



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO EN MEJORAS DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA PARA VIVIENDAS DE PRECIO ENTRE 1000-3000 UF**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

NICOLAS ANDRES DONOSO RAMOS

**PROFESOR GUIA:
SR. MIGUEL BUSTAMANTE SEPÚLVEDA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SR. CARLOS AGUILERA GUTIEEREZ
SR. CRISTIAN YAÑEZ OTAROLA**

**SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2009**

RESUMEN EJECUTIVO DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: NICOLÁS ANDRÉS DONOSO RAMOS
FECHA 26/11/2009
PROF. GUÍA: SR. MIGUEL BUSTAMANTE S.

“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO EN MEJORAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA
VIVIENDAS DE PRECIO ENTRE 1000-3000 UF”

El ahorro energético cada día cobra más importancia en el mundo. Los países desarrollados han aplicado normas técnicas hace ya bastante tiempo y en Chile, el tema ha empezado a masificarse hace algunos años a través de profesionales especializados y encargados de implementar esta materia en la edificación.

El tema de este trabajo fue propuesto y apoyado por la CDT (Corporación de Desarrollo Tecnológico), corporación que contactó a la empresa AXISDC, dueña de las viviendas analizadas, ubicadas en la Región de los Lagos.

El objetivo principal es unirse al desarrollo de la construcción sustentable en el país, logrando unir dos factores importantes de este concepto: el aspecto ecológico y el aspecto económico. Para esto se modelaron tres viviendas ya construidas, con el fin de estimar su demanda energética de calefacción, luego se utilizaron distintas alternativas de aislación térmica para la envolvente con el fin de comparar valores en ahorro energético de las viviendas. Al mismo tiempo que se analizaron alternativas de aislamiento térmico para las envolventes de las viviendas, se estudiaron posibles instalaciones de tecnologías eficientes energéticamente para el calentamiento de aguas sanitarias. Luego, se desarrollaron las respectivas evaluaciones económicas bajo diferentes escenarios para observar la factibilidad económica de la ejecución de los cambios propuestos. Para complementar el trabajo se llevaron a cabo experimentos de permeabilidad al vapor de agua de algunos materiales usados frecuentemente en la construcción.

De acuerdo a los resultados obtenidos, es posible técnica y económicamente implementar mejoras de resistencia térmica en la envolvente de las viviendas, además de aplicar tecnologías de ahorro energético para el calentamiento de aguas, consiguiendo con esto un ahorro económico importante. El combustible que puede ahorrar mensualmente una familia es significativo y es por eso que poco a poco ha ido expandiéndose este concepto en el país, ya que es un factor imprescindible para el futuro de la construcción en general.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
Capítulo 1 <i>Introducción</i>	13
Capítulo 2 <i>Conceptos</i>	16
2.1 Calor.....	16
2.2 Conductividad térmica (λ).....	16
2.2.1 Factores que alteran el valor de λ	19
2.3 Conductancia térmica (C).....	20
2.4 Resistencia térmica (R).....	21
2.5 Transmitancia térmica (U).....	22
2.5.1 Transmitancia térmica en elementos constructivos.....	23
2.6 Humedad Atmosférica.....	28
2.7 Humedad Absoluta.....	28
2.8 Humedad Específica.....	29
2.9 Humedad Relativa.....	29
2.10 Grados-días.....	30
2.11 Barreras de Vapor de agua.....	30
2.12 Láminas de baja emisividad.....	33
2.13 Confort.....	34
2.14 Pérdidas Caloríficas.....	36
2.14.1 Pérdidas caloríficas por transmisión.....	37
2.14.2 Pérdidas caloríficas por ventilación.....	37
2.14.3 Pérdidas caloríficas por infiltración.....	38
2.15 Ganancias Caloríficas.....	40
2.15.1 Ganancias caloríficas obtenidas de la radiación solar a través de las ventanas.....	40
2.15.2 Ganancias caloríficas aportadas por el calor latente y sensible emitido por las personas.....	41
2.15.3 Ganancias caloríficas aportadas por los equipos electrónicos e iluminación.....	42
2.16 Dimensionado para Energía Solar Térmica.....	42
2.16.1 Cálculo de radiación solar total en un ángulo inclinado.....	42
2.16.2 Cálculo de la demanda térmica para A.C.S.....	47
2.16.3 Dimensionado de la instalación mediante el método F-Chart.....	47
Capítulo 3 <i>Zonificación Climática de Chile</i>	50
3.1 Antecedentes generales del clima de Chile.....	50
3.2 Factores climáticos que afectan la vivienda.....	51
3.2.1 Viento.....	51
3.2.2 Humedad ambiente.....	51
3.2.3 Temperatura.....	51
3.2.4 Insolación.....	51
3.3 NCh 1079 Of.2008.....	52
3.3.1 Zonificación climático habitacional para Chile según Norma NCh 1079 Of.2008.....	52
3.3.2 Recomendaciones para el diseño arquitectónico.....	55
Capítulo 4 <i>Reglamentación Térmica</i>	58
4.1 Reglamentación térmica en Chile.....	58
4.1.1 Exigencias para: techumbre, muros y pisos ventilados.....	58
4.1.2 Exigencias para ventanas.....	60

4.2 Comparación con estándares internacionales.....	63
Capítulo 5 Inercia Térmica.....	65
5.1 Formas en que se propaga el calor.....	65
5.1.1 Conducción.....	65
5.1.2 Convección.....	66
5.1.3 Radiación.....	67
5.2 Fenómenos térmicos: Permanentes y Dinámicos.....	70
5.2.1 Solicitaciones térmico-dinámicas sobre una vivienda.....	71
5.2.2 Envoltentes en régimen permanente.....	72
5.2.3 Envoltente y estructura internas en régimen dinámico.....	72
5.3 Viviendas diseñadas con Inercia Térmica.....	74
5.3.1 Retardo térmico.....	77
5.3.2 Amortización térmica.....	79
Capítulo 6 Diseño Original de las Viviendas.....	80
6.1 Arquitectura y Emplazamiento.....	80
6.2 Zona Climática.....	86
6.3 Sistemas de aislamiento térmico de la envolvente.....	88
6.3.1 Techumbre.....	88
6.3.2 Muros Perimetrales.....	89
6.3.3 Piso.....	89
6.3.4 Puertas y Ventanas.....	90
6.4 Sistemas de calefacción y calentamiento de aguas sanitarias (A.C.S.).....	92
6.5 Sistemas de Refrigeración y Ventilación.....	94
6.6 Cuantificación de Demanda Energética.....	94
6.6.1 Cálculo de demanda térmica ocupando método de régimen permanente.....	94
6.6.2 Cálculo de demanda térmica aplicando régimen dinámico.....	106
6.7 Demanda Térmica para A.C.S.....	114
Capítulo 7 Propositiones de Optimización para las Viviendas.....	116
7.1 Sistemas para A.C.S. y aislamiento térmico de la envolvente.....	116
7.1.1 Soluciones para A.C.S.....	116
7.1.2 Soluciones Constructivas para aislamiento térmico de la envolvente.....	122
7.2 Recomendaciones Factibles de Mejoramiento.....	131
7.2.1 Recomendación Factible para A.C.S. usando energía solar.....	131
7.2.2 Sistema de apoyo 1 mediante calderas de condensación.....	139
7.2.3 Sistema de apoyo 2 mediante bombas de calor.....	140
7.3 Cuantificación de Demanda Energética con las mejoras propuestas de aislación térmica de la envolvente.....	141
7.4 Pruebas Higrotérmicas.....	146
7.4.1 Determinación de la Permeabilidad al Vapor de agua de algunos Materiales.....	146
Capítulo 8 Evaluaciones Económicas.....	156
8.1 Costos de los productos propuestos para soluciones.....	156
8.1.1 Costos de equipos para A.C.S.....	156
8.1.2 Costos de soluciones de aislamiento térmico de la envolvente.....	157
8.2 Evaluaciones Económicas.....	158

8.2.1 Evaluación económica de los sistemas para proporcionar A.C.S.....	162
8.2.2 Evaluación Económica de las alternativas de aislamiento térmico de la envolvente de la vivienda.....	166
Capítulo 9 Recomendaciones.....	171
Capítulo 10 Comentarios.....	174
Capítulo 11 Conclusiones.....	179
Capítulo 12 Bibliografía y Referencias.....	180
Anexos	
A. Fotografías de viviendas construidas por la empresa DESARROLLOS CONSTRUCTIVOS AXIS SA en la zona de Puerto Montt y Puerto Varas.....	183
B. Ejemplos de obras realizadas por las empresas consultadas.....	186
C. Cámara y probetas de ensayo ocupadas en el desarrollo del trabajo experimental de medición de resistencia al vapor de agua de materiales.....	188
D. Datos experimentales.....	191
E. Fundamentos del Software CCTE “Certificación de Comportamiento Térmico de Edificios” versión 2.0 (Julio 2008).....	193

