
Pintores	m ²	0,24	188,24
TOTAL (UF)	517,65		

Tabla 33. Costo de mano de obra especializada. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la mano de obra ya sea especializada o general, los costos no difieren de una vivienda tradicional aunque si es posible que sea necesario una capacitación pero de forma general como por ejemplo para la instalación de la membrana líquida la cual su función es la de impermeabilizar la techumbre, al igual que la instalación de un colector solar pero para ello ya existe en el mercado personal capacitado. Cabe destacar que los valores que aparecen en la tabla 33 de mano de obra especializada, los valores son por toda la instalación ya sea eléctrica, sanitaria, gas,

cerámicos los cuales en la construcción se cobra por el trabajo o m². Agregando al hecho de que en construcción sobre todo cuando se trata de trabajos específicos se cobra por trabajo realizado los tiempos de instalación son menores considerando que al instalador no le conviene económicamente una demora en el trabajo.

Administración y puesta en marcha	Unidad	Costo unitario (UF)	Cantidad	Costo Total (UF)
Arquitecto	H.H	0,51	380	193,8
Cálculos estructurales	un	98	1	98
Administrador de obra	H.H	0,6	1140	684
Planos eléctricos	un	82	1	82
Planos sanitarios	un	88,225	1	88,225
Permiso edificación	un	35	1	35
TOTAL	1181,025			

Tabla 34. Costo administrativo y puesta en marcha. Fuente: Elaboración propia.

Los costos asociados a la vivienda por la administración descritos en la tabla 34, siempre son necesarios considerando que existen una serie de trámites legales en post de regularizar la vivienda, aunque sea posible que no pueda obtener una recepción definitiva por parte de la municipalidad debido a que en la comunidad no existe una red de alcantarillado y agua potable, aun así es necesario contar con los planos de emplazamiento de la vivienda, plantas, corte escantillón, instalaciones eléctricas y sanitarias, para una correcta cubicación de los materiales, considerando un futuro alcantarillado y recepción municipal.

5.2 Evaluación económica

Dentro de las ítems a evaluar siempre se debe considerar uno de gran importancia el económico ya que generalmente para algún proyecto innovador existe un costo asociado que no se encuentra contemplado en uno de tipo tradicional, pero existe un ahorro o mejora en los procesos que vale la pena evaluar la amortización de ese mayor costo. En este caso el beneficio es el de un ahorro energético importante en comparación con una vivienda tradicional que se traduce en un menor costo de

operación de la vivienda tomando en cuenta la energía que se gasta en calefacción, iluminación y ACS. Es importante considerar los valores de los distintos combustibles tradicionales y como afectan si estos llegan a bajar o subir en su costo. Es importante comparar los consumos energéticos de la vivienda tradicional, con la vivienda bioclimática, donde la vivienda tradicional será una vivienda de las mismas características dimensionales variando la solución de muros, ventanas, techumbre y piso.

Los valores de transmitancia térmica vienen dados por la reglamentación térmica y poseen los siguientes valores según la figura 18 para la zona térmica 3-A:

Techumbre: $U = 0,47[W/m^2 \cdot K^\circ]$

Muros: $U = 1,9[W/m^2 \cdot K^\circ]$

Pisos Ventilados: $U = 0,7[W/m^2 \cdot K^\circ]$

Ventanas: $U = 5,8[W/m^2 \cdot K^\circ]$ con un factor solar = 0,87

Según los metros cuadrados de ventanas. Muros, techumbres y pisos nos da un valor por la superficie a calefaccionar de:

Nombre	$U[W/m^2 \cdot K^\circ]$	Superficie[m ²]	Energía[kWh]	Energía[kWh/m ² ·año]
Muro Oriente	1,9	31,72	2.892,86	23,54
Muro Poniente	1,9	34,49	3.145,49	25,60
Muro Sur	1,9	31,63	2.884,66	23,48
Muro Norte	1,9	15,413	1.405,67	11,44
Techumbre	0,47	126,16	2.846,17	23,16
Piso	0,7	71,68	2.408,45	19,60
Ventanas	5,8	56,46	14.592,61	118,75
Infiltración	-	122,88	4.768,72	38,81
Ganancias Internas	-	-	1130,25	-9,198
			Total	275,18

Tabla 35. Demanda energética de calefacción para una vivienda tradicional. Fuente:

Elaboración propia.

Vivienda Tradicional:

Demanda de calefacción = 275,18 [kWh/m²*año]

Demanda ACS = 56,738 [kWh/m²*año]

Demanda de iluminación = 10,119 [kWh/m²*año]

Nombre	Bioclimática [kWh/m ² *año]	Tradicional [kWh/m ² *año]
Calefacción	98,07	275,18
ACS	14,18	56,738
Iluminación	1,297	10,119
Electrodomésticos	13,94	13,94
Total	127,49	355,98

Tabla 36. Cuadro comparativo de vivienda bioclimática y tradicional .Fuente: Elaboración propia.

En este caso comparativamente sabemos que la vivienda bioclimática consume un 65% menos que la vivienda tradicional que cumple con la reglamentación térmica, por lo que ahorro en energía puede considerarse como una ganancia en términos económicos, para este caso se considera además una vida útil de la vivienda y equipos de 20 años.

Ahorro anual (\$/año) = Ahorro energético (kWh/año) * Precio actual de la energía (\$/kWh)

$$= (299,242-113,31) * 122,88[\text{m}^2]*109,71[\$/\text{kWh}] + ((56,738-14,18) * 122,88[\text{m}^2] * 73[\$/\text{kWh}])$$

$$= 2.888.335,408 [\$/\text{año}].$$

Se considerará el sobre costo de la vivienda por sobre una vivienda tradicional como un costo de inversión que será necesario para aislación térmica, ventanas, etc. Generalmente una vivienda tradicional posee un costo menor del orden de un 20 a 25% que una vivienda eficiente energéticamente. En este caso específico determinaremos un 20% menor que la vivienda bioclimática.

Nombre	Costo vivienda [U.F]	Costo vivienda [\$]
Bioclimática	4.056	107.085.000
Tradicional	3.245	85.668.000
Sobrecosto	-	21.417.000

Tabla 37. Sobrecosto de la vivienda bioclimática sobre una tradicional. Fuente: Elaboración propia.

Es importante saber que el ahorro anual, puede cambiar en el tiempo donde el costo de la energía eléctrica y el GLP (gas licuado petróleo) varían constantemente, es por ello que se hace necesario realizar un análisis de sensibilidad y como afecta a la factibilidad del proyecto.

Amortización de la vivienda respecto a la inversión

Se calculara el período de recuperación del capital respecto del ahorro anual que se produce en calefacción, iluminación y ACS.

$$\text{Período de amortización} = \frac{\text{Sobrecosto}}{\text{Ahorro Anual}} \quad (40)$$

El período de amortización en este caso es de 7,4 años lo que es bastante bajo tomando en cuenta que la vida útil de una vivienda es de 20 años.

Factibilidad de una vivienda bioclimática

Necesitamos saber si el sobrecosto se compensa con el ahorro anual que se consigue en términos de calefacción, es por ello que los ahorros totales futuros son necesarios traerlos al presente para comparar de manera efectiva el costo con los ahorros respectivos.

Una forma de calcularlo es con el VAN (valor actual neto), asumiendo que nos encontramos con un beneficio que es el ahorro y una inversión que sería el sobrecosto de la vivienda bioclimática, por sobre una vivienda del tipo tradicional que cumple con la reglamentación térmica. Se utiliza por lo tanto, la siguiente fórmula.

$$VAN = -I + \frac{R * [1 - (1 + i)^{-t}]}{i} \quad (41)$$

Dónde:

I = Inversión (Sobrecosto en comparación vivienda tradicional)

R = beneficio o ahorro anual al realizar la vivienda bioclimática.

i = Tasa de descuento o rentabilidad mínima exigida al proyecto.

t = período que se analiza esta inversión, este caso la vida útil de la vivienda.

	Valores en \$
Tasa de descuento	12%
Período (años)	20
Costo inicial de inversion	\$21.417.000
Ahorro Anual	\$ 2.888.335
Ahorro Total	\$57.766.708
Valor actual neto (VAN)	\$ 157.258

Tabla 38. Valor actual neto del sobrecosto y ahorro anual de la vivienda bioclimática. Fuente: Elaboración propia.

Otro indicador importante en análisis de este tipo es el de la tasa interna de retorno (TIR) que nos indica hasta qué punto es factible el proyecto y cuál es la tasa de descuento máxima aplicable al proyecto. Se calcula haciendo $VAN = 0$ lo cual significa que es indiferente realizar o no la inversión.

	Valores en \$
Período (años)	20
Costo inicial de inversion	\$ 21.417.000
Ahorro Anual	\$ 2.888.335
Ahorro Total	\$ 57.766.708
Tasa interna retorno (TIR)	12,117%

Tabla 39. Tasa interna de retorno de la vivienda bioclimática. Fuente: Elaboración propia.

Con este valor de tasa interna de retorno, quiere decir que recuperaremos la inversión en aproximadamente en **8,25 años**, siempre considerando que es un proyecto puro esto quiere decir que no hay créditos financieros considerados, sino

habría que considerar amortización, intereses y pago de crédito hipotecario, básicamente lo se analiza en este apartado es saber si es conveniente invertir en mejoras respecto a una vivienda tradicional considerando, materiales, arquitectura y equipos.

5.3 Análisis de sensibilidad del mercado de energía

Día a día el valor de la energía se encarece cada vez más ya que los recursos cada vez son más acotados tomando en cuenta las energías que no son renovables como el petróleo, GLP y GNL, sin embargo existen ocasiones donde los valores tienden a la baja es por ello que se hace necesario un análisis de sensibilidad tomando en cuenta las variaciones del mercado.

	GLP (\$/kWh)	Electricidad (\$/kWh)
Precio Actual	\$ 73,0	\$ 109,7
Actual + 10%	\$ 80,3	\$ 120,7
Actual + 15%	\$ 84,0	\$ 126,2
Actual + 20%	\$ 87,6	\$ 131,7
Actual + 25%	\$ 91,3	\$ 137,1
Actual + 35%	\$ 98,6	\$ 148,1
Actual + 50%	\$ 109,5	\$ 164,6
Actual - 5%	\$ 69,4	\$ 104,2
Actual - 10%	\$ 65,7	\$ 98,7
Actual - 15%	\$ 62,1	\$ 93,3

Tabla 40. Variación del kWh en GLP y electricidad. Fuente: Elaboración propia.