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Conductividad térmica de los materiales.....	19
Tabla 2.2: Clasificación de las cámaras de aire en elementos compuestos por varias capas homogéneas y cámaras de aire.....	25
Tabla 2.3: Transmitancia térmica lineal, según piso considerado.....	27
Tabla 2.4 Valores de coeficiente α	28
Tabla 2.5 Valores de resistencia al vapor de agua de algunos materiales.....	33
Tabla 2.6: Sensación térmica en un ambiente según temperatura, velocidad de aire y humedad relativa.....	36
Tabla 2.7: Valores recomendados en la norma NCh 1960 de ACH/h para ventilación.....	38
Tabla 2.8: Radiación global diaria media para cada mes [MJ / (m ² día)].....	43
Tabla 2.10: Factor de corrección k para superficies inclinadas para la latitud de 40 °S.....	44
Tabla 3.1: Clasificación de climas según Norma NCh 1079 Of.2008.....	52
Tabla 3.2: Valores máximos de transmitancia térmica de la envolvente, según recomendación de la NCh 2008.....	56
Tabla 4.1: Zonificación térmica chilena según el Manual de Reglamentación Térmica.....	58
Tabla 4.2: Exigencias térmicas para: techumbre, muros y pisos ventilados.....	59
Tabla 4.3 Alternativa para cumplir con exigencias térmicas para cada zona. Material aislante etiquetado con R100.....	60
Tabla 4.4: Porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a parámetros verticales de la envolvente.....	61
Tabla 4.5: Valores de U ponderado para exigencias de ventanas.....	62
Tabla 5.1: Valores aproximados de coeficientes de transmisión de calor por convección.....	67
Tabla 5.2: Valores de potencia de emisión de algunas superficies.....	68
Tabla 5.3: Valores de emisividad (ϵ) de ciertas superficies.....	69
Tabla 5.4: Valores indicativos del retraso térmico (ϕ) en horas y amortización térmica (dt).....	79
Tabla 6.1: Resultados de ensayos geotécnicos en zona de los conjuntos habitacionales de Puerto Montt.....	85
Tabla 6.2: Elementos de aislación térmica en la techumbre original de las viviendas.....	88
Tabla 6.3: Elementos de aislación térmica en los muros perimetrales originales de las viviendas.....	89
Tabla 6.4: Valores de ψ para piso contra terreno original de las viviendas.....	89
Tabla 6.5: Valores de U para tipos de vidrios en ventana.....	90
Tabla 6.6: Comparación precio GLP (45kg) de la X región con otras regiones.....	93
Tabla 6.7: Valores de U*A [W/°K] de los elementos de la envolvente de la vivienda 1.....	95
Tabla 6.8: Valores de U*A [W/°K] de los elementos de la envolvente de la vivienda 2.....	95
Tabla 6.9: Valores de U*A [W/°K] de los elementos de la envolvente de la vivienda 3.....	96
Tabla 6.10: Valores de ACH/h para infiltración.....	97
Tabla 6.11: Pérdidas caloríficas e indicadores del diseño de la vivienda 1.....	97
Tabla 6.11: Pérdidas caloríficas e indicadores del diseño de la vivienda 2.....	97
Tabla 6.13: Pérdidas caloríficas e indicadores del diseño de la vivienda 3.....	97
Tabla 6.14: Radiación global mensual y anual en inclinación de 90° para la localidad de Lago Chapo, latitud 41.4° a 43 kms al este de Puerto Montt, en [MJ/m ²].....	98
Tabla 6.15: Ganancias térmicas para la vivienda modelo 1.....	99
Tabla 6.16: Ganancias térmicas para la vivienda modelo 2.....	99
Tabla 6.17: Ganancias térmicas para la vivienda modelo 3.....	100
Tabla 6.18: Grados días mes para la ciudad de Puerto Montt [°C].....	101
Tabla 6.19: Pérdidas caloríficas para la vivienda modelo 1.....	102
Tabla 6.20: Pérdidas caloríficas para la vivienda modelo 2.....	102
Tabla 6.21: Pérdidas caloríficas para la vivienda modelo 3.....	102
Tabla 6.22: Demandas térmicas para calefacción de la vivienda modelo 1.....	103
Tabla 6.23: Demandas térmicas para calefacción de la vivienda modelo 2.....	104

Tabla 6.24: Demandas térmicas para calefacción de la vivienda modelo 3.....	105
Tabla 6.25: Resumen de datos de demandas energéticas para vivienda modelo 1.....	106
Tabla 6.26: Resumen de datos de demandas energéticas para vivienda modelo 2.....	106
Tabla 6.27: Resumen de datos de demandas energéticas para vivienda modelo 3.....	106
Tabla 6.28: Resultados de demanda anual para calefacción y refrigeración en vivienda 1 y modelo referencial con régimen dinámico.....	110
Tabla 6.29: Resultados de demanda anual para calefacción y refrigeración de los espacios definidos en vivienda 1 con régimen dinámico.....	111
Tabla 6.30: Resultados de demanda anual para calefacción y refrigeración en vivienda 2 y modelo referencial con régimen dinámico.....	111
Tabla 6.31: Resultados de demanda anual para calefacción y refrigeración de los espacios definidos en vivienda 2 con régimen dinámico.....	112
Tabla 6.32: Resultados de demanda anual para calefacción y refrigeración en vivienda 3 y modelo referencial con régimen dinámico.....	112
Tabla 6.33: Resultados de demanda anual para calefacción y refrigeración de los espacios definidos en vivienda 3 con régimen dinámico.....	113
Tabla 6.34: Datos necesarios para obtener la demanda energética para A.C.S. de las viviendas.....	114
Tabla 6.35: Demanda térmica de A.C.S. para cada mes y al año para una vivienda con 5 personas.....	115
Tabla 7.1: Elementos de aislación térmica con muros Flat.....	124
Tabla 7.2: Elementos de aislación térmica con hormigón celular.....	126
Tabla 7.3: Elementos de aislación térmica con EIFS.....	128
Tabla 7.4: Elementos de aislación térmica de panel de losa nervado Monoplac.....	128
Tabla 7.5: Transmitancia térmica cristal Low-E.....	130
Tabla 7.6: Propiedades de transmisión del cristal Low-E.....	130
Tabla 7.7: Transmitancia térmica cristal Solar-E.....	130
Tabla 7.8: Propiedades de transmisión del cristal Solar-E.....	131
Tabla 7.9: Radiación horizontal para una superficie inclinada en 45° en la zona de Puerto Montt.....	132
Tabla 7.10: Propiedades colector 1.....	133
Tabla 7.11: Datos para obtener valor f con colector modelo 1.....	133
Tabla 7.12: Valores D1, D2 y f mensuales para el colector modelo 1 con 2m ² de superficie.....	134
Tabla 7.13: Resumen de valores f para distintas superficies con colector modelo 1.....	134
Tabla 7.14: Propiedades colector 2.....	135
Tabla 7.15: Datos para obtener valor f con colector modelo 2.....	136
Tabla 7.16: Valores D1, D2 y f mensuales para el colector modelo 2 con 2m ² de superficie.....	136
Tabla 7.17: Resumen de valores f para distintas superficies con colector modelo 2.....	137
Tabla 7.18: Valores D1, D2 y f mensuales para el colector modelo 1 con 4 y 6 m ² de superficie.....	138
Tabla 7.18: Valores D1, D2 y f mensuales para el colector modelo 2 con 4 y 6 m ² de superficie.....	139
Tabla 7.20: Características caldera de condensación modelo BAXI HT330.....	140
Tabla 7.21: Características bomba de calor aire/agua modelo LIK 8ME.....	141
Tabla 7.22: Transmitancia térmica de elemento muro usando la primera propuesta de solución.....	142
Tabla 7.23: Transmitancia térmica de elemento muro usando la segunda propuesta de solución.....	142
Tabla 7.24: Transmitancia térmica de elemento muro usando la tercera propuesta de solución.....	142
Tabla 7.25: Transmitancia térmica de elemento techumbre usando la cuarta propuesta de solución.....	143
Tabla 7.26: Transmitancia térmica lineal de elemento piso usando la quinta propuesta de solución.....	143
Tabla 7.27: Demanda energética anual de calefacción de la vivienda 1 aplicando en ella las diferentes alternativas propuestas de mejoramiento de aislación térmica.....	144
Tabla 7.28: Demanda energética anual de calefacción de la vivienda 2 aplicando en ella las diferentes alternativas propuestas de mejoramiento de aislación térmica.....	144
Tabla 7.29: Demanda energética anual de calefacción de la vivienda 3 aplicando en ella las diferentes alternativas propuestas de mejoramiento de aislación térmica.....	145
Tabla 7.30: Demanda energética anual de calefacción para cada vivienda aplicando solución combinada.....	145

Tabla 7.31: Condiciones ambientales para el ensayo de permeabilidad de vapor de agua.....	147
Tabla 7.32: Dimensiones y pesos originales de la muestra 1.....	151
Tabla 7.33: Dimensiones y pesos originales de la muestra 2.....	151
Tabla 7.34: Dimensiones y pesos originales de la muestra 3.....	151
Tabla 7.35: Resultados para muestra 1.....	152
Tabla 7.36: Resultados para muestra 2.....	152
Tabla 7.37: Resultados para muestra 3.....	152
Tabla 8.1: Costos de colectores modelo 1 y 2 y precios de acumuladores de agua.....	156
Tabla 8.2: Precios de cristales Low-E y Solar-E.....	158
Tabla 8.3: Precios del GLP en los últimos 13 meses para la X región en Puerto Montt.....	159
Tabla 8.4: Promedio por kg del GLP en los meses transcurridos del año 2009.....	159
Tabla 8.5: Precio del barril de petróleo proyectado hacia el futuro.....	160
Tabla 8.6: Precio del kWh de los últimos 12 meses para Puerto Montt, según SAESA.....	161
Tabla 8.7: Inversión colector 1, modelo Itapúa.....	163
Tabla 8.8: Evaluación económica del colector 1, modelo Itapúa con sistema de apoyo 1 y escenario pesimista.....	163
Tabla 8.9: Resultados de colector 1 modelo Itapúa combinado con caldera de condensación y escenario pesimista.....	163
Tabla 8.10: Evaluación económica del colector 1, modelo Itapúa con sistema de apoyo 1 y escenario optimista.....	163
Tabla 8.11: Resultados de colector 1 modelo Itapúa combinado con caldera de condensación y escenario optimista.....	163
Tabla 8.12: Inversión colector 1, modelo Magnum.....	164
Tabla 8.13: Evaluación económica del colector 2, modelo Magnum con sistema de apoyo 1 y escenario pesimista.....	164
Tabla 8.14: Resultados de colector 2 modelo Magnum combinado con caldera de condensación y escenario pesimista.....	164
Tabla 8.15: Evaluación económica del colector 2, modelo Magnum con sistema de apoyo 1 y escenario optimista.....	164
Tabla 8.16: Resultados de colector 2 modelo Magnum combinado con caldera de condensación y escenario optimista.....	165
Tabla 8.17: Evaluación económica del colector 1, modelo Itapúa con sistema de apoyo 2 y escenario pesimista.....	165
Tabla 8.18: Resultados de colector 1 modelo Itapúa combinado con bomba de calor y escenario pesimista.....	165
Tabla 8.19: Evaluación económica del colector 2, modelo Magnum con sistema de apoyo 2 y escenario pesimista.....	165
Tabla 8.20: Resultados de colector 2 modelo Magnum combinado con bomba de calor y escenario pesimista.....	166
Tabla 8.21: Demanda térmica anual de calefacción del caso base para cada vivienda.....	166
Tabla 8.22: Evaluación económica para alternativa 1 de aislamiento térmico.....	166
Tabla 8.23: Evaluación económica para alternativa 2 de aislamiento térmico.....	167
Tabla 8.24: Evaluación económica para alternativa 3 de aislamiento térmico.....	167
Tabla 8.25: Evaluación económica para alternativa 6 de aislamiento térmico.....	168
Tabla 8.26: Evaluación económica para alternativa combinada de aislamiento térmico.....	168
Tabla 8.27: Evaluación económica de alternativas de mejoras de aislamiento térmico con respecto a una vivienda que cumpla justo con la reglamentación térmica en la zona.....	169
Tabla D.1: Datos experimentales para muestra 1 (Policarbonato).....	191
Tabla D.2: Datos experimentales para muestra 2 (Yeso-cartón).....	192
Tabla D.3: Datos experimentales para muestra 3 (Polietileno).....	192

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1: Ley de Fourier.....	16
Figura 2.2: Esquema de la resistencia térmica de un muro de espesor " e " y conductividad (λ).....	21
Figura 2.3: Valores de R de las capas de aire superficiales.....	22
Figura 2.4: Coeficiente de ventilación α de cámaras verticales.....	26
Figura 2.5: Inclinación del eje de rotación de la tierra durante el movimiento de traslación.....	44
Figura 2.6: Trayectoria solar para una latitud de 43°S.....	45
Figura 3.1: Zonificación climático habitacional de Chile según norma NCh 1079.....	57
Figura 5.1: Temperatura al interior de un muro en régimen permanente y en régimen dinámico.....	71
Figura 5.2: Suma de caso estático y dinámico en el principio de Superposición.....	73
Figura 5.3: Temperatura ambiental en la zona de viviendas pesada y liviana durante el transcurso del día.....	76
Figura 5.4: Comparación del flujo calorífico entre las 2 viviendas (pesada y ligera) durante un día.....	76
Figura 5.5: Etapas en el análisis del retardo térmico.....	78
Figura 6.1: Arquitectura vivienda 1, cara exterior mirando hacia el Este.....	81
Figura 6.2: Planta del primer piso de la vivienda 1.....	81
Figura 6.3: Planta del segundo piso de la vivienda 1.....	82
Figura 6.4: Arquitectura vivienda 2, cara exterior mirando hacia el Sur.....	82
Figura 6.5: Planta del primer piso de la vivienda 2.....	83
Figura 6.6: Arquitectura vivienda 3, cara exterior mirando hacia el Este.....	83
Figura 6.7: Planta del primer piso de la vivienda 3.....	84
Figura 6.8: Fase de construcción del sistema estructural de las viviendas.....	85
Figura 6.9: Zonificación térmica de la X región de Los Lagos según el manual de Reglamentación Térmica.....	86
Figura 6.10: Características climáticas de la zona Sur Litoral (Norma NCh 1079 Of.2008).....	87
Figura 6.11: Esquema de vidrio termopanel.....	90
Figura 6.12: Sistema de aislamiento térmico del muro perimetral y cielo 2° piso de las viviendas.....	91
Figura 6.13: Sistema de aislamiento térmico del muro perimetral y cielo inclinado de las viviendas.....	91
Figura 6.14: Sistema de aislamiento térmico del muro perimetral y piso de las viviendas.....	92
Figura 6.15: Modelo de la vivienda 1 en el software computacional CCTE.....	107
Figura 6.16: Modelo de la vivienda 2 en el software computacional CCTE.....	107
Figura 6.17: Modelo de la vivienda 3 en el software computacional CCTE.....	108
Figura 6.18: Definición de muros originales de las viviendas en el software computacional CCTE.....	109
Figura 6.19: Definición de la techumbre original de las viviendas en el software computacional CCTE.....	109
Figura 6.20: Definición del tipo de piso original de las viviendas en el software computacional CCTE.....	109
Figura 6.21: Definición del tipo tabique original de las viviendas en el software computacional CCTE.....	109
Figura 7.1: Configuración básica de un sistema de colector solar y depósito para A.C.S.....	116
Figura 7.2: Sistema de funcionamiento de una caldera de condensación.....	119
Figura 7.3: Esquema del principio de funcionamiento de una bomba de calor.....	120
Figura 7.4: Solución constructiva, muros Flat.....	123
Figura 7.5: Dimensiones sistema de muros Flat.....	124
Figura 7.6: Solución constructiva con muros de hormigón celular.....	125
Figura 7.7: Solución constructiva EIFS.....	127
Figura 7.8: Solución constructiva de piso. Esquema de panel de losa nervado Monoplac.....	128
Figura 7.9: Ventana DVH Low-E en condición de verano e invierno.....	129
Figura 7.10: Esquema del DVH con cristal Solar-E.....	131
Figura 7.11: Dimensiones del recipiente para ensayos.....	147

Figura 7.12: Esquema del conjunto recipiente más muestra.....	147
Figura 10.1: Fracción cubierta por colector 1 con superficie instalada de 4m ²	174
Figura 10.2: Fracción cubierta por colector 2 con superficie instalada de 4m ²	174
Figura A.1: Fachada oeste de la vivienda 3.....	179
Figura A.2: Fachada oeste de la vivienda 1.....	179
Figura A.3: Fachada sur de la vivienda 2.....	180
Figura A.4: Entrada principal de la vivienda 2.....	180
Figura A.5: Aislamiento térmico en los muros perimetrales de las viviendas.....	181
Figura A.6: Sector proyectado para futuras construcciones.....	181
Figura C.1: Cámara de ensayo ocupada para el desarrollo del experimento.....	184
Figura C.2: Interior de las cámaras de ensayo para el desarrollo del experimento.....	184
Figura C.3: Características de la cámara de ensayo.....	184
Figura C.4: Recipiente con la muestra de policarbonato ya instalada.....	185
Figura C.5: Recipiente con la muestra de yeso cartón ya instalada.....	185
Figura C.6: Recipiente con la muestra de polietileno ya instalada.....	185
Figura C.7: Balanza electrónica ocupada para obtener el peso de las muestras en cada medición	186
Figura C.8: Depósito para traslado de probetas ocupado para transportar las probetas desde la cámara a la balanza electrónica.....	186
Figura C.9: Sensores de temperatura y humedad instalados en la cámara de ensayo.....	186
Figura E.1: Valores de transmitancia térmica para los marcos según el software CCTE.....	190
Figura E.2: Valores de factor solar y transmitancia térmica para puertas usadas en el software CCTE.....	191

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 6.1: Radiación solar en fachada vertical para la ciudad de Puerto Montt [MJ/m^2].....	98
Gráfico 6.2: Grados días mes para la ciudad de Puerto Montt.....	101
Gráfico 6.3: Demanda térmica para calefacción en el año en vivienda modelo 1 [kWh].....	103
Gráfico 6.4: Demanda térmica para calefacción en el año en vivienda modelo 2 [kWh].....	104
Gráfico 6.5: Demanda térmica para calefacción en el año en vivienda modelo 3 [kWh].....	105
Gráfico 6.6: Resultados de demanda anual total para calefacción y refrigeración en vivienda 1 y modelo referencial con régimen dinámico.....	111
Gráfico 6.7: Resultados de demanda anual total para calefacción y refrigeración en vivienda 2 y modelo referencial.....	112
Gráfico 6.8: Resultados de demanda anual total para calefacción y refrigeración en vivienda 3 y modelo referencial.....	113
Gráfico 6.9: Demanda térmica de A.C.S. para cada mes para una vivienda con 5 habitantes.....	115
Gráfico 7.1: Radiación horizontal (H) y radiación para una superficie inclinada en 45° (Ht) en la ciudad de Puerto Montt, durante el año.....	132
Gráfico 7.2: Factor anual (f) v/s área cubierta por colectores, para modelo colector 1.....	135
Gráfico 7.3: Factor anual (f) v/s área cubierta por colectores, para modelo colector 2.....	137
Gráfico 7.4: Cambio de masa total v/s número de mediciones para muestra 1.....	153
Gráfico 7.5: Cambio de masa total v/s número de mediciones para muestra 2.....	153
Gráfico 7.6: Cambio de masa total v/s número de mediciones para muestra 3.....	153

LISTA DE SÍMBOLOS

ACH/h	: Renovaciones de aire por hora en un recinto [1/h]
α	: Coeficiente de ventilación de una cámara.
C	: Conductancia térmica de un elemento [$W / m^2 \text{ } ^\circ C$].
Cp	: Calor específico del aire [J / Kg $^\circ C$].
Ce	: Calor específico del agua [J / Kg $^\circ C$].
D	: Densidad del aire [Kg/m ³].
ΔT	: Diferencia de temperatura entre 2 caras de un elemento [$^\circ C$].
e	: Espesor de un elemento [m].
EV	: Factor de forma, relación entre superficie y volumen [1/m].
FS	: Factor solar.
FrTan	: Factor de eficiencia óptica de un panel solar [%].
FrUI	: Coeficiente global de pérdidas de un panel solar [$W / m^2 \text{ } ^\circ K$].
f	: Porcentaje de cobertura mensual de energía, aportado por un sistema solar [%].
GD	: Grados días, [$^\circ C$ -día / mensual] o [$^\circ C$ -día / anual].
HR	: Humedad relativa [%].
H	: Radiación global diaria media [J / m ² día].
Ht	: Radiación solar en superficie inclinada [J / m ² día].
k	: Factor de corrección para superficie inclinada.
λ	: Conductividad térmica de un material [$W / m \text{ } ^\circ C$].
P	: Permeabilidad de un material [g / m h mmHg].
PR	: Permeancia de un material [g / m ² h mmHg].
Q	: Cantidad de calor [kcal].
Qa	: Carga calorífica mensual para calentamiento de A.C.S. [J/mes].
Qcs	: Ganancia calorífica debido al calor sensible de las personas [kWh].
Qcl	: Ganancia calorífica debido al calor latente de las personas [kWh].
Qe	: Ganancia calorífica debido al aporte de equipos electrónicos e iluminación [kWh].
Qi	: Pérdida calorífica debido a infiltraciones [kWh].
Ql	: Calor latente de las personas [W]
Qr	: Ganancia calorífica debido al aporte por radiación solar [kWh].
Qs	: Calor sensible de las personas [W].
Qt	: Pérdida calorífica debido a la transmisión de los elementos de la envolvente [kWh].
Qu	: Carga calorífica mensual aportada por un sistema solar [J/mes].
Qv	: Pérdida calorífica debido a la ventilación [kWh].
R	: Resistencia térmica de un elemento [$m^2 \text{ } ^\circ C / W$].
R _{se}	: Resistencia térmica de la capa superficial de aire exterior de un elemento [$m^2 \text{ } ^\circ C / W$].
R _{si}	: Resistencia térmica de la capa superficial de aire interior de un elemento [$m^2 \text{ } ^\circ C / W$].
RH	: Resistencia a la humedad [m ² h mmHg / g].
Rt	: Resistencia térmica total de un elemento, considerando R _{si} y R _{se} [$m^2 \text{ } ^\circ C / W$].
S	: Superficie de un elemento [m ²].
TVA	: Grado de transmisión al vapor de agua de un material [g / m ² h].
ta	: Temperatura media mensual del ambiente [$^\circ C$].
tac	: Temperatura del agua caliente de acumulación [$^\circ C$].
tr	: Temperatura del agua de red [$^\circ C$].
U	: Transmitancia térmica de un elemento [$W / m^2 \text{ } ^\circ C$].
Ψ	: Transmitancia térmica lineal [$W / m \text{ } ^\circ C$].