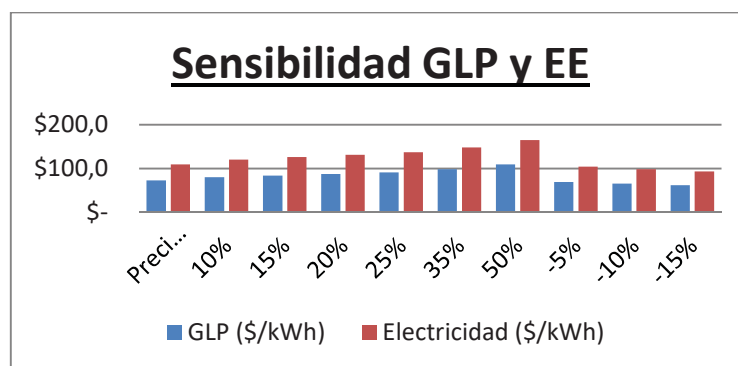


Figura 94. Variación del precio por kWh en GLP y EE. Fuente: Elaboración propia.

El valor actual neto variará dependerá del precio de la energía sabiendo si es factible o no implementar una solución constructiva y arquitectónica, es por ello que necesitamos saber cuánto es la variación del VAN de la vivienda bioclimática.

	Precio GLP(\$/kWh)	Precio EE(\$/kWh)	Ahorro(\$/año)	VAN
Precio Actual	\$ 73,0	\$ 109,7	\$2.888.335,4	\$ 157.258
-5%	\$ 69,4	\$ 104,2	\$2.743.918,6	\$ -921.454
-10%	\$ 65,7	\$ 98,7	\$2.599.501,9	\$ -2.000.167
-15%	\$ 62,1	\$ 93,3	\$2.455.085,1	\$ -3.078.880
10%	\$ 80,3	\$ 120,7	\$3.177.168,9	\$ 2.314.684
15%	\$ 84,0	\$ 126,2	\$3.321.585,7	\$ 3.393.397
20%	\$ 87,6	\$ 131,7	\$3.466.002,5	\$ 4.472.110
25%	\$ 91,3	\$ 137,1	\$3.610.419,3	\$ 5.550.823
35%	\$ 98,6	\$ 148,1	\$3.899.252,8	\$ 7.708.249
50%	\$ 109,5	\$ 164,6	\$4.332.503,1	\$10.944.388

Tabla 41. Análisis de sensibilidad del VAN según variación del precio de la energía. Fuente: Elaboración propia.

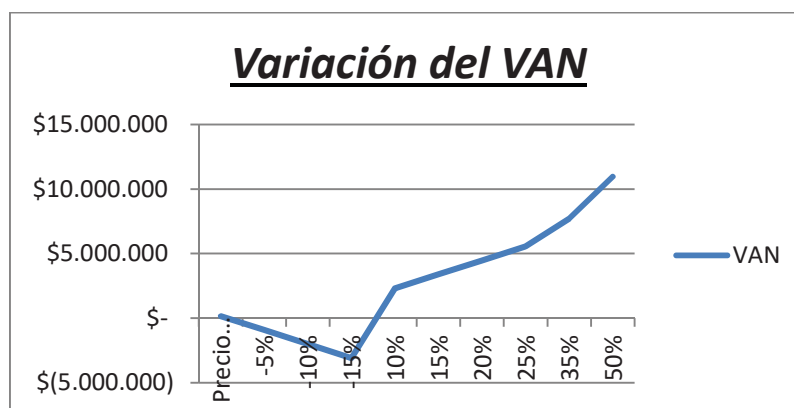


Figura 95. Variación del VAN según la variación del precio de la energía. Fuente: Elaboración propia.

La figura 95 define que con variaciones de 5, 10 y 15 menos del valor actual la factibilidad económica de construir una vivienda bioclimática se ve comprometida sin embargo estas bajas en el valor son solo puntuales y la tendencia siempre es al alza, debido al panorama actual existen ocasiones donde la variación es mayor a lo normal debido al panorama geopolítico del momento.

Conclusiones y recomendaciones

Uno de los objetivos de este estudio además de realizar un diseño de la vivienda fue poder saber si es factible económicamente, optar por una vivienda con estas características tomando en cuenta los sobrecostos que esto implica. Hoy en día las exigencias en cuanto a la transmitancia de muros, techumbre, pisos y ventanas son cada vez mayores obligando a la industria inmobiliaria a optar por materiales de mayor calidad en pos del confort térmico e higiene. Tomando en cuenta todos estos parámetros **se recomienda la implementación de una vivienda bioclimática**, en la zona de Santiago para una mejor calidad de vida. Económicamente hablando que es lo primero que analizan las personas que adquieren generalmente una vivienda es que los sobrecostos son posibles amortizarlos en un plazo de 8-9 años pensando siempre en una primera vivienda, distinto es el caso de que una persona optara como una segunda vivienda ya que si no se dispone de la vivienda para un uso intensivo no se justifica el sobrecosto, con la excepción de las personas que optan como una forma de ayudar al medio ambiente. Además del tema económico existen otras ventajas como evitarse problemas de higiene y confort asociado a una posible condensación al interior de la vivienda, evitando posibles mohos, con ello reducimos las enfermedades respiratorias de las personas que habitan la vivienda siendo una ventaja respecto de la calidad de vida de las personas que habiten una vivienda tradicional que poseen una aislación deficiente produciendo condensaciones indeseadas, además del uso de calefactores que utilizan parafina como combustible liberando humedad excesiva al interior de la vivienda. Hoy en día la tendencia de las viviendas es que cada vez sean de mejor calidad las construcciones con mejor control de infiltraciones, mayor aislación y el uso de sistemas de calefacción más eficientes, hay que destacar que cada vez las demandas térmicas tienden a ser menores. Si hoy en día queremos reducir las emisiones de CO₂ es necesario integrar a las viviendas como un ítem en los planes de eficiencia energética, reduciendo el smog producido por las partículas MP 2,5 y MP 10. Es recomendable que las

viviendas sean cada vez más eficientes para producir un ahorro en calefacción, este diseño si bien no es del más eficiente dentro de estándares superiores (Passivhaus) para los parámetros chilenos de calificación energética, es una vivienda con la etiqueta “A” en términos de arquitectura el cual produce un ahorro cercano al 50% en demanda de calefacción respecto a una vivienda base el cual posee las mismas características dimensionales y orientaciones pero con los valores mínimos exigidos por la reglamentación térmica. Es recomendable y necesario por las razones mencionadas implementar una vivienda de este tipo o que a lo menos considere demandas de calefacción de $60[\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{año}]$ para que el ahorro sea significativo.

Nomenclatura general

A_c : Área cubierta de vidrio en $[m^2]$

A_f : Área del marco en $[m^2]$.

A_g : Área de cristal en $[m^2]$

A_i : Superficie de la vivienda expresada en $[m^2]$.

A_{sre} : superficie de referencia en $[m^2]$

A_w : Superficie total de la ventana (cristal + marco) en $[m^2]$

C: Porcentaje de demanda o consumo respecto a la vivienda de referencia.

C_p : calor específico en $[kJ/kg^{\circ}C]$

c: capacidad específica en $[W^{\circ}h/m^3^{\circ}K]$

e: espesor del material en $[m]$

F_f : Tensión de diseño en $[kg/cm^2]$

f_s : Factor solar, suciedad, no perpendicularidad, sombra [-]

f_t : Factor reductor de temperatura [-]

G: Radiación solar en $[kWh]$

GD: grados-días expresado en $[kK^{\circ}h]$

G_t : Grados día del lugar en $[k^{\circ}Kh]$

I: momento de inercia en $[cm^4]$

I: Inversión del proyecto en pesos chilenos.

I_s : radiación incidente en $[W/m^2]$

K_1 : coeficiente de pérdidas en $[W/m^2 \cdot ^\circ K]$

K_2 : coeficiente de pérdidas en $[W/m^2 \cdot ^\circ K]$

L : largo en $[m]$

L_g : Longitud de borde del cristal en $[m]$

MP: material particulado expresado en μm .

PPC: promedio ponderado expresado en %.

Q_H : Demanda de energía en $[kWh]$

Q_L : Pérdidas de energía en $[kWh]$

Q_T : Pérdidas por transmisión en $[kWh]$

Q_V : Pérdidas por ventilación en $[kWh]$

Q_S : Ganancias solares en $[kWh]$

Q_I : Ganancias internas en $[kWh]$

q_c : transferencia de calor por convección en $[W/^\circ C]$.

q_i : cargas internas en $[W/m^2]$

q_k : transferencia de calor por conducción en $[W/^\circ C]$.

q_r : transferencia de calor por radiación en $[W/^\circ C]$.

R_{se} : Resistencia superficial exterior en $[m^2 \cdot ^\circ K/W]$

R_{si} : Resistencia superficial interior en $[m^2 \cdot ^\circ K/W]$

R_t : Resistencia total en $[m^2 \cdot ^\circ K/W]$

T_a : temperatura ambiente en $[^\circ C]$

T_m : Temperatura media del fluido en $^{\circ}\text{C}$

TIR: Tasa interna de retorno en [%]

t: período de duración del proyecto (meses, años, días)

U: Transmitancia térmica en $[\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}]$.

U_f : Transmitancia térmica del marco en $[\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}]$

U_g : Transmitancia térmica del cristal en $[\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}]$

V: volumen en $[\text{m}^3]$

VAN: Valor actual neto en pesos chilenos

W: momento resistente en $[\text{cm}^3]$

Δ_{max} : deformación máxima en $[\text{cm}]$

Δ_{Adm} : deformación admisible en $[\text{cm}]$

Simbología griega

α : Absortividad en $[-]$

α_1 : Ángulo del techo en grados

α_2 : Ángulo solar en solsticio de invierno en grados

α_3 : Ángulo solar intermedio en grados

α_4 : Ángulo solar en solsticio de verano en grados

λ : conductividad térmica en $[\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{K}]$

η_o : rendimiento óptico en $[-]$

η : rendimiento en $[-]$

ρ : Densidad expresada en $[\text{kg/m}^3]$

φ : Puente térmico lineal en $[\text{W/m}^{\circ}\text{K}]$

fR_{si} : factor de temperatura [-]

Θ_{si} : Temperatura superficial interior en $[^{\circ}\text{C}]$

Θ_e : Temperatura exterior en $[^{\circ}\text{C}]$

Θ_i : Temperatura interior en $[^{\circ}\text{C}]$

δ : Transmisividad en [-]

Bibliografía

1. Yunus A. Cengel (2015). Transferencia de calor y masa. Universidad de Reno. Mc Graw Hill.
2. Curso PassivHauss Expert (2016). PassivHauss Expert en Sudamérica. Arquiambiente Ltda. Marcelo Huenchuñir.
3. Ministerio de vivienda y urbanismo (2013). Manual de procedimiento de calificación energética de viviendas en Chile. MINVU. Disponible en <http://www.calificacionenergetica.cl/>.
4. Ordenanza general de urbanismo y construcción (2007). Manual de aplicación de reglamentación térmica art. 4.1.10. O.G.U.C.
5. Instituto nacional de normalización (2007). NCh **853** Acondicionamiento térmico, envolvente térmica, cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. INN.
6. Instituto nacional de normalización (2010). NCh **432** Diseño estructural, cargas de viento. INN.
7. Instituto nacional de normalización (2006). NCh **1198** Construcciones madera, cálculos. INN.
8. Instituto nacional de normalización (2007). NCh **853** Acondicionamiento térmico, envolvente térmica de edificios, cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.
9. CNE/PNUD/UTFSM (2008). Irradiancia Solar en territorios de la República de Chile.UTFSM.
10. Jaume Ribot, Antonio Escuder, Roser Quinquillá y Albert Rovira (1995). Curso de energía solar. Centro de Tecnología Educativa.
11. Corporación de desarrollo tecnológico (2005). Curso “Instalaciones solares térmicas para ACS e industria”. Cámara chilena de la construcción.
12. Guía del estándar Passivhauss, Fundación de energía comunidad de Madrid, 2011 [en línea], (Consulta en el mes de Febrero) Disponible en:

<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-del-Estandar-Passivhaus-fenercom-2011.pdf>

13. Agencia Chilena de eficiencia energética. Aplicación del sistema de calificación energética de viviendas existentes.
14. Tobias Hatt (2012). Estándar Passivhaus en el centro-sur de Chile, Tesis doctoral, Universidad del Bio-Bio, Concepción, disponible en: http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2012/hatt_t/html/index-frames.html.
15. Cálculo de aleros. Dimensionamiento de aleros mediante planilla de cálculo (consulta en el Mes de Diciembre). Disponible en: <http://www.tangiblex.net/apps/diego/wp/calculo-de-aleros/>.