Por estos días, a nivel mundial, se está viviendo una crisis energética, producto del constante aumento del precio del petróleo, distintos conflictos de los países productores y también al incremento de la demanda energética en todas partes del mundo. Chile no es la excepción, durante los últimos años se ha visto como aumenta la demanda energética en todos los rubros y también los precios de los combustibles. Por estas razones, el buscar el ahorro de energía en las viviendas pasa a ser un tema de vital importancia para las familias.

Pero no siempre todo es economía. Se ha presenciado como en los últimos años ha explotado el "boom" del calentamiento global. También es tema, preocuparnos del daño que le hacemos a la tierra y de la manera en que estamos gastando los recursos que nos brinda. Por lo que el diseño conlleva estos 2 factores, el económico y el ecológico. Para esto, nace el concepto de construcción sustentable, el que tiene como sustento estos 2 objetivos mencionados. Mezclándolos con tal de obtener una optimización en la construcción de la vivienda, es lo que se busca lograr con este trabajo.

Se han creado organizaciones que buscan difundir y enseñar los conceptos de la construcción sustentable, por ejemplo la IISBE (Internacional Initiative for a Sustainable Built Environment) que tiene como objetivo principal desarrollar y aplicar un nuevo concepto de evaluación del comportamiento medioambiental de los edificios. Esta organización fue la impulsadora de unos de los encuentros más importantes sobre esta materia, el Green Building Challenge, que consistió en ser un desafío para educar a la población y hacer que tomen conciencia ecológica, además, pretende implementar diseños de ciudades con edificaciones bajo un concepto de sustentabilidad.

Además, cada país (los más desarrollados principalmente) ha ido creando normas y códigos con respecto al ahorro energético, fijan estándares propios. En España, por ejemplo, existe el CTE "Código Técnico de la Edificación", que contiene un artículo sobre exigencias de ahorro de energía. Está en EE.UU. la ASHRAE "American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers". En Alemania existe la "Disposición sobre protección térmica con ahorro de energía y técnica de instalaciones con ahorro de energía para edificios" (Reglamento

alemán sobre el ahorro de energía EnEv, en vigor desde el 1/1/2002). Entre muchos otros, existentes en otras naciones.

Si se quiere aplicar el concepto de construcción sustentable en las viviendas, es necesario hacerlo desde el punto de vista del diseño y el método constructivo. ¿Cuál será el método y insumos necesarios para producir el mínimo de contaminación ambiental en el proceso de construcción y posterior utilización?, ¿Cuál será el diseño óptimo para un ahorro energético máximo? Las ventajas son muchas: entre las ya mencionadas, están aparte, la disminución de contaminantes, mejor calidad de vida, facilidad en el control ambiental interno y flexibilidad y adaptabilidad de la vivienda.

Como tema central de este trabajo se encuentra lo expuesto anteriormente, esto se buscará analizando 3 viviendas diferentes, pero de la misma empresa DESARROLLOS CONSTRUCTIVOS AXIS, ubicadas en la zona de Puerto Montt. Se cuantificarán sus pérdidas y ganancias energéticas (en régimen permanente), para así obtener sus propias demandas de calefacción y refrigeración. Luego, se modelarán con diferentes soluciones de ahorro energético en la envolvente y se verán los porcentajes de disminución de consumo energético. También, se estudiarán métodos eficientes ecológica y económicamente (productos que están saliendo al mercado últimamente) para poder abastecer con agua caliente sanitaria a la vivienda. Finalmente se evaluarán económicamente para poder abarcar los 2 puntos: ecológico y económico.

El modelamiento de las viviendas también se realizará a través del programa CCTE "*Certificación de Comportamiento Térmico para Edificios en Chile*", software puesto a disposición por el MINVU "Ministerio de Vivienda y Urbanismo", que busca ayudar a los profesionales, técnicos y participantes que se mueven en el mercado inmobiliario nacional para que estimen con gran precisión las demandas energéticas de los edificios proyectados.

Como aporte experimental, se medirá la permeabilidad al vapor de agua de algunas muestras de materiales en un laboratorio facilitado por el IDIEM. Estas se harán siguiendo las normas nacionales publicadas al respecto. La finalidad de este ensayo es comparar valores actuales obtenidos en laboratorio de resistencia al vapor de agua siguiendo las normas nacionales en diferentes materiales y entregar información a los profesionales del sector.

De esta forma se busca colaborar al desarrollo de la eficiencia térmica en las construcciones habitacionales del país, en concordancia con la implementación de normas al respecto del país. También se pretende colaborar con el sector inmobiliario, con el desarrollo del punto económico de la construcción sustentable.

2.1 CALOR

El calor es una forma de energía cinética que se manifiesta como un movimiento molecular en la masa de los sólidos, líquidos y gaseosos.

Las moléculas que poseen una mayor energía cinética transmiten alguna fracción de su energía a moléculas que tienen una menor energía cinética. La intensidad del calor (energía cinética) se mide en unidades de temperatura o grados [$^{\circ}\text{K}$, $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$, principalmente] y la cantidad de calor se expresa en unidades de calorías [cal]. Una caloría es la cantidad de calor que se necesita para subir un grado a un gramo de agua.

2.2 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (λ)

[REF 1]

La conductividad térmica es el flujo de calor que atraviesa un material según su superficie " S ", su espesor " e " y la diferencia de temperatura entre ambas " ΔT ". Se mide como flujo de calor en Watts, por metro cuadrado de superficie, por metro de espesor y por grado de diferencia de temperatura entre las caras opuestas [$\text{W} / \text{m}^{\circ}\text{C}$].

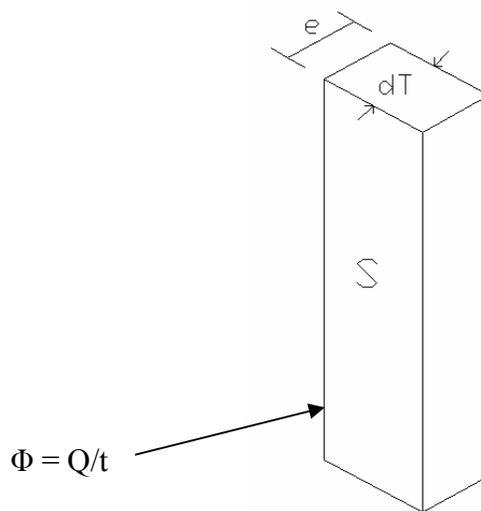


Figura 2.1: Ley de Fourier

La fórmula que se usa para determinar el calor por conducción es la Ley de Fourier, que dice:

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda \cdot S \cdot \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \quad (\text{Ec.2.1})$$

y como:

$$\frac{dQ}{dt} = \phi \quad (\text{Ec.2.2})$$

con Φ flujo de calor [Kcal/hora]. Entonces:

$$\phi = \lambda \cdot S \cdot \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \quad (\text{Ec. 2.3})$$

de aquí surge la constante λ , que es la conductividad térmica del material.

Despejando, se tiene que la conductividad térmica es:

$$\lambda = \frac{Q \cdot e}{t \cdot S \cdot \Delta T^\circ} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Posee unidades de [W / m °C]. Se tiene la conductividad térmica para los siguientes materiales.

Material	Densidad Aparente [Kg / m³]	Conductividad Térmica, λ [W m / K]
Adobe	0.012	0.024
Baldosas cerámicas	-	1.75
Fibro-cemento	920	0.22
	1000	0.23
	1135	0.23
Hormigón armado (normal)	2400	1.63
Hormigón con áridos ligeros	1000	0.33
	1400	0.55
Hormigón liviano a base de poliestireno expandido	260	0.088
	320	0.105
	430	0.134
	640	0.214
	840	0.269
	1100	0.387
Ladrillo macizo hecho a máquina	1000	0.46
	1200	0.52
	1400	0.60
	1800	0.79
	2000	1.00
Ladrillo hecho a mano	-	0.50
Lana mineral, colchoneta libre	40	0.042
	50	0.041
	70	0.038
	90	0.037
	110	0.040
	120	0.042
Maderas:		
- álamo	380	0.091
- alerce	560	0.134
- coigüe	670	0.145
- lingue	640	0.136
- pino insigne	410	0.104
- raulí	580	0.121
- roble	800	0.157
Maderas. Tableros		
aglomerados de partículas	400	0.095
	420	0.094
	460	0.098
	560	0.102
	600	0.103
	620	0.105
	650	0.106

Material	Densidad Aparente [Kg/m ³]	Conductividad Térmica, λ [W m /K]
Maderas. Tableros de fibra	850	0.23
	930	0.26
	1030	0.28
Mármol	2500 - 2850	2.00 - 3.50
Mortero de cemento	2000	1.4000
Poliestireno expandido	10	0.0430
	15	0.0413
	20	0.0384
	30	0.0361
Poliuretano expandido	25	0.0272
	30	0.0262
	40	0.0250
	45	0.0245
	60	0.0254
	70	0.0274
Rocas compactas	2500 - 3000	3.50
Vidrio plano	2500	1.20
Yeso-cartón	650	0.24
	700	0.26
	870	0.31
Hormigón celular	603	0.16
Lana de vidrio	10	0.0440
	11	0.0424
	12	0.0410
	13.1	0.0400

Tabla 2.1: Conductividad térmica de los materiales. [REF 22]

Existen ciertos factores que provocan una alteración en el valor de λ .

2.2.1 Factores que alteran el valor de λ .

2.2.1.1 Densidad

Una alta densidad del material va a implicar en un aumento de la conductividad térmica. Pero existen complicaciones cuando se trata de materiales fibrosos (textiles), ya que el aire entre las fibras empieza a moverse fácilmente por convección al aplicar calor, por lo que la curva se invierte entregando valores de densidad (δ) óptimos y λ mínimo.

Se ve que en estos materiales se alcanza una densidad (δ) óptima, por ejemplo en la lana mineral, el poliuretano, el poliestireno, entre otros, todos ellos materiales fibrosos. Y con ello un λ mínimo, el cual impide que en invierno se vaya el calor y en verano no entre el calor, o sea, provoca una mínima conducción del calor.

2.2.1.2 Temperatura

Cuando se aplica calor al material, se produce una mayor vibración de las moléculas y esto implica un mayor valor de λ .

2.2.1.3 Humedad

Para ver en qué afecta la humedad a los valores de λ en los materiales, se necesita saber primero que: $\lambda_{\text{agua quieta}} = 0.55$ [W / m °C] aproximadamente y $\lambda_{\text{aire}} = 0.02$ [W / m °C]. Luego, se infiere que los materiales que absorben agua cambiarán desafortunadamente sus valores λ , aumentando su valor, pero sólo para materiales con valores de conductividad térmica inferiores a 0.55 [W / m °C].

Aparte de los factores mencionados anteriormente también producen variaciones a la conductividad térmica, pero en grados de importancia menor: la anisotropía (siendo el más característico el caso de la madera), el color del material (los materiales oscuros irradian más calor que los claros) y la presión atmosférica.

2.3 CONDUCTANCIA TÉRMICA (C)

[REF 1]

La conductancia es una característica del material que depende del valor de su conductividad térmica y de su espesor. Es el flujo térmico que pasa a través de un elemento constructivo homogéneo bajo condiciones unitarias de superficies y temperatura, con un espesor "e" conocido del elemento. Matemáticamente:

$$\frac{\lambda}{e} = C \quad (\text{Ec. 2.5})$$

$$\frac{1}{C} = \frac{e}{\lambda} = R_t \quad (\text{Ec.2.6})$$

2.4 RESISTENCIA TÉRMICA (R)

[REF 1]

Los cuerpos poseen la capacidad de transmitir el calor, pero debido a determinadas propiedades de cada uno de ellos ésta característica se ve disminuida. Para lograr medir la resistencia térmica de algún cuerpo se dice que la cantidad de calor transmitida en la unidad de tiempo, en la unidad de superficie y por unidad de espesor, a través de una sustancia, es inversamente proporcional a la resistencia de la sustancia y directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre sus caras. Es el valor recíproco de la conductancia térmica. Se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

También se pueden sumar las resistencias, por ejemplo en elementos de muro en que el calor necesita ir atravesando capas, la resistencia térmica total del muro será la suma de las resistencias por separado de los materiales que lo conforman más la resistencia que provoca la superficie de aire exterior y la superficie de aire interior.

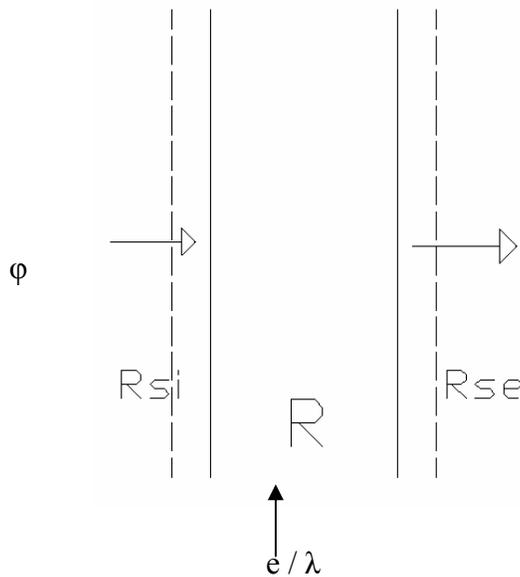


Figura 2.2: Esquema de la resistencia térmica de un muro de espesor e y conductividad λ .

En la siguiente figura se muestran valores de resistencia térmica para la capa de aire contigua a la superficie.

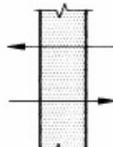
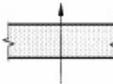
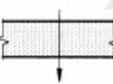
Resistencias térmicas de superficie en $m^2 \cdot K/W$						
Posición del elemento y sentido del flujo de calor	Situación del elemento					
	De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si}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

Figura 2.3: Valores de R de las capas de aire superficiales. [REF 28]

Para efectos prácticos se usa $R_{si} + R_{se} = 0.2 [m^2 \text{ } ^\circ C / W]$, si existe viento se resta 0.05 al valor anterior. Viento se considera si lleva una velocidad sobre 2 [m/s]*.

* [REF 1]

2.5 TRANSMITANCIA TÉRMICA (U)

[REF 1 y 28]

Es el flujo de calor que se conduce a través de un elemento constructivo desde el aire exterior hacia el aire interior o viceversa, por unidad de temperatura y por unidad de superficie. Corresponde eso sí, a cuando existen condiciones en las cuales la temperatura exterior e interior son estables en el tiempo, o cuando existen una diferencia promedio durante un plazo largo de

tiempo. No corresponde a elementos expuestos a radiación solar, la que calienta la superficie del cuerpo, ya que el flujo de calor depende de las diferencias de temperatura del aire a ambos lados del elemento y no de la superficie. Tiene unidades $[W / m^2 \text{ } ^\circ C]$.

Es la conductancia térmica considerándose las capas de aire adosadas al elemento de espesor "e". Se define:

$$\frac{1}{U} = R_{si} + R_{se} + \sum_{i=1}^n \frac{e}{\lambda} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Y de la ecuación de conductividad (ec. 3), la conductancia (ec. 7) y además que:

$$\frac{\phi}{s} = \varphi \quad (\text{Ec. 2.9})$$

con φ como densidad de flujo. Entonces:

$$\varphi = \frac{1 \cdot (T_i^\circ - T_e^\circ)}{R_{si} + R_{se} + \sum_{i=1}^n \frac{e}{\lambda}} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

finalmente queda:

$$\varphi = U \cdot \Delta T \quad (\text{Ec. 2.11})$$

2.5.1 Cálculo de la transmitancia térmica en elementos constructivos.

2.5.1.2 Resistencias térmicas de superficies

En la tabla 3 del punto 2.4 se dan los valores de R_{si} , R_{se} y $(R_{si} + R_{se})$ que se deben considerar en posteriores cálculos.

2.5.1.3 Elementos simples y homogéneos

Para elementos de caras planas y paralelas, de espesor e, conformado por un solo material de conductividad térmica λ , la resistencia térmica total es:

$$R_t = \frac{1}{U} = R_{si} + R_{se} + \frac{e}{\lambda} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

2.5.1.4 Elementos compuestos

2.5.1.4.1 Elementos compuestos por varias capas homogéneas

Para elementos formados por capas en serie o planas y paralelas de materiales distintos en contacto entre sí, la resistencia térmica total es:

$$R_t = \frac{1}{U} = R_{si} + R_{se} + \sum_{i=1}^n \frac{e}{\lambda} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

El elemento puede estar formado por capas en serie o planas y paralelas de materiales distintos y entre sí pueden dejar cámaras de aire, la resistencia térmica se calcula como sigue.

2.5.1.4.2 Elementos compuestos por varias capas homogéneas y cámaras de aire.

La resistencia térmica aportada por la cámara de aire está en directa relación con el tipo de ventilación que posea. Para esto, es necesario ver el grado de ventilación que tenga la cámara. Para esto hay que considerar lo siguiente:

- En elementos verticales se considera el cociente entre la sección total de orificios o rendijas de ventilación al exterior (S) y la longitud de la cámara de aire medida en forma longitudinal (ℓ).
- En elementos horizontales lo que se considera es el cociente entre la sección total de orificios o rendijas de ventilación al exterior (S) y la superficie de la cámara de aire (A).

Dependiendo entonces del tipo de ventilación que tenga la cámara de aire se distinguen 3 casos.

Caso	Cámara de aire	Condición	
		S / ℓ Elementos Verticales	S / A Elementos Horizontales
a	No Ventilada	Menor que 20 cm ² /m	Menor que 3 cm ² /m ²
b	Medianamente Ventilada	20 ≤ y < 500 cm ² /m	3 ≤ y < 30 cm ² /m ²
c	Muy Ventilada	Mayor o igual que 500 cm ² /m	Mayor o igual que 30 cm ² /m ²

Tabla 2.3: Clasificación de las cámaras de aire en elementos compuestos por varias capas homogéneas y cámaras de aire.

En el caso a) la resistencia térmica del elemento se calcula:

$$R_t = \frac{1}{U} = R_{si} + R_i + R_g + R_e + R_{se} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

donde,

- R_i = resistencia térmica del forrado interior del elemento.
- R_g = resistencia térmica de la cámara de aire.
- R_e = resistencia térmica del forrado exterior del elemento.

En el caso b) la transmitancia térmica es:

$$U = \frac{1}{R_t} = U_1 + \alpha \cdot (U_2 - U_1) \quad (\text{Ec. 2.15})$$

con,

- U₁ = transmitancia térmica del elemento calculada bajo el supuesto del caso a.
- U₂ = transmitancia térmica del elemento calculada bajo el supuesto del caso c.
- α = coeficiente de ventilación de la cámara. Toma valores de 0,4 para elementos horizontales y el valor de la siguiente tabla para elementos verticales.