Anexo 1: Análisis energético de la vivienda en CEV

El análisis corresponde a la vivienda bioclimática en cuestión tomando en cuenta algunas consideraciones que se encuentran intrínsecas en la planilla Excel de la calificación energética como las infiltraciones que en este caso corresponde a $1[h^{-1}]$ la que quiere decir que el aire contenido se renueva una vez por hora. Además el software lo que realiza es un análisis comparativo respecto a una vivienda de referencia que corresponde a la misma vivienda en términos de superficie y que cumple con la reglamentación térmica y una orientación promedio de las ventanas. La letra correspondiente a la reglamentación posee la letra “E”.

- 1.1) Primero que todo se rellena las casillas correspondientes a datos generales e identificación del proyecto. Un dato importante a rellenar en este caso es el de la zona térmica que en este caso corresponde a la zona 3-A ya que nos encontramos por debajo de la cota 1.000[msnm], se rellenan también datos del evaluador energético, dirección, rol de la vivienda, etc.
- 1.2) En esta sección se rellenan con datos de las características constructivas de los muros de la envolvente, pisos, techumbre, y ventanas. En este caso también existen secundarios, esto se rellena cuando se poseen otras soluciones de envolventes, por ejemplo: se posee un muro de albañilería, y otro muro de vulcometal el principal es que posee mayor m^2 .
- 1.3) Se describen de manera general los sistemas de calefacción y el sistema de agua caliente como caldera, aire acondicionado, etc.
 - 2) Se introducen las dimensiones de la vivienda y las alturas de cada uno de los pisos y así se autocompleta el volumen de aire de la vivienda. Es importante agregar que el área que se introduce en este caso es el área a calefaccionar, no se incluyen logias, cocina, etc...
- 3.1) Se introducen las características térmicas del muro, ventanas, piso y techumbre (U), el área de cada uno y en la columna de la derecha aparece

el valor de ($U_{\text{máx}}$) que es el valor máximo definido por la reglamentación térmica.

3.2) En este caso se introducen los valores de FA calculados en la pestaña Notas 1 según las características constructivas y el FS(factor solar) que viene dado por características intrínsecas del cristal dadas por el fabricante.

4) En este punto se define el tipo de cálculo de la demanda en calefacción puede ser estática o dinámica. En el caso que se cuente con una superficie mayor al 70% se debe calcular mediante un cálculo dinámico con un software llamado CCTE, en este caso debe realizarse mediante un cálculo estático.

5) Aquí aparecen los resultados producto de los datos introducidos en los puntos anteriores, tales como demanda de calefacción expresados en $[\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{año}]$, demanda de iluminación también en $[\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{año}]$.

6.1) En este apartado se definen los equipos y sistemas de calefacción, aparece un valor referencial de potencia referencial del sistema de calefacción. Aquí se selecciona que tipo de combustible a utilizar, rendimiento general del equipo principal, sistema de distribución de la calefacción, tipo de control de temperatura.

6.2) Se referencia el sistema de agua caliente sanitaria con que tipo de energía se va a utilizar para el calentamiento de ACS, rendimiento de generación de ACS, corrección por distribución (aislación de cañerías de distribución).

6.3) El sistema de iluminación viene definido por defecto.

6.4) Sistemas de captación de ERNC. En este punto se deben definir si se dispone de sistemas de captación para el calentamiento de agua sanitaria y calefacción, introduciendo el tipo de captador, rendimiento óptico, coeficiente de pérdidas térmicas por convección y radiación, arrojando posteriormente porcentaje de aporte al ACS.

7) Aquí aparecen resultados del consumo energético de la vivienda, como consumos de energía primaria en calefacción, ACS e iluminación.

8) Índice de sobrecalentamiento. En este ítem se asignan atributos con valores para arrojar un valor sobre qué tan riesgoso será que la vivienda sufra un sobrecalentamiento, ya sea por materialidad, ventanas, ganancias internas, aislación térmica y ventilación natural.

Cálculo según calificación energética

En este primer apartado rellenos con los siguientes valores:

1.1)

- 1) Precalificación energética
- 2) Zona 3-A
- 3) Vivienda bioclimática
- 4) Prototipo
- 5) El buen camino 500
- 6) Casa aislada (se refiere a si es pareada o no)
- 7) Rol de vivienda: No aplica
- 8) Evaluador energético
- 9) No aplica
- 10) Rut

1.1.- Datos generales e identificación del proyecto	
1	Tipo de Calificación: Pre Calificación Energética
2	Ubicación del proyecto: Zona 3 - A
	Comuna: Peñalolén
	Región: RM
3	Identificación de la vivienda a evaluar: Vivienda Bioclimática
4	Nombre del proyecto: Prototipo
5	Dirección de la vivienda: El Buen Camino 500
6	Tipo de vivienda: Casa aislada
7	Rol vivienda:
8	Evaluador energético: Felipe Sepúlveda
9	Rol registro de Evaluadores:
	RUT Evaluador: 16201008-5
10	Fecha de emisión:
11	Fecha de vencimiento:
12	Informe de Evaluación N°:
13	Solicitado por:
	RUT Mandante:

Figura 01. Datos generales a rellena en CEV. Fuente: www.calificacionenergetica.cl

1.2) Descripción general de los elementos de la envolvente.

Muro principal: Muro de estructura liviana 2x4", con aislación en su interior de lana de celulosa de 10[cm] y una densidad de 25[kg/m³].

Muro secundario: No aplica. No existe un muro secundario ya que se posee una solución en la envolvente.

Piso ventilado: Piso ventilado de 2x8", con aislación de lana celulosa de 20[cm] de espesor y una densidad de 25[kg/m³] y hormigón afinado de terminación.

Techo principal: Techo estructurado con pino insigne 2x8", aislado con lana de celulosa de 20[cm] de espesor y una densidad de 25[kg/m³], con planchas de barrera radiante de OSB de 18[mm].

Techo secundario: No aplica. Se opta por solo una solución de techumbre para la vivienda.

Ventana principal: Ventana tipo termopanel con una transmitancia de la ventana (cristal + marco) de $1,7[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}^\circ]$, cristales de espesor 6 [mm] y un separador de 12[mm] con gas Low-E.

Ventana Secundaria: No aplica. Se diseñó con las mismas características todas las ventanas, variando solamente sus dimensiones.

1.2.- Descripción general de los elementos de la envolvente (esto sólo se utiliza en la confección del certificado)		
14	Muro principal	Muro de estructura liviana, de 2x4" con aislación en su interior de lana celulosa de 10 cm
15	Muro secundario	
16	Piso ventilado princ.	Piso ventilado de 2x8", con aislación de lana de celulosa, con hormigón afinado de 4[cm]
17	Techo principal	Techo en estructura de pino 2x8" , con aislación de lana de celulosa en 20 cm con una densidad de 25[kg/m3]
18	Techo secundario	
19	Ventana principal	Ventana de termopanel con transmitancia térmica total de 1,7, con 6 mm y un separador de 12 [mm] con gas LOW-E $[\text{w}/\text{m}^2\cdot\text{K}^\circ]$
20	Ventana secundaria	

Figura 02. Descripción de los elementos de la envolvente. Fuente:
www.calificacionenergetica.cl

1.4) Se describen los equipos de calefacción y de calentamiento de agua sanitaria.
En este caso

2) Dimensiones de la vivienda.

Se anotan las dimensiones de la vivienda en el primer piso los metros cuadrados que son $87,04[\text{m}^2]$ en este caso y $42[\text{m}^2]$ en el segundo además se rellenan con la altura de la vivienda 2,4[m] en este caso.

3) Características térmicas de la envolvente.

3.1) Se anotan las superficies de las ventanas, muros, pisos, etc. Con sus respectivos valores de transmitancias térmicas.

Ventanas 1: Area: 56,46[m²] U: 1,7[W/m²*K°]

Piso ventilado: Area: 71,68[m²] U: 0,34[W/m²*K°]

Muro 1: Area: 113,25[m²] U: 0,44[W/m²*K°]

Techo 1: Área: 126,16[m²] U: 0,23[W/m²*K°]

RVM: Relación ventana muro calculada automáticamente por el software, cuando es mayor a 0,7 es obligatorio calcular la demanda de calefacción con un software llamado CCTE el cual utiliza un cálculo dinámico de la demanda de la calefacción.

3.- Características térmicas de la envolvente				
3.1.- Area y coeficiente de transferencia de calor por elemento constructivo				
	Area (m ²)	U (W/Km ²)	Umax (W/Km ²)	
27 Puertas		*		
28 Ventanas 1	56,46	1,70		
29 Ventanas 2		*		
30 Ventana en el techo				
31 Piso ventilado	71,68	0,34	0,70	
32 Muro 1	113,25	0,44	1,90	
33 Muro 2		*	1,90	
34 Muro 3		*	1,90	
35 Techo 1	126,16	0,23	0,47	
36 Techo 2		*	0,47	
	Perímetro (m)	kl (W/Km)		
37 Piso en contacto con terreno 1				
38 Piso en contacto con terreno 2				

RVM 0,33

Figura 03. Características térmicas de muros de la envolvente. Fuente:

www.calificacionenergetica.cl

3.2) Ventanas sombreamiento y orientación.

En este apartado se anotan los valores de FA (factor de asoleamiento) de cada ventana por orientación los cuales varían según sus características constructivas, el valor de FA es el producto de dos factores, FAV (factor accesibilidad ventana) y FAR (factor accesibilidad de elementos remotos)

El factor FAV es producto de tres factores (FAV1, FAV2, FAV3) el cual FAV1 tiene relación con todas los aleros superiores horizontales según lo ilustra la figura 04.

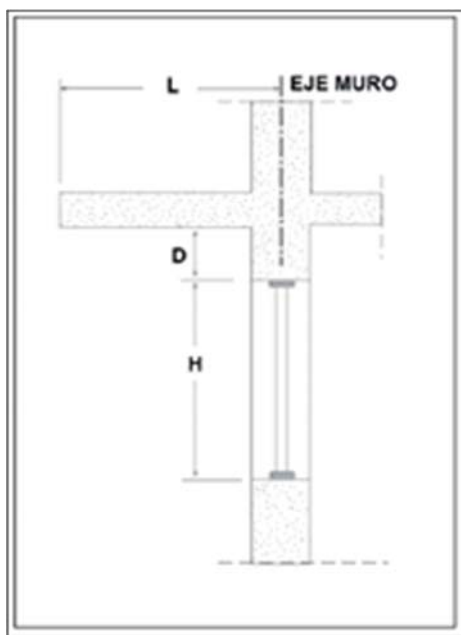


Figura 04. Características constructivas de un alero horizontal sobre una ventana. Fuente: www.calificacionenergetica.cl.

El valor de FAV 2 se refiere a todos los elementos que generan sombra del tipo vertical que afectan a la ventana.

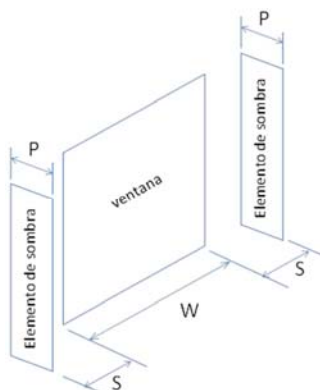
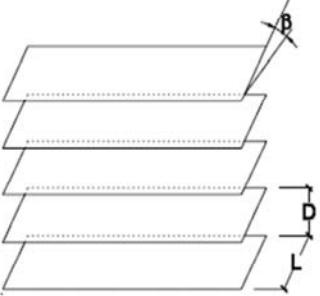


Figura 05. Elementos característicos que componen al FAV2. Fuente: www.calificacionenergetica.cl

Por último el valor de FAV3 se refiere a todos los elementos que generan sombra mediante láminas tales como persianas, lamas horizontales, lamas verticales, etc.

LAMAS HORIZONTALES			ANGULO DE INCLINACIÓN (β)		
			0	30	60
	ORIENTACIÓN	SUR	0,49	0,42	0,26
		SURESTE/ SUROESTE	0,54	0,44	0,26
		ESTE/ OESTE	0,57	0,45	0,27

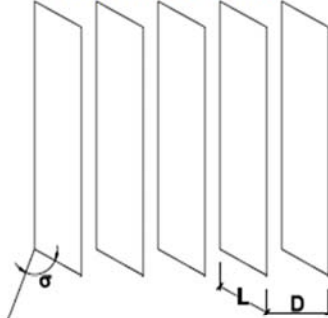
LAMAS VERTICALES			ANGULO DE INCLINACIÓN (σ)						
			-60	-45	-30	0	30	45	60
	ORIENTACIÓN	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
		SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
		ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
		OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
		SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

Figura 06. Valores característicos para FAV3. Fuente: www.calificacionenergetica.cl

FAR: El FAR o factor de accesibilidad remoto son todas las obstrucciones que generan sombra, sobre la ventana en algún momento del día, en este caso son consideradas edificaciones que se encuentren en un radio de 50[m] en caso de no existir ninguna se consideran cerros o próximas edificaciones que den como resultado un FAR menor o igual a 0,95[-]. Introduciendo todos los valores característicos según la orientación de las ventanas sabemos la letra que posee la vivienda en cuanto a la arquitectura de la vivienda.

5.- Resultados del cálculo de demanda calefacción + iluminación			
48	Demanda de calefacción	62,8	(kWh/ m ² año)
48a	Demanda de Iluminación	5,6	(kWh/ m ² año)
49	Temperatura de base	16,1	(°C)
50	Grados Día a la temperatura base	1063,0	(°C)
51	C (porcentaje de la demanda de referencia)	36,4	(%)
52	Demanda de referencia	182,4	(kWh/ m ² año)

6.- Definición de los equipos y sistemas			
6.1.- Sistema de calefacción			
53	Potencia referencial del sistema de calefacción	5,72	(kW)
Tipo de energético utilizado en el sistema de calefacción			
54	Electricidad		
Rendimiento general del equipo principal			
55	Bomba de calor aire - agua o aire - aire		2,6 (-)
Corrección por distribución			
56	Sistema unitario autocontenido		1,00
Corrección por control			
57	Control manual		0,80
Opción de definición de rendimiento del elemento principal en base a certificado de ensayo			
58	Rendimiento de generación (dejar valor cero "0" si no presenta certificado)		(-)
59	Rendimiento del sistema completo		2,08 (-)

Figura 07. Resultados de calefacción. Fuente: www.calificacionenergetica.cl

Luego de introducir los valores característicos de las ventanas el software nos arroja el resultado de la vivienda en términos de demanda de calefacción que da un total en este caso de **62,8[kWh/m²*año]**, luego el software asigna una potencia referencial de calefacción que en este caso es de 5,72[kW], para luego introducir los datos del sistema de calefacción que puede ser caldera, bomba de calor, calefactor a leña o sistema por defecto. También se debe introducir el tipo de energético a utilizar que puede electricidad, leña, gas natural o licuado.

Al igual que el sistema de calefacción se deben introducir los datos necesarios para el sistema de ACS, ingresando primero el tipo de energético a utilizar, en este caso gas licuado como sistema principal con gas modulante, con aislación en cañerías.

6.4.- Sistemas de captación de energías renovables no convencionales

¿Dispone de un sistema de colectores solar - térmico?

Si ▼

Sistema solar para aporte en calefacción y agua caliente sanitaria

Tipo de colector: Plano ▼

Tipo de servicio: Solo ACS ▼

Superficie total de colectores solares (bruta)	10,85	(m ²)
Angulo de inclinación de los colectores	33	(grados)
Angulo de azimut de los colectores	180	(grados)
Factor de corrección por obstrucciones	1	(-)

Propiedades del colector	Por defecto	A modificar	A usar
Rendimiento óptico del colector	0,75	0,753	0,75
Coefficiente de pérdidas térmicas	6,00	3,994	3,99
Relación Area Neta / Area Bruta	0,90	0,91	0,91

Resultados

Porcentaje de aporte solar al ACS	65,4	(%)
Porcentaje de aporte solar a la calefacción		(%)

¿Dispone de un sistema de paneles fotovoltaicos para generar electricidad?

No ▼

6.4 Se debe ingresar para este caso que se dispone de un sistema de colectores solares térmicos para ACS, luego se ingresan los datos como superficie bruta

2) Análisis de la vivienda bioclimática en PHPP.

Este estándar alemán de la vivienda establece parámetros fijos con los cuales la vivienda debe cumplir y en caso de no cumplir esta vivienda no puede ser certificada mediante el estándar Passivhauss. Estos parámetros son los siguientes:

Demanda máxima de calefacción: 15[kWh/m²*año]

Demanda máxima de refrigeración: 15[kWh/m²*año]

Renovaciones de aire: $n_{50} \leq 0,6$ [h⁻¹]

Consumo energía primaria máxima: 120[kWh/m²*año]

Temperaturas superficiales interiores de la envolvente: 17[°C]

Según los cálculos realizados en la memoria estamos muy lejos de este estándar pero aun así se introducirán los datos para analizar los valores obtenidos mediante

este software. Además existen ciertos parámetros que no fueron calculados debido a que el objetivo no es alcanzar este estándar ya que las exigencias son otras.

Edificio: Vivienda Bioclimática
Calle: El Buen camino 500
CP / Ciudad: Santiago
Provincia/País: Metropolitana CL-Chile
Tipo de edificio: Residencial
Datos climáticos: CL0001a-Santiago de Chile
Zona climática: 5: Cálido **Altitud de la localización:** 474 m

Propietario / cliente: Felipe Sepúlveda
Calle:
CP / Ciudad: Santiago
Provincia/País: Metropolitana CL-Chile

Arquitectura:
Calle: El Buen camino 500
CP / Ciudad: Santiago
Provincia/País: Metropolitana CL-Chile

Consultoría:
Calle: El Buen camino 500
CP / Ciudad: Santiago
Provincia/País: Metropolitana CL-Chile

Año construcción: 2016
Nr. de viviendas: 1
Nr. de personas: 27

Temp. interior invierno [°C]: 20,0
Temp. interior verano [°C]: 25,0
Ganancias internas de calor (GIC): caso calefacción [W/m²]: 2,5
GIC caso refrigeración [W/m²]: 2,5
Capacidad específica [Wh/K por m² de SRE]: 60
Refrigeración mecánica:

Cálculo de la demanda eléctrica / ganancias internas
Tipo de edificio: 1-Edificio residencial

Ganancias internas de calor (GIC)
Tipo de uso: 10-Vivienda
Valorar: 2-Estándar

Ocupación
1-Estándar (sólo para edificios residenciales)

¡VERSIÓN ACADÉMICA! ¡NO VÁLIDA PARA CERTIFICACIÓN U OTROS FINES!

Superficie de referencia energética		m²			Criterio	Criterios alternativo	¿Cumplido?
Calefacción	Demanda de calefacción	kWh/(m²a)	53	≤	15	-	No
	Carga de calefacción	W/m²	26	≤	-	10	
Refrigeración	Demanda refrigera. & deshum.	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Carga de refrigeración	W/m²	-	≤	-	-	

Breves instrucciones **Comprobación** Control Clima Valores-U Superficies Terreno Componentes Ventanas Sombras Ventilación Calefacción

Figura 07. Pestaña de comprobación Software PHPP. Fuente: PHPP 9.6

1.- Comprobación

En esta pestaña se introducen datos generales del proyecto tales como dirección de la vivienda a evaluar, ciudad, número de viviendas, temperatura de invierno donde se definen la temperatura interior de invierno 20°C en invierno y 25°C en verano, además se puede introducir la capacidad específica de la vivienda, donde se puede seleccionar entre una construcción liviana (60[Wh/m²*K°]), mixta (132[Wh/m²*K°]) o sólida (204[Wh/m²*K°]). Además se debe indicar que tipo edificación, si es o no residencial y que tipo de análisis se quiere realizar el cual puede ser una vivienda Passihauss Classic, Plus o Premium.

En la misma hoja aparece los valores de comprobación de la vivienda para saber si cumple con los requisitos o no como, demanda de calefacción, carga de calefacción, frecuencia de sobrecalentamiento, hermeticidad, demanda de energía primaria no renovable y primaria renovable.

2.-Control

En la pestaña control el software informa sobre posibles errores en los datos introducidos en las pestañas siguientes, el cual genera el hipervínculo sobre la hoja a corregir.