Relación entre las resistencias térmicas de las capas o placas del elemento entre las cuales se encuentra la cámara	Relación S / ℓ en cm^2/m	
	20 hasta 200	sobre 200 hasta 500
R_e/R_i		
$R_e/R_i < 0,1$	0,10	0,25
$0,1 < R_e/R_i < 0,6$	0,20	0,45
$0,6 < R_e/R_i < 1,2$	0,30	0,60

Figura 2.4: Coeficiente de ventilación α de cámaras verticales.

En el caso c) hay que tener en cuenta cómo se encuentra el aire dentro de la cámara: si está en reposo o si está en movimiento.

En el primer caso se desprecia la resistencia térmica de la cámara de aire, R_g , y la del forrado exterior del elemento, R_e . Por lo que la resistencia térmica total se calcula:

$$R_t = \frac{1}{U} = 2R_{si} + R_i \quad (\text{Ec. 2.16})$$

En el segundo caso se considera que el espacio está totalmente abierto. Esto sucede cuando la capa o placa exterior del elemento consiste en una pantalla o protección situada a cierta distancia de la capa o placa interior y no existe tabiquerías que conformen una cámara. La resistencia térmica total del elemento queda:

$$R_t = \frac{1}{U} = R_{si} + R_i + R_{se} \quad (\text{Ec. 2.17})$$

2.5.1.5 Elementos Heterogéneos

Existen discontinuidades en los elementos constructivos que hacen que se transformen en elementos constructivos heterogéneos, por lo que las fórmulas de cálculo de resistencias térmicas anteriores no serán válidas. Como ejemplo se puede citar: juntas de pega en las albañilerías, los ladrillos y bloques con huecos o perforaciones, los encuentros entre muros y losas, etc.

El método de cálculo de los coeficientes de transmisión térmica se va a ver influenciado por las discontinuidades sobre la uniformidad de flujo de calor que se transmite a su través. Los elementos heterogéneos se pueden clasificar como simples y complejos.

2.5.1.6 Pisos en contacto con el terreno

En esta sección se usará el concepto de transmitancia térmica lineal, K_ℓ , que equivale al flujo de calor que sale del local por metro de perímetro exterior del piso considerado, por cada °C de diferencia entre el interior y el ambiente exterior.

Dependiendo de la aislación del piso, se considera para K_ℓ los siguientes valores:

Aislación del piso	Resistencia térmica total	Transmitancia térmica lineal, ψ
	[m ² °C / W]	[W m / K]
Piso corriente	0.15 - 0.25	1.4
Piso medianamente aislado	0.26 - 0.60	1.2
Piso aislado	> 0.60	1

Tabla 2.4: Transmitancia térmica lineal, según piso considerado.

2.5.1.7 Losas o complejos de pisos sobre cámara de aire.

Se necesita calcular el valor de R_t , para saber la transmitancia térmica lineal del piso. El siguiente caso se puede aplicar cuando la cámara de aire tenga una altura inferior o igual a 1m. En caso contrario se usará las fórmulas dadas en 7.1.2, 7.1.3 y 7.1.4. El valor de R_t se calcula como:

$$R_t = \frac{1}{U} = R_p + \frac{1}{\alpha + 3 \cdot \left(\frac{P_{ex}}{A} \right)} \quad (\text{Ec. 2.18})$$

donde,

- R_p = resistencia térmica de la losa o piso sobre envid, el que separa el local de la cámara de aire, calculada tomando las sumas de las resistencias térmicas superficiales ($R_{si} + R_{se}$) y la suma de los e/λ de la losa.

- P_{ex} = perímetro exterior de la cámara de aire [m].
- A = superficie en planta de la cámara de aire [m^2].
- α = coeficiente que depende del grado de ventilación de la cámara de aire.

Grado de ventilación	Relación S/A en cm^2/m^2	Valor α [$W / m^2 K$]
Cámara de aire ventilada	10 a 40	1.6
Cámara de aire medianamente ventilada	2 a 10	0.4
Cámara de aire muy poco ventilada	< 2	0

Tabla 2.5: Valores de coeficiente α .

2.6 HUMEDAD ATMOSFÉRICA

Es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire. Varía según las condiciones climatológicas y está presente en la tropósfera (abarca desde la altura del mar hasta una altura de 11km).

Dentro de los factores que hacen depender su valor está la temperatura. Resulta mucho más elevada la humedad atmosférica en las masas de aire caliente que en las frías.

El aire húmedo está constituido por aire seco más vapor de agua:

$$\text{Aire húmedo} = \text{Aire seco} + \text{Vapor de agua}$$

Se expresa mediante los conceptos de humedad absoluta, específica o relativa.

2.7 HUMEDAD ABSOLUTA

Es el número de gramos de vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire a una temperatura y presión determinadas.

Se expresa en [g (de vapor de agua) / m^3 (de aire)] a una presión y temperatura especificadas.

2.8 HUMEDAD ESPECÍFICA

Es la relación entre la masa de vapor de agua existente en el aire y la masa total del conjunto de aire y vapor de agua. Se expresa en [g (de vapor de agua) / kg (de aire)].

2.9 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa es el cociente entre la cantidad (masa) de vapor de agua que contiene un cierto volumen de aire y la cantidad de vapor de agua que contendría si estuviera saturado, se expresa en porcentaje [%].

$$HR = \frac{\rho(h_{20}) \cdot 100\%}{\rho'(h_{20})} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

con:

- $\rho(h_{20})$ = presión parcial de vapor de agua en el aire
- $\rho'(h_{20})$ = presión de saturación de vapor de agua a la temperatura en el aire
- HR = humedad relativa que contiene el aire.

El valor de este cociente varía con la temperatura, ya que al aumentar la temperatura del aire el límite del contenido de vapor de agua necesario para la saturación crece. Así, la humedad relativa en un cierto lugar tiene una fluctuación diaria opuesta a la temperatura. Al aumentar la temperatura del lugar crece el denominador de la expresión y por lo tanto disminuye la humedad relativa. Además de depender de la temperatura, también influye la presión a que se encuentre el aire.

En relación al confort climático, hay que tener presente que se trata de un concepto importante ya que cuando posee valores bajos causa un exceso de pérdidas de calor del cuerpo debido a la evaporación del agua. Cuando la humedad relativa es alta el sudor no se evapora con facilidad y el cuerpo no puede enfriarse adecuadamente. Es por eso que es recomendable mantener límites adecuados en la vivienda para que no se produzcan los efectos mencionados.

2.10 GRADOS-DÍAS

Los grado-día de un período determinado de tiempo es la suma, para todos los días de ese período de tiempo, de la diferencia entre una temperatura base y la temperatura media del día, cuando esa temperatura media sea inferior a la temperatura base. Existen Grados-Día anuales, que consideran un período de tiempo de 1 año y tiene unidades [°C-día / año]. También existen Grados-Día mensuales.

2.11 BARRERAS DE VAPOR DE AGUA

[REF 30 y 32]

Una barrera de vapor de agua es una membrana impermeable que bloquea el flujo de aire a través de la envolvente de la estructura. Como el propósito de la barrera de vapor es específico, su instalación es a veces omitida o incorrecta.

Su objetivo principal es prevenir que pase el vapor de agua que está contenido en el aire del lado caliente al lado frío, atravesando el material aislante. Una de sus cualidades es que evita las condensaciones intersticiales, y ésta es la razón por la que es usada en la construcción. Hay que tener precaución cuando se instalan, ya que si no están presentes junto con los materiales aislantes su objetivo principal se ve afectado, por lo que deben ser instaladas juntos de tal manera que se beneficien entre ellas. Tienen 3 propósitos específicos: proteger la envolvente de la estructura y los materiales aislantes de los daños de la condensación, prevenir el escape de aire a través de la envolvente y mantener la humedad interior.

Las barreras de vapor de agua deben ser instaladas en el lado caliente de la aislación, ya que la condensación ocurre debido a que el vapor de agua se mueve del lado caliente de la muralla hacia el lado frío. Si la barrera es instalada en el lado frío, ésta atrapa humedad en el interior de la envolvente empeorando los problemas de humedad. Estos principios causan un dilema en climas donde existe calor y humedad en verano, pero el invierno es helado. El factor que decide al final es, cuan helado puede llegar a ser el invierno. En lugares donde el invierno es demasiado helado, lo mejor es instalar la barrera en el interior, en climas donde el invierno posee temperaturas medias, lo mejor puede ser no usar barreras de vapor de agua. También puede resultar tentador instalarlas en ambos lados de la envolvente, pero es la peor solución, ya que

cuando se hace esto pueden quedar atrapadas cantidades peligrosas de humedad, las que al final terminan por generar daños considerables en los componentes aislantes.

En principio una barrera puede ser una superficie inquebrantable y que al mismo tiempo es impermeable al vapor de agua. Un material común son los film de plástico polietileno, típicamente instalado con un grosor de 0.05mm a 0.2mm. Este material es no expansivo, transparente, fácil de manejar y está disponible en diferentes anchos. Pueden ser adjuntadas al aislamiento permeable, como los rellenos de fibra de vidrio. Las cintas dobles previstas para montar las barreras de rellenos adyacentes son generalmente ignoradas por los instaladores.

Principalmente se ocupan materiales como: vidrio, papel Kraft, papel de aluminio, láminas bituminosas, láminas de polietileno, ciertas pinturas (por ejemplo las pinturas tipo óleo sintético en base de aceite) y cualquier lámina de metal.

Como conceptos, para poder definir la resistencia al vapor de agua de un material, primero se debe conocer:

- Grado de transmisión de vapor de agua, TVA

Es el flujo constante de vapor de agua que atraviesa un cuerpo en un determinado período de tiempo bajo condiciones específicas de temperatura y humedad entre ambas caras. Tiene unidades $[g/m^2 \times h]$. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$TVA = \frac{\Delta m}{t \cdot A} \quad (\text{Ec. 2.20})$$

en que,

- Δm = cambio de masa, ocurrido en el tiempo t [g].
- TVA = grado de transmisión de vapor de agua $[g / m^2h]$.
- t = tiempo entre lecturas [h].
- A = área de ensayo de la muestra $[m^2]$.