3.-Clima

Se debe introducir el país donde se encuentra emplazada la vivienda luego se selecciona los datos climáticos, donde además existe la posibilidad de introducir la altura donde se encuentra la vivienda, actualmente solo se encuentra disponible la ciudad de Santiago, pero es posible solicitar datos climáticos para cualquier otra zona previa aprobación del Passivhaus Institute.

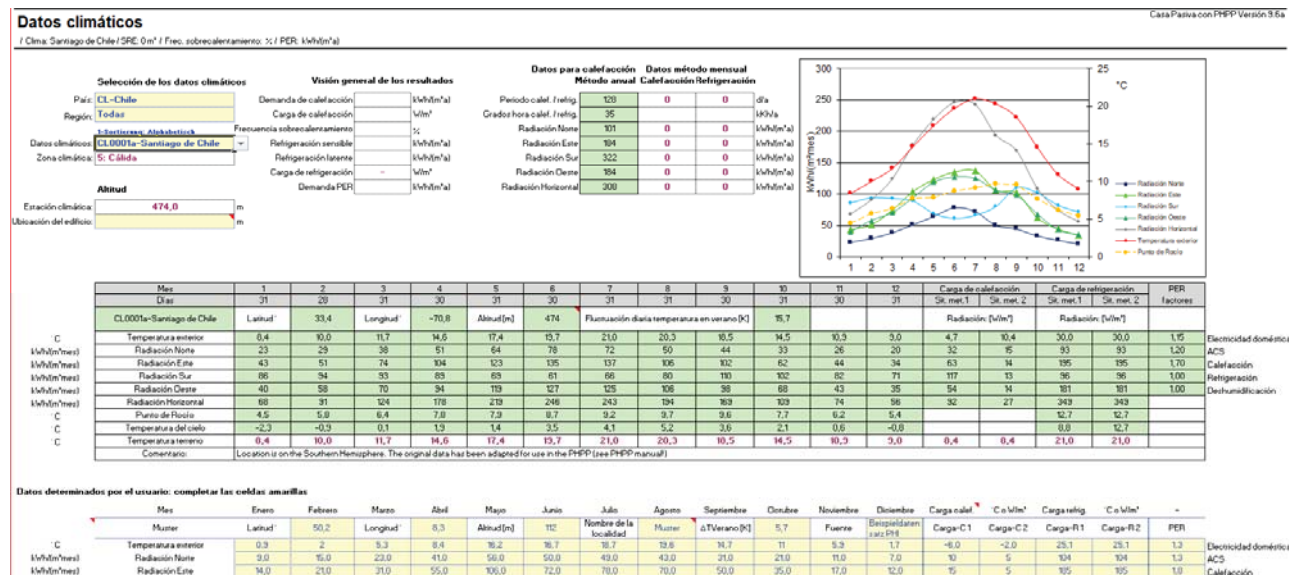


Figura 08. Datos climáticos de la zona. Fuente: PHPP 9.6

solera-piso y además es posible introducir manualmente la superficie de referencia energética.

Determinación de superficies

Casa Pasiva con PHPP Versión 9.6

Casa Pasiva Ejemplo / Clima: PHPP-Standard / SRE: 156 m² / Calefacción: 12,5 kWh/(m²a) / Frec. sobrecalentamiento: 1% / PER: 316 kWh/(m²a)

Cuadro resumen						Resumen de los elementos constructivos	Valor-U, promedio [W/(m²K)]	Ganancia por radiación periodo de calefacción [kWh/a] 6 Meses	Ganancia por radiación periodo de calefacción [kWh/a] 3 Meses
Código de temper.	Grupo de superficies	Nº de grupo	Superficie /Longitud	Unid.	Comentario				
	SRE (sup. de referencia energética)	1	156,00	m²	Superficie de referencia energética de acuerdo a manual PHPP				
A	Ventanas al norte	2	11,04	m²	Los resultados vienen de la hoja 'Ventanas'. Las superficies de ventanas se suman de las superficies opacas automáticamente son mostradas en la hoja 'Ventanas'	Ventanas al norte	0,771	219	373
A	Ventanas al este	3	0,00	m²		Ventanas al este			
A	Ventanas al sur	4	30,42	m²		Ventanas al sur	0,779	1816	657
A	Ventanas al oeste	5	2,00	m²		Ventanas al oeste	0,735	53	101
A	Ventanas horizontales	6	0,00	m²		Ventanas horizontales			
A	Puerta exterior	7	0,00	m²	Restar la superficie de la puerta exterior del elemento constructivo correspondiente	Puerta exterior			
A	Muro ext. - aire ext.	8	184,28	m²	La zona de temperatura "A" es la temperatura exterior	Muro ext. - aire ext.	0,138	10	116
B	Muro ext. - terreno	9	0,00	m²	La zona de temperatura "B" es el Terreno	Muro ext. - terreno			
A	Techo / cubierta - Aire ext.	10	83,41	m²		Techo / cubierta - Aire ext.	0,108	-9	126
B	Solera / losa piso / forjado sanitario	11	80,33	m²		Solera / losa piso / forjado sanitario	0,131		
		12	0,00	m²	Las zonas de temperatura "A", "B", "C" y "X" pueden utilizarse. (U) puede utilizarse la "T"				
		13	0,00	m²	Las zonas de temperatura "A", "B", "C" y "X" pueden utilizarse. (U) puede utilizarse la "T" Factor para X				
X		14	0,00	m²	Zona de temperatura "X". El usuario introduce el factor de temperatura ponderado (0 < f < 1)				
Puentes térmicos - resumen							Ψ [W/(m²K)]		
A	PTs ambiente exterior	15	116,85	m	Unidades en metros lineales	PTs ambiente exterior	0,030		
P	PTs perimetrales en el zócalo	16	0,00	m	Unidades en metros lineales. la zona de la temperatura "X" corresponde al perímetro (ver hoja de 'Terreno')	PTs perimetrales en el zócalo			
B	Puentes térmicos PIES	17	11,35	m	Unidades en metros lineales	Puentes térmicos PIES	0,061		
I	Muro divisorio entre viviendas	18	100,90	m²	Sin pérdida de calor, sólo se considera para el cálculo de la carga de calefacción	Muro divisorio entre viviendas	0,375		
Total de la envolvente térmica							Promedio de la envolvente térmica	0,134	

Introducción de superficies												2-Ordenar: POR D								
Nº de área	Denominación elemento constructivo	Grupo n	Asignación al grupo	Cantidad	x (l)	a (m)	b (m)	Definido por el usuario (m²)	Restado por el usuario (m²)	Sustracción de las ventanas (m²)	=	Superficie (m²)	Selección de elemento constructivo / sistema constructivo certificado	Valor-U [W/(m²K)]	Desviación respecto al norte	Ángulo de inclinación respecto a la horizontal	Orientación	Factor de reducción de sombras total	Absorción de la envolvente exterior	Emisividad exterior
	Huella proyectada del edificio	0	Huella proyectada del edificio	1	x (l)	7,13	x	11,35	+	-	=	80,3								
	Superficie de referencia energética	1	SRE (sup. de referencia energética)	1	x (l)	x		156,00	-	-	=	156,0								
	Puerta exterior	7	Puerta exterior		x (l)	x			+	-	=		Puerta exterior							
1	Muro exterior sur	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (l)	7,13	x	10,31	+	-	=	30,4	01ud-Muro exterior	0,138	180	90	Sur	0,30	0,60	0,30
2	Muro exterior norte	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (l)	7,13	x	7,48	+	-	=	11,0	01ud-Muro exterior	0,138	0	90	North	0,30	0,60	0,30
3	Muro exterior oeste	8	Muro ext. - aire ext.	1	x (l)	11,35	x	8,83	+	-	=	2,0	01ud-Muro exterior	0,138	270	90	West	0,30	0,60	0,30
4	Techo	10	Techo / cubierta - Aire ext.	1	x (l)	7,13	x	11,70	+	-	=	83,4	02ud-Techo	0,108	0	14	Hor	1,00	0,30	0,30
5	Techo del sótano	11	Solera / losa piso / forjado sanitario	1	x (l)	7,13	x	11,35	+	-	=	80,3	03ud-Techo del sótano	0,131	0	180	Hor			
6					x (l)				+	-	=	0,0								
7	Muro divisorio	18	Muro divisorio entre viviendas	1	x (l)	11,35	x	8,83	+	-	=	100,9	04ud-Muro divisorio	0,375	90	90	Este			

Figura 10. Pestaña superficies a introducir de la vivienda. Fuente: PHPP 9.6

6.- Componentes

Se deben introducir los distintos componentes como las soluciones constructivas (muro, techumbre, piso). Además se deben introducir los distintos acristalamientos de la vivienda ya sean doble o triple vidriado hermético con su respectivo valor U expresado en $[W/m^2 \cdot K^\circ]$ y el factor solar, luego se deben introducir las características del marco de la ventana donde las principales características son el valor U_f correspondiente en $[W/m^2 \cdot K^\circ]$, el puente térmico del cristal correspondiente al separador del vidrio, el puente térmico de instalación de la ventana y el ancho del marco. También se debe agregar un intercambiador con recuperación de calor con su respectiva eficiencia de recuperación.

Elementos constructivos (Valores U)					Puentes térmicos (Valores Ψ)					Acristalamiento				Acristalamiento				Marcos de ventana											
Valores recomendados para consenso de optimización: Valores U marco y cubierta (Jules / hora por m²) Vj(Vm) (U,25 Vj(Vm))										Acristalamiento recomendado para espesar la plastificación Acristalamiento triple aislado técnicamente (Por favor, considere el criterio de confort)																			
ID	Sistema constructivo	Elemento constructivo	Exposición total	Valor U	Acrista- miento interior	Descripción de los puentes térmicos: Valor Ψ (W/m².K)				ID	Descripción	Valor g	Valor Ug					ID	Descripción										
Resumen de los elementos constructivos calculados en la hoja "Valores U"																													
Utd	Muro exterior	Muro exterior	0,435	0,338	0					Utd	Triple-tem + 6+0	0,50	0,30					Utd	PU exterior en madera										
Utd	Techo	Techo	0,463	0,369	0					Utd	Triple-tem + 6+12	0,50	0,30					Utd	PU exterior en madera										
Utd	Techo del sótano	Techo del sótano	0,528	0,331	0					Utd								Utd	PU suelo en madera										
Utd	Muro divisorio de apartamento	Muro divisorio de apartamento	0,469	0,335	0					Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd										Utd								Utd											
Utd																													