- Permeancia, PR

Es el flujo constante de vapor de agua que atraviesa un cuerpo en un determinado período de tiempo, pero inducido por la diferencia de presión entre ambas caras. Tiene unidades de $[g/ m^2 \times h \times mm Hg]$. Matemáticamente es:

$$PR = \frac{TVA}{\Delta p} \quad (\text{Ec. 2.21})$$

donde,

- PR = permeancia del recubrimiento $[g / m^2 h mmHg]$.
- $\Delta p = S*(R1-R2)$.
- S = presión de saturación del vapor de agua a la temperatura de ensayo. Como se ocupó la temperatura de 23°C corresponde a 21.068 $[mmHg]$.
- R1 = % de humedad relativa del lado con mayor presión.
- R2 = % de humedad relativa del lado con menor presión.

- Permeabilidad

Es el producto entre la permeancia y el espesor de la muestra. Tiene unidades de $[g/ m \times h \times mm Hg]$. Sólo es válida para muestras homogéneas y de espesor superior a 12mm, se calcula:

$$P = PR \cdot e \quad (\text{Ec. 2.22})$$

con,

- P = permeabilidad al vapor de agua $[g / m h mmHg]$.
- e = espesor de la probeta $[m]$.

- Resistencia al vapor de agua, RH

Es el valor recíproco de la permeancia (R), posee unidades de $[m^2 \times h \times mm Hg / g]$.

$$RH = \frac{1}{PR} \quad (\text{Ec. 2.23})$$

Se muestran a continuación valores de ciertos materiales en forma de lámina a la resistencia al vapor de agua.

Materiales en forma de lámina (1)	Resistencia al vapor [MN s/g]	Resistencia al vapor [mmHg m ² día/g]
Hoja de aluminio de 8 micras	4000	347
Lámina de polietileno de 0.05 mm	103	9
Lámina de polietileno de 0.10 mm	230	20
Lámina de poliéster de 25 micras	24	2.08
Papel Kraft con oxiasfalto	9.7	0.84
Papel Kraft	0.43	0.04
Pintura al esmalte	7.5-40	0.65-3.48
Papel vinílico de revestimiento	5-10	0.43-0.86

Tabla 2.6: Valores de resistencia al vapor de agua de algunos materiales.

* Obtenida de www.tecnicsuport.com el 15/5/09

(1) Pueden considerarse como barreras de vapor aquellos materiales laminares cuya resistencia al vapor esté comprendida entre 10 y 230 MN s/g (0.86 y 20 mmHg m² día /g).

2.12 LÁMINAS DE BAJA EMISIVIDAD.

[REF 39]

Son láminas que se aplican en las ventanas de edificios o viviendas, específicamente en la cara interior del cristal para mejorar el control solar. No entorpecen la vista, ya que poseen una alta transparencia.

La radiación que proviene del sol consta de 3 tipos de luz: luz visible, luz ultravioleta y luz infrarroja. Cuando ésta luz llega al cristal, la lámina actúa deteniendo los rayos ultravioleta y regula los niveles de calor y luz que atraviesan el cristal. Dependiendo del tipo de lámina es cuanto calor y luz son rechazados y no entran al interior de la vivienda, obteniendo con esto, una aproximación a la temperatura de confort dentro de la vivienda.

Existen principalmente 2 tipos de láminas: láminas no reflectantes o tintadas (no contienen metal) que absorben la energía solar y las láminas reflectantes o metalizadas (si

contienen metal) que absorben y reflejan la energía solar. Las primeras se consideran menos efectivas en el control de la luz y el calor proveniente del sol en comparación con las segundas, ya que no poseen reflectancia solar, no como las segundas que gracias a las propiedades del metal pueden reflejar la luz y el calor solar.

Las principales funciones que desempeñan son: reducir el calor solar, bloquear los rayos ultravioletas, reducir reflejos, además de proporcionar un ahorro energético.

Dependiendo del tipo de lámina que se use, pueden reducir hasta el 78% del calor solar cuando se aplican al cristal sin tratar, y también pueden lograr bloquear hasta el 99% de los rayos ultravioletas perjudiciales y el 97% de la luz infrarroja, reduciendo con esto el calor dentro de la habitación. Con toda la ayuda que proporcionan para reducir el calor, contribuyen a un ahorro energético principalmente en los costos de los sistemas refrigerantes.

2.13 CONFORT

El confort térmico va a depender principalmente de la temperatura del aire que nos rodea. Nuestro cuerpo se va a encontrar en confort térmico, cuando el ritmo que tengamos para perder calor, sea el mismo ritmo para generar calor para nuestra temperatura corporal normal. Esto quiere decir, que se debe perder calor permanentemente (a un ritmo adecuado) para encontrarnos en una situación cómoda.

Factores que influyen en la generación de calor:

- Actividad física y mental: la actividad física y mental que mantenga una persona va a influir en que si ésta pueda o no mantener una temperatura corporal y esto repercute en que si pueda alcanzar un confort térmico. Por ejemplo, un cuerpo en reposo consume aproximadamente 70 Kcal / hora y un cuerpo en una situación de trabajo (ejercicio físico intenso) se pueden llegar a consumir hasta 700 Kcal / hora.
- Metabolismo: también va a depender del metabolismo de cada persona. Todos poseen ritmos distintos y propios de evacuación de calor.

Factores que influyen en el ritmo de pérdida de calor:

- Aislamiento natural del cuerpo: cada persona posee su propio tejido adiposo (grasa) y sus propios vellos, los que sirven para aislar y así reducir las pérdidas de calor del cuerpo.
- Ropa de abrigo: sirve para crear una capa de aire entre la superficie de nuestro cuerpo y el tejido de la ropa. La ropa de abrigo logra reducir nuestras pérdidas de calor, provocando así una sensación de calentamiento en el organismo, pero no consume energía ni genera calor. Además de ser un método efectivo, es el más barato para poder regularizar la temperatura del cuerpo en invierno.
- Temperatura del aire: es un factor importante, pero no el principal para lograr alcanzar un confort térmico.
- Temperatura de radiación: es más desconocido que los anteriores y se relaciona con el calor que se recibe a través del fenómeno de la radiación. Se puede estar confortable, térmicamente hablando, en situaciones donde la temperatura del aire sea baja, pero con una temperatura por radiación alta. Por ejemplo en un día frío de invierno (temperatura del aire baja) se puede estar recibiendo el calor del sol de mediodía (temperatura de radiación alta), logrando así una sensación agradable. Ahora en una vivienda puede existir una temperatura de aire no muy alta (15° C), pero con una temperatura en los muros alta (22° C) y también puede resultar agradable. En algunas viviendas suele ocurrir que la temperatura de aire es menor que la temperatura de las paredes, suelos y techos, ya que éstos fueron calentados por el sol anteriormente.
- Movimiento del aire: el viento es un factor que hace aumentar las pérdidas de calor del cuerpo. Lo hace debido a que logra internarse en las ropas de abrigo y así robarse la capa de aire que nos aísla (infiltración) y además aumenta la evaporización del sudor, mecanismo que elimina calor.
- Humedad del aire: la transpiración es un fenómeno por el cual se elimina calor y la humedad del aire incide en su capacidad, ya que a mayor humedad, menor es la transpiración.

Temperatura aire [°C]	Humedad relativa del aire, %	Velocidad del aire [m/s]	Sensación térmica [°C]	Sensación de confort
25	100	0.1	25	caluroso
25	100	0.5	24	caluroso
25	100	1	23	tibio
25	100	1.5	22.2	tibio
25	80	0.1	23.5	tibio
25	80	0.5	23	tibio
25	80	1	22	agradable
25	80	1.5	21.3	agradable
25	60	0.1	22.8	agradable
25	60	0.5	22	agradable
25	60	1	21.2	agradable
25	60	1.5	20.5	agradable
25	40	0.1	21.3	agradable
25	40	0.5	21.5	agradable
25	40	1	20	agradable
25	40	1.5	19	agradable
20	100	0.1	19	agradable
20	100	0.5	18.5	agradable
20	100	1	17.3	frío
20	100	1.5	16.2	frío
20	60	0.1	18	frío
20	60	0.5	17.1	frío
20	60	1	16	frío
20	60	1.5	15	frío

Tabla 2.7: Sensación térmica en un ambiente según temperatura, velocidad de aire y humedad relativa*.

* La sensación térmica se asimila a °C, ya que en rigor, no es medible con un termómetro común.

* La velocidad del aire en un recinto habitacional es 0,1 a 0,5 [m/s]; para mayor velocidad hay que usar ventiladores.

* Revista BIT, edición N° 27 septiembre 2002, temperatura de confort, páginas 25-26.

2.14 PÉRDIDAS CALORÍFICAS

[REF3 I]

La carga térmica es la cantidad de calor que hay que entregarle a la vivienda en una hora para que ésta pueda conservar su temperatura en el interior. Esa cantidad de calor debe ser igual a la cantidad que pierde a través de sus cerramientos en la misma duración.

Las pérdidas que sufre la vivienda son principalmente 3: por transmisión, por ventilación e infiltración.

2.14.1 Pérdidas caloríficas por transmisión

Es la pérdida por transmisión a través de los cerramientos de la vivienda, se calcula de la siguiente manera:

$$Q_t = U \cdot A \cdot (T_i - T_e) = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (\text{Ec. 2.24})$$

con,

- U = transmitancia térmica del elemento de la envolvente [$W / m^2 \text{ } ^\circ C$]
- A = superficie del elemento de la envolvente [m^2].
- ΔT = Diferencia de temperatura entre el exterior y el interior [$^\circ C$]. Para hacer análisis en un período de tiempo se ocupan Grados-día [GD].

Queda expresado en unidades de [kWh] o en [Kcal]. Se hace para cada cerramiento de la vivienda: ventanas, puertas, muros exteriores, piso y techumbre. En el caso del piso hay que tener cuidado, ya que puede ser que el ΔT sea diferente al usado para los otros cerramientos, debido a que la temperatura del suelo es distinta a la del aire exterior.

2.14.2 Pérdidas caloríficas por ventilación.

Debido a que las viviendas no son estancas, con esto quiero decir que no estancan el aire y no siempre tienen el mismo. Para que suceda esto, hay que ventilarlas y suministrar aire puro a las personas que viven dentro, lo que se consigue renovando el aire mediante diferentes sistemas. Las pérdidas por ventilación se calcula de la siguiente manera:

$$Q_v = \left(\frac{ACH}{h} \right) \cdot V \cdot d \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (\text{Ec. 2.25})$$

donde,

- ACH/h = renovaciones de aire por hora [$1 / h$].
- V = volumen del recinto [m^3].
- C_p = calor específico del aire [$J / Kg \text{ } ^\circ C$].
- d = densidad del aire [kg / m^3].