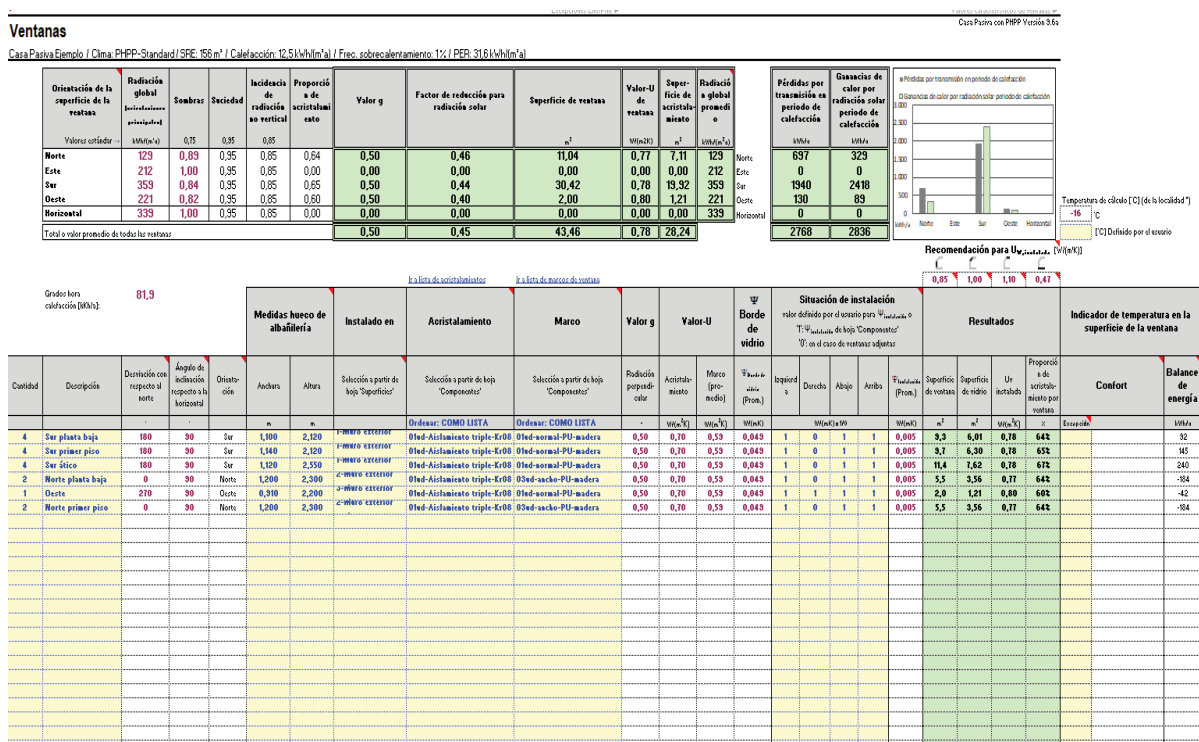


Figura 12. Características de las ventanas. Fuente: PHPP 9.6

8.-Sombras

En el apartado de sombras se deben introducir todas las ventanas con sus distintas orientaciones y las respectivas sombras que se proyectan sobre cada uno de los elementos, a diferencia de lo que ocurre con la calificación energética en este caso si se toman en cuenta árboles, letreros, arbustos y todo lo que pueda influir directamente en las ganancias por las ventanas y/o sobrecalentamientos en la vivienda. En el caso del alero se deben introducir datos como profundidad del voladizo sobre la ventana, distancia del punto superior del vidrio al voladizo de la ventana, al igual que factores de reducción de sombra adicionales para el verano en caso de contar con elementos como persianas o celosías que afecten directamente sobre la ventana. En el caso de invierno igualmente se deben introducir valores que afecten las ganancias solares, según el manual para árboles de hoja caduca se someten a un factor de reducción de alrededor de un 20%.

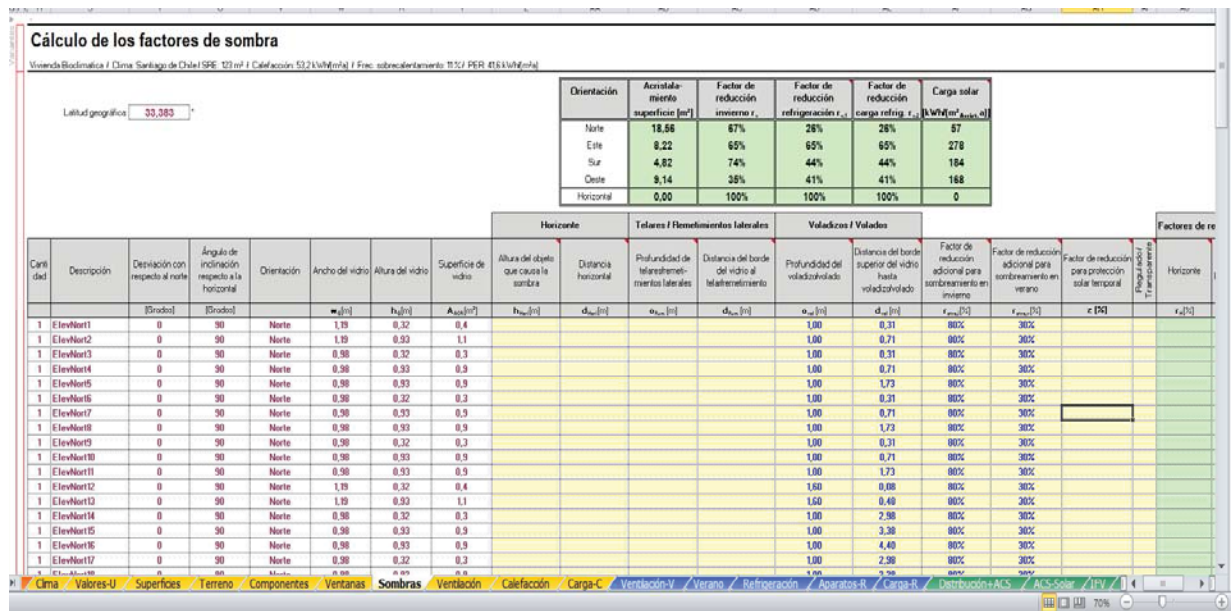


Figura 13. Cálculo de los factores de sombra. Fuente: PHPP 9.6

10.-Ventilación

En la pestaña de ventilación se deben introducir datos como la altura entre piso y cielo de la vivienda y con la superficie de referencia se calcula el volumen interior a ventilar, además se debe introducir la tasa de renovación mediante ensayo blower door para saber la hermeticidad de la vivienda a sobrepresión de 50 [Pa] y a depresión de 50 [Pa], el estándar Passivhaus no acepta un valor más allá del $0,6[h^{-1}]$, en este caso habíamos tomado como valor de referencia igual a $1[h^{-1}]$, luego se toma como valor de $30[m^3/h \cdot persona]$ para la renovación del aire viciado dentro de la vivienda, en este caso el tipo de ventilación será del tipo de ventilación natural cruzada con la apertura de puertas y ventanas.

En el caso de contar con una unidad recuperadora de calor se debe indicar si la unidad se encuentra dentro o fuera de la envolvente térmica, el modelo se debe especificar con los que se encuentran actualmente certificados mediante el Passivhaus Institute o en caso contrario el valor de eficiencia dado por el fabricante debe ser castigado con un 15% debido a que no se encuentra certificado. En esta

Superficie de referencia energética		m²	122,9		Criterios		¿Cumplido? ²
					Criterio	alternativos	
Calefacción	Demanda de calefacción	kWh/(m²a)	53	≤	15	-	No
	Carga de calefacción	W/m²	26	≤	-	10	
Refrigeración	Demanda refrigera. & deshum.	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Carga de refrigeración	W/m²	-	≤	-	-	
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C)	%	11	≤	10		No
	Frecuencia excesivamente alta humedad (> 12 g/kg)	%	0	≤	20		Sí
Hermeticidad	Resultado ensayo presión n ₅₀	1/h	1,0	≤	0,6		No
Energía Primaria no renovable (EP)	Demanda EP	kWh/(m²a)	41	≤	120		Sí
Energía Primaria Renovable (PER)	Demanda PER	kWh/(m²a)	42	≤	-	-	-
	Generación de Energía Renovable	kWh/(m²a)		≥	-	-	

Al no cumplir con los requerimientos de demanda de calefacción y frecuencia de sobrecalentamiento, esta vivienda no es posible certificarla mediante el estándar Passivhaus.

Anexo 3: Documentos y tablas (ventanas, carta psicrométrica y colectores solares)

Los anexos a continuación corresponden a las ganancias y pérdidas de las ventanas en las distintas orientaciones, además de los datos técnicos de colectores solares y también el cálculo desarrollado en C+T para las vigas y pilares principales.

Balance Térmico de ventanas:

Las tablas a continuación muestran los cálculos desarrollados por las ecuaciones de balance térmico de cada una de las ventanas en las distintas orientaciones, considerando factores de sombreadamiento, no perpendicularidad en la radiación, suciedad y el factor solar que viene dado por las características de las ventanas.

Orientación Norte

Nombre	Sup. cristal [m ²]	Sup. Vano [m ²]	Uw [W/m ² *K°]	No perpendicular	Factor suciedad	Factor Sombra	Radiación Invierno [kWh/m ²]	Grados día [kKh]	Factor Solar	Q _t Invierno [kWh]	Q _s Invierno [kWh]	Balance térmico [kWh]
V1	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	40,18	9,82	30,36
V2	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V3	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	40,18	9,82	30,36
V4	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V5	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V6	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	40,18	9,82	30,36
V7	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V8	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V9	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	40,18	9,82	30,36
V10	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V11	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V12	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	40,18	9,82	30,36
V13	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,95	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V14	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	40,18	9,82	30,36
V15	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V16	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V17	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	40,18	9,82	30,36
V18	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V19	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V20	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	40,18	9,82	30,36
V21	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V22	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	100,90	32,59	68,30
V23	0,621	1,06	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	81,92	21,97	59,95
V24	0,621	1,06	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	81,92	21,97	59,95
V25	0,621	0,928	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	71,72	21,97	49,75
V26	0,621	0,928	1,61	0,95	0,95	1	80	48	0,49	71,72	21,97	49,75
Total												1418,5

Tabla 1. Ganancias y pérdidas de las ventanas orientación Norte. Fuente: Propia

Orientación Sur:

Nombre	Sup. Cristal [m ²]	Sup. Vano [m ²]	Uw [W/m ² *K°]	No perpendicular	Factor Suciedad	Factor sombra	Radiación verano [kWh/m ²]	Radiación Invierno [kWh/m ²]	Grados día [kKh]	Factor Solar	Q _T Invierno [kWh]	Q _s Invierno [kWh]	Balance Térmico [kWh]
V1	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	168,89	28,86	48	0,49	40,18	2,83	37,34
V2	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	168,89	28,86	48	0,49	40,18	2,83	37,34
V3	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	168,89	28,86	48	0,49	40,18	2,83	37,34
V4	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	168,89	28,86	48	0,49	40,18	2,83	37,34
V5	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	168,89	28,86	48	0,49	40,18	2,83	37,34
V6	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	168,89	28,86	48	0,49	40,18	2,83	37,34
V7	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	168,89	28,86	48	0,49	40,18	2,83	37,34
V8	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,8	168,89	28,86	48	0,49	100,90	9,41	91,49
V9	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	168,89	28,86	48	0,49	40,18	2,83	37,34
V10	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,8	168,89	28,86	48	0,49	100,90	9,41	91,49
Total													481,74

Tabla 2. Ganancias y pérdidas de las ventanas orientación Sur. Fuente: Propia

Orientación Poniente:

Nombre	Sup. cristal [m ²]	Sup. Vano [m ²]	Uw [W/m ² *K°]	No perpendicular	Factor suciedad	Factor sombra	Radiación Invierno [kWh/m ²]	Grados día [kKh]	Factor Solar	Q _T Invierno [kWh]	Q _s Invierno [kWh]	Balance Térmico [kWh]
V1	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	40,18	3,21	36,97
V2	0,11	0,22	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	16,66	1,31	15,35
V3	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	100,90	10,66	90,24
V4	0,35	0,54	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	41,67	4,03	37,64
V5	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	100,90	10,66	90,24
V6	0,35	0,54	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	41,67	4,03	37,64
V7	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	40,18	3,21	36,97
V8	0,11	0,22	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	16,66	1,31	15,35
V9	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	100,90	10,66	90,24
V10	0,35	0,54	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	41,67	4,03	37,64
V11	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	100,90	10,66	90,24
V12	0,35	0,54	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	41,67	4,03	37,64
V13	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	40,18	3,21	36,97
V14	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	40,18	3,21	36,97
V15	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	40,18	3,21	36,97
V16	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	40,18	3,21	36,97
V17	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	40,18	3,21	36,97
V18	0,92	1,31	1,61	0,95	0,95	0,8	32,7	48	0,49	100,90	10,66	90,24
Total												891,24

Tabla 3. Ganancias y pérdidas de las ventanas orientación Poniente. Fuente: Propia

Orientación Oriente:

Nombre	Sup. Cristal [m ²]	Sup. Vano [m ²]	Uw [W/m ² *K°]	No perpendicularidad	Factor Suciedad	Factor sombra	Radiación Invierno [kWh/m ²]	Grados día [kKh]	Factor Solar	Q _r Invierno [kWh]	Q _s Invierno [kWh]	Balance Térmico [kWh]
V1	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	40,18	5,80	34,38
V2	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	40,18	5,80	34,38
V3	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	40,18	5,80	34,38
V4	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	40,18	5,80	34,38
V5	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	40,18	5,80	34,38
V6	0,28	0,52	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	40,18	5,80	34,38
V7	0,62	0,82	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	63,52	13,04	50,49
V8	0,62	0,82	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	63,52	13,04	50,49
V9	0,62	0,93	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	71,51	13,04	58,47
V10	0,62	0,93	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	71,51	13,04	58,47
V11	0,11	0,22	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	16,64	2,37	14,27
V12	0,23	0,43	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	33,59	4,83	28,77
V13	0,39	0,54	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	41,67	8,26	33,41
V14	0,85	1,09	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	84,15	17,76	66,39
V15	0,39	0,54	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	41,67	8,26	33,41
V16	0,85	1,09	1,61	0,95	0,95	0,8	59,106	48	0,49	84,15	17,76	66,39
Total												666,80

Tabla 4. Ganancias y pérdidas de las ventanas orientación Oriente. Fuente: Propia



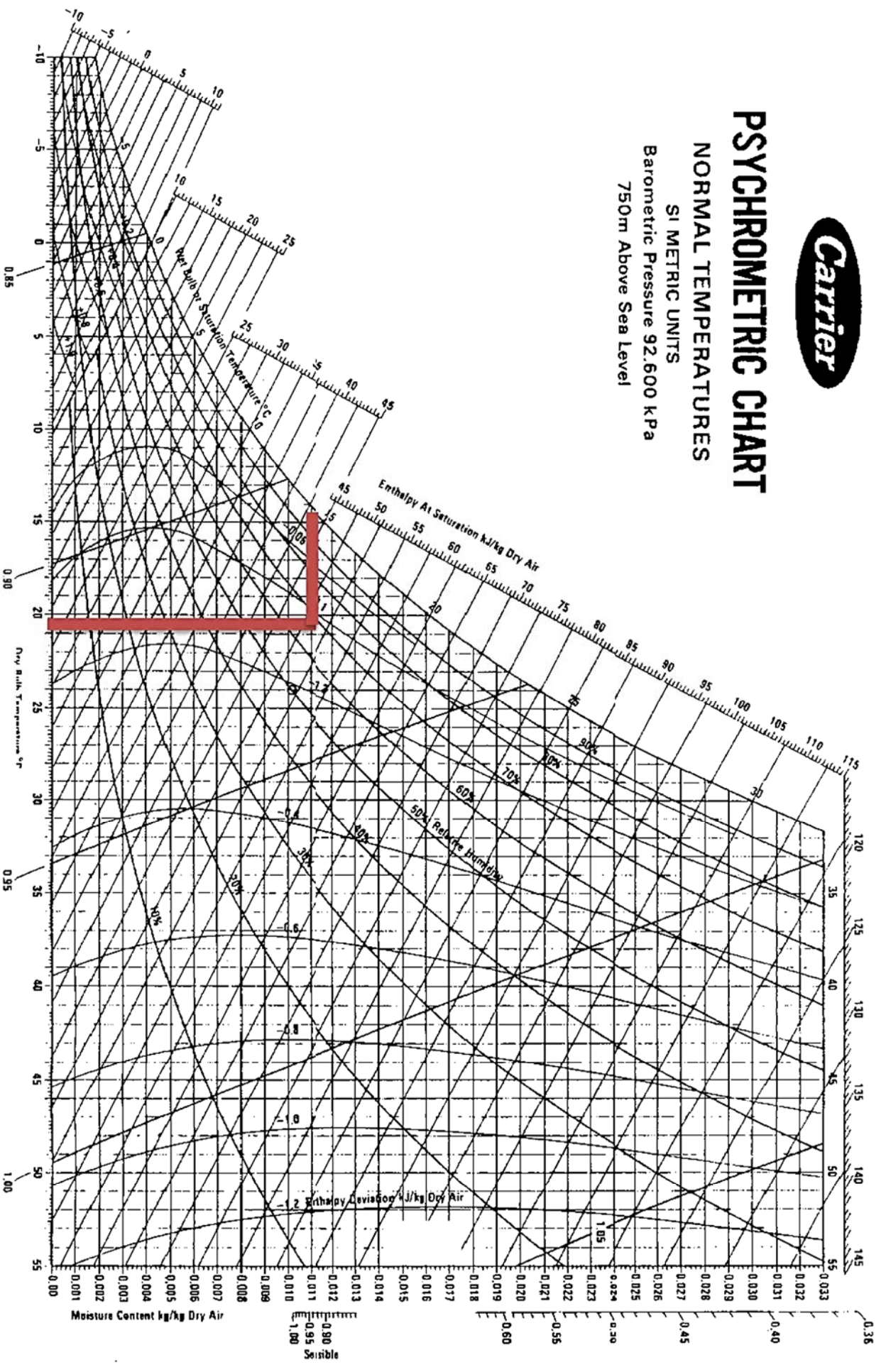
PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURES

SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 92.600 kPa

750m Above Sea Level



Below 0°C Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice

Copyright ©Carrier Corporation 1975
Cat. No. 794-006 Printed in U.S.A.



Software C+T. Versión 1.2.0 - Full

Nombre del proyecto : Calculo columna compuesta

Tipo de elemento : Columna de sección compuesta

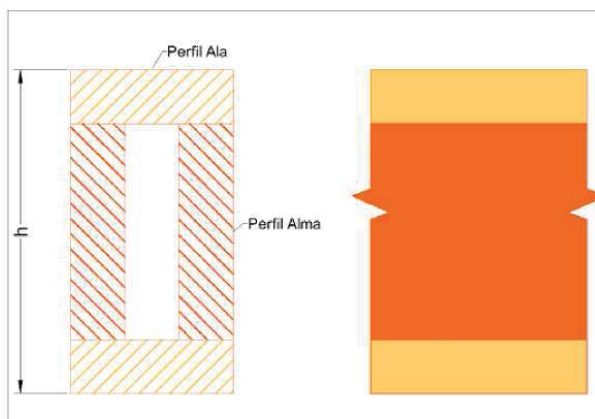
Especificaciones del proyecto

Tipo de columna compuesta : Cajon

Altura columna compuesta (h) : 160 mm

Largo taco o tapa : No aplica

Espaciamento taco o tapa : No aplica



Perfil de alas

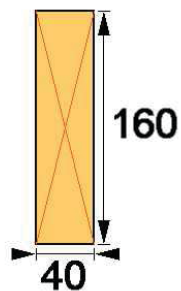
Especie : Pino radiata

Grado estructural : GS

Contenido de humedad : 12 %

Acabado : Aserrado Bruto

Tamaño de la sección : 40mm x 160mm





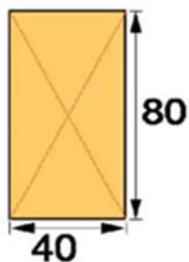
Software C+T. Versión 1.2.0 - Full

Nombre del proyecto : Calculo columna compuesta

Tipo de elemento : Columna de sección compuesta

Perfil de alma, taco ó tapa

Especie : Pino radiata
Grado estructural : GS
Contenido de humedad : 12 %
Acabado : Aserrado Bruto
Tamaño de la sección : 40mm x 80mm



Numero de columnas : 2
Espaciamiento columnas : 3200 mm
Largo columna : 4800 mm

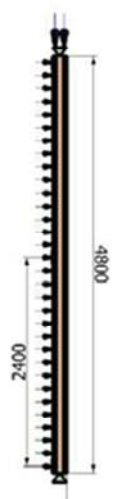


Tipo de apoyo : Articulado
Restricción al pandeo eje X-X : Espaciadas
Restricción al pandeo eje Y-Y : Espaciadas



Software C+T. Versión 1.2.0 - Full

Nombre del proyecto : Calculo columna compuesta
Tipo de elemento : Columna de sección compuesta



Medio Unión Ala-alma

Tipo : Pernos
Calibre : 15.9mm (5/8")
Número mínimo de uniones : 0

Cargas impuestas

Peso propio : 211 [kg/m]
Sobrecarga de techo : 200 [kg/m]
Sobrecarga de piso : 0 [kg/m]
Carga nieve : 0 [kg/m]

Cargas laterales

Carga viento eje X-X : 40 [kg/m²]
Carga viento eje Y-Y : 0 [kg/m²]

Tensiones admisibles

Flexión (Ff) : 11 MPa
Cizalle (Fcz) : 1.1 MPa
Compresión paralela (Fcp) : 8.5 MPa
Compresión normal (Fcn) : 2.5 MPa
Modulo de elasticidad (E) : 10500 MPa



Software C+T. Versión 1.2.0 - Full

Nombre del proyecto : Calculo columna compuesta
Tipo de elemento : Columna de sección compuesta

Tensiones de diseño y deformaciones admisibles calculadas

Tensión en compresión paralela	: 2.72
Tensión en compresion paralela en pieza individuales	: No aplica
Tensión en cizalle en taco o tapa	: No aplica
Tensión en compresión normal en taco o tapa	: No aplica
Tensión en flexión x-x	: 11.38
Tensión en flexión y-y	: No aplica
Verificación interacción	: 1

Tensiones de trabajo calculadas

Tensión en compresión paralela	: 0.34
Tensión en compresión paralela en piezas individuales	: No aplica
Tensión en cizalle en taco o tapa	: No aplica
Tensión en compresión normal en taco o tapa	: No aplica
Tensión en flexión x-x	: 10.21
Tensión en flexión y-y	: No aplica
Verificación interacción	: 0.97

Verificación

Tensión en compresión paralela	: Cumple
Tensión en compresión paralela en piezas individuales	: No aplica
Tensión en cizalle en taco o tapa	: No aplica
Tensión en compresión normal en taco o tapa	: No aplica
Tensión en flexión x-x	: Cumple
Tensión en flexión y-y	: No aplica
Verificación interacción	: Cumple

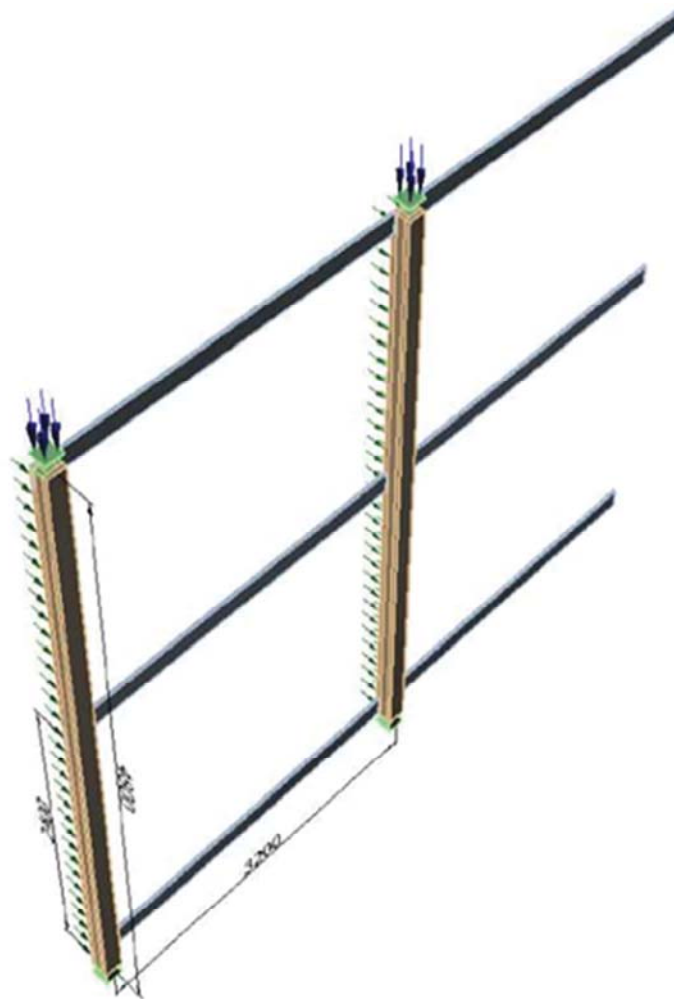


Software C+T. Versión 1.2.0 - Full

Nombre del proyecto : Calculo columna compuesta

Tipo de elemento : Columna de sección compuesta

Modelo 3D





Software C+T. Versión 1.2.0 - Full

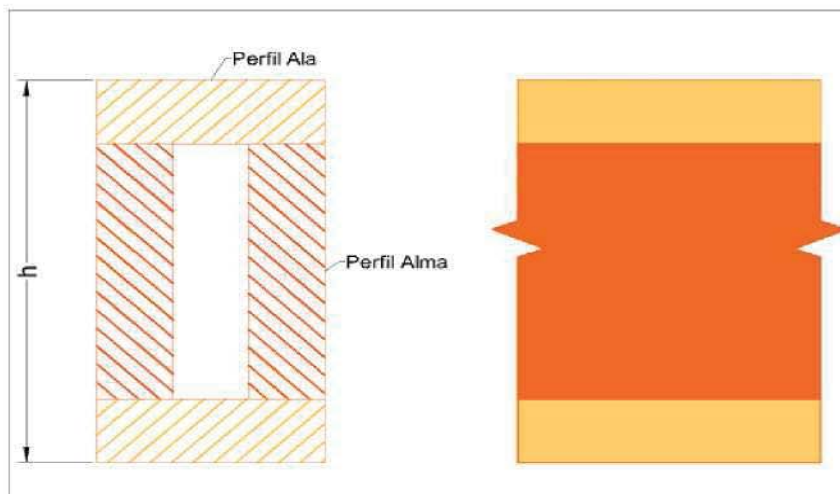
Nombre del proyecto : Cálculo viga compuesta

Tipo de elemento : Viga de piso de sección compuesta

Especificaciones del proyecto

Tipo de viga compuesta : Cajon

Altura viga compuesta (h) : 270 mm



Perfil de alas

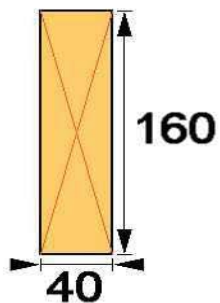
Especie : Pino radiata

Grado estructural : G1

Contenido de humedad : 12 %

Acabado : Aserrado Bruto

Tamaño de la sección : 40mm x 160mm





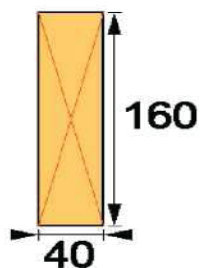
Software C+T. Versión 1.2.0 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo viga compuesta

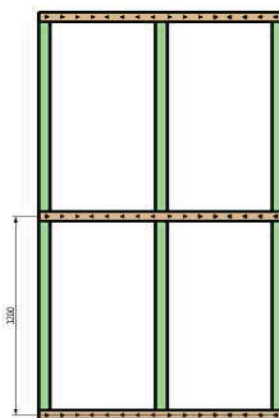
Tipo de elemento : Viga de piso de sección compuesta

Perfil de alma

Especie : Pino radiata
Grado estructural : G1
Contenido de humedad : 12 %
Acabado : Aserrado Bruto
Tamaño de la sección : 40mm x 190mm

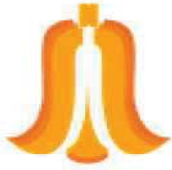


Espaciamiento entre vigas : 3200 mm
Restricción al volcamiento : Ninguna restricción



Deformación admisible para carga total : $L / 300$

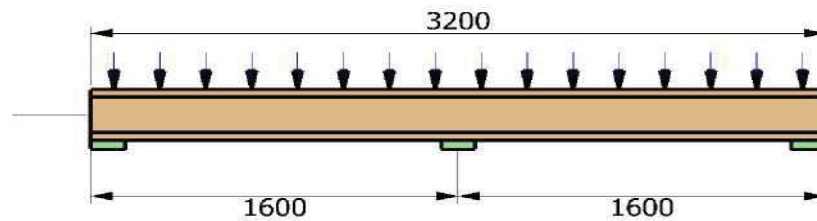
Deformación admisible para sobrecarga : $L / 360$



Software C+T. Versión 1.2.0 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo viga compuesta
Tipo de elemento : Viga de piso de sección compuesta

Viga : continua - 2 tramos
Largo de la viga entre apoyos : 3200 mm
Ancho del apoyo : 150 mm



Medio Unión Ala-Diagonales / Postes

Tipo : Tornillos
Calibre : 5.5mm x 100mm (N°12 x 4")
Separación promedio : 150 mm

Cargas impuestas

Peso propio : 3,94 [kg/m²]
Permanente : 254 [kg/m²]
Sobrecarga de uso : 0 [kg/m²]

Tensiones admisibles

Flexión (Ff) : 7,5 MPa
Cizalle (Fcz) : 1,1 MPa
Compresión paralela (Fcp) : 7,5 MPa
Compresión normal (Fcn) : 2,5 MPa
Tracción paralela (Ftp) : 5 MPa
Modulo de elasticidad (E) : 10000 MPa



Software C+T. Versión 1.2.0 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo viga compuesta

Tipo de elemento : Viga de piso de sección compuesta

Factores de modificación calculados

Factor de modificación por humedad (KH)

KH para flexión : 1
KH para cizalle : 1
KH para compresión normal : 1
KH para elasticidad : 1

Factor de modificación por duración de carga (KD)

KD : 0,9

Factor de modificación por duración de carga (KC)

KC : 1

Factor de modificación por altura de viga (Kh_f)

Kh_f : 0,89

Factor de modificación por volcamiento (K_{λv})

K_{λv} : 1

Factor de modificación por altura para elasticidad (Kh_E)

Kh_E : 0,97

Factor de modificación por rebaje en el apoyo (K_r)

K_r : 1

Factor de modificación por aplastamiento (K_{cn})

K_{cn} : 0,8

Factor de modificación por esbeltez (K_λ)

K_λ : 1

Factor de modificación por concentración de tensiones(K_{ct})

K_{ct} : 1

Factor de modificación por humedad de uniones (K_{UH})

K_{UH} : 1

Factor de modificación por temperatura uniones (K_{UT})

K_{UT} : 1

Factor de modificación por longitud de hileras (K_u)

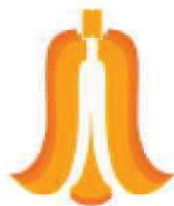
K_u : 1

Resistencia al aplastamiento madero central (alma) (Rap,c)

Rap,c : 26,46116

Resistencia al aplastamiento maderos laterales (alas) (Rap,l)

Rap,l : 26,46116

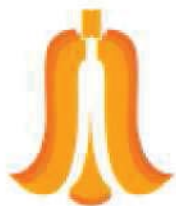


Software C+T. Versión 1.2.0 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo viga compuesta
Tipo de elemento : Viga de piso de sección compuesta

Verificación

Tensión en flexión borde ala superior	: Cumple
Tensión en flexión borde ala inferior	: Cumple
Tensión en flexión alma	: Cumple
Tensión en compresión paralela centroide ala superior	: Cumple
Tensión en tracción paralela centroide alma	: No aplica
Tensión en tracción paralela centroide ala inferior	: Cumple
Tensión de cizalle en el eje neutro	: Cumple
Tensión en compresión normal	: Cumple
Deformación admisible para carga total	: Cumple
Deformación admisible para sobre carga	: Cumple



Software C+T. Versión 1.2.0 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo viga compuesta

Tipo de elemento : Viga de piso de sección compuesta

Modelo 3D