- ΔT = Diferencia de temperatura entre el exterior y el interior [°C]. Para hacer análisis en un período de tiempo se ocupan Grados-día [GD].

El valor de ACH/h es difícil de predecir, en la norma chilena NCh 1960 se puede encontrar la siguiente tabla con algunos valores estimados, cuando existe ventilación pasiva..

Tipo de Recinto	ACH/h
Baño con WC	2 - 3
Cocina	3- 4
Lavado y secado de ropa	6 - 8
Estar, comedor	1 - 1.5
Dormitorio (1 cama)	1
Dormitorio (2 camas)	1 - 1.5
Dormitorio (3 o 4 camas)	1.5 -2
Otros recintos habitados	1 - 1.5
Baño con ducha	5 - 8

Tabla 2.8: Valores recomendados en la norma NCh 1960 de ACH/h.

En los softwares empleados para calcular el comportamiento térmico de las viviendas, como el CCTE y el Ecotec, se ocupa una tasa de 1 renovación por hora para la casa.

Ahora, si existe ventilación forzada, el valor de ACH/h se considerará 0,5, promedio obtenido del ASHRAE Handbook "1997 Fundamentals".

2.14.3 Pérdidas caloríficas por infiltración.

En caso de no existir renovación forzada, se confía ésta a la apertura de ventanas. Cuando existen ventanas en la vivienda (que es el método usado para ventilación pasiva), se tiene que tener en cuenta la cantidad de calor que se pierde a través de la infiltración por las rendijas de las ventanas. Para cuantificar estas pérdidas se puede hacer mediante 2 fórmulas.

a)
$$Q_i = C \cdot d \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (\text{Ec. 2.26})$$

con,

- C = caudal de ventilación (aire infiltrado) [m^3 / h].

- ΔT = Diferencia de temperatura entre el exterior y el interior [°C]. Para hacer análisis en un período de tiempo se ocupan Grados-día [GD].

Algunas normas establecen de esta manera el cálculo de pérdidas por infiltración. Primero, dándole valor al caudal de aire por metro lineal de junta (en las ventanas), después multiplicándolo por los metros lineales de junta y obteniendo finalmente un caudal de infiltración por las ventanas.

- b) U ocupando la misma fórmula que para cuantificar las pérdidas por ventilación, pero usando ahora un valor de ACH/h que corresponda a infiltración. Particularmente, en este trabajo se usará este método. Para obtener el valor de ACH/h se ocupara la tabla 3 del capítulo 25 del ASHRAE Handbook "1997 Fundamentals", donde se pueden obtener valores para los escapes de aire efectivo por área de la envolvente de la vivienda. Para obtener el valor de ACH/h se ocupará la siguiente fórmula:

$$Q_{i2} = \left(\frac{A_l}{1000} \right) \cdot \sqrt{C_s \cdot \Delta T + C_w \cdot V^2} \quad (\text{Ec.2.27})$$

donde,

- Q_{i2} = tasa de flujo de aire [m^3/s].
- A_l = área del escape de aire efectivo [cm^2].
- C_s = Coeficiente de Snack [$(\text{L/s})^2 / \text{cm}^4 \text{ } ^\circ\text{K}$]. *
- C_w = Coeficiente de viento [$(\text{L/s})^2 / \text{cm}^4 (\text{m/s})^2$]. **
- V = promedio de la velocidad del viento en la zona [m/s].
-

Tanto * como **, se pueden encontrar en las tablas 6 y 8 del capítulo 25 del ASHRAE Handbook "1997 Fundamentals".

Luego:

$$\left(\frac{\text{ACH}}{h} \right) = \frac{Q_{i2}}{V_v} \quad (\text{Ec. 2.28})$$

con,

- ACH/h = renovaciones de aire por hora [1/h].
- V_v = Volumen de la vivienda [m^3].

2.15 GANANCIAS CALORÍFICAS.

2.15.1 Ganancias caloríficas obtenidas de la radiación solar a través de las ventanas.

Cuando uno se encuentra en una vivienda se percata que a través de las ventanas entra calor, produciendo una ganancia calorífica, si la ventana se encuentra con las cortinas cerradas o abiertas, es fácil darse cuenta con cual de las 2 entra más calor a la habitación., esto se debe a que la radiación solar atraviesa las superficies traslucidas y transparentes, " chocando " con las superficies que se encuentran en el interior produciendo un aumento de las temperatura ambiente del lugar. Las ganancias por radiación solar (Q_r) se pueden calcular con la siguiente ecuación:

$$Q_r = S_v \cdot R \cdot f_r \quad (\text{Ec. 2.29})$$

donde,

- S_v = superficies de las ventanas expuestas a la radiación solar [m^2].
- R = radiación solar que atraviesa el vidrio [MJ / m^2].
- f_r = factor de corrección (Factor Solar) de la radiación que es propia de cada tipo de vidrio, usualmente es aportada por el fabricante o distribuidor, es adimensional.

El factor solar es el cociente entre la energía total que atraviesa el vidrio y la energía solar incidente sobre él. La energía total es la suma de la energía de entrada por transmisión directa a través del vidrio y de la energía cedida por los vidrios al ambiente interior como consecuencia de su calentamiento por absorción energética. Esta absorción es producida por parte del flujo de energía solar absorbida por el vidrio, esta absorción repercute en un aumento de su temperatura y luego se reemite hacia el exterior o al interior, esta característica depende de tratamientos sobre el vidrio y de las condiciones ambientales.

El coeficiente de sombra es un índice del vidrio que mide la capacidad de filtrar el calor producido por los rayos directos del sol (radiación de onda corta) que inciden sobre él. Mientras menor sea este número, menor será el calor del sol que entre por las ventanas en la vivienda.

2.15.2 Ganancias caloríficas aportadas por el calor latente y sensible emitido por las personas.

El cuerpo humano emite calor de dos formas: calor latente y sensible. El calor sensible es emitido del cuerpo humano a través de radiación y conducción y se manifiesta por un aumento de la temperatura del ambiente que rodea. Al aumentar la temperatura ambiente la transmisión del calor por radiación y conducción disminuye y llega a ser nula cuando el ambiente alcanza los 37°C, por encima de esta temperatura se invierte el proceso y es el cuerpo humano el que recibe calor. Cuando una sustancia cambia de fase se debe suministrar o quitar una determinada cantidad de energía (calor) para que ocurra, el calor latente entregado por una persona se presenta ya sea a través de la exudación o exhalación.

Se calculan usando la siguiente ecuación:

$$Q_{cs} = n_p \cdot Q_s \cdot h \quad (\text{Ec. 2.30})$$

donde,

- Q_{cs} = ganancia calorífica aportada por el calor sensible [kwh]
- n_p = número de personas.
- Q_s = calor sensible [W].
- h = horas de ocupación promedio de la vivienda [hrs].

$$Q_{cl} = n_p \cdot Q_l \cdot h \quad (\text{Ec. 2.31})$$

con,

- Q_{cl} = ganancia calorífica aportada por el calor latente [kwh].
- Q_l = calor latente [W].

2.15.3 Ganancias caloríficas aportadas por los equipos electrónicos e iluminación.

Para esto se considera que la potencia de los equipos se transformará en calor sensible, el que aporta a una ganancia calorífica de la vivienda. Se calcula como:

$$Q_e = (P_i + P_e) \cdot S \cdot h \quad (\text{Ec. 2.32})$$

siendo,

- Q_e = ganancia calorífica aportada por los equipos [kwh].
- P_i = potencia de iluminación [W / m^2].
- P_e = potencia de los equipos [W / m^2].

2.16 DIMENSIONADO PARA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.

[Ref 20]

2.16.1 Cálculo de Radiación solar total en un ángulo inclinado.

[Complementado con Ref 8]

A través de fórmulas astronómicas se puede obtener la radiación solar total en un ángulo inclinado, en realidad se calcula un factor que se multiplica por la radiación global media diaria. En el Manual de Energía Solar (páginas 123 a 140) estos factores se encuentran estimados para diferentes ángulos de inclinación y distintas latitudes (dentro de los límites de Chile), por lo que basta multiplicar por la radiación global diaria media de cada mes para conseguir la radiación solar total para un ángulo inclinado.

Ciudad	Latitud	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Arica	18°20` S	23.3	22.7	20.8	16.3	14.0	11.3	11.0	12.2	16.1	19.2	22.6	22.0
Calama	22°29` S	29.1	26.1	23.9	21.0	17.3	12.0	16.8	19.8	23.3	27.5	30.0	30.6
Antofagasta	23°26` S	24.1	22.8	20.1	15.8	12.6	11.2	12.0	14.1	17.7	21.4	23.8	24.7
Isla Pascua	27°10` S	24.2	22.4	18.3	14.3	10.9	9.6	10.2	12.7	16.3	20.0	22.6	23.8
Copiapó	27°18` S	26.4	24.1	20.3	15.1	11.8	11.0	12.0	14.7	19.1	23.2	25.8	25.8
Vallenar	28°36` S	25.3	23.4	19.8	14.9	11.0	9.7	11.0	14.1	17.6	22.6	25.2	26.0
Pudahuel	33°23` S	28.0	24.8	19.3	13.1	8.9	6.6	7.8	10.4	14.8	20.3	26.3	28.3
Curicó	34°58` S	22.7	22.5	17.5	11.4	6.6	4.6	6.0	8.4	12.9	17.6	22.4	24.3
Concepción	36°46` S	25.4	21.6	16.6	10.6	6.6	5.0	6.3	9.0	12.8	17.7	21.9	24.4
Temuco	38°45` S	24.8	21.7	15.9	9.7	5.8	4.4	5.1	8.0	12.0	17.9	20.9	25.0
Pto. Montt	41°25` S	20.1	19.1	12.6	8.5	5.0	3.6	4.3	6.8	10.1	13.6	16.9	19.0
Coyhaique	45°35` S	21.4	18.8	13.3	8.4	4.4	3.4	4.2	6.9	11.4	16.2	20.2	22.4
Pta. Arenas	53°0` S	19.4	14.3	10.6	5.7	3.0	2.0	2.5	4.9	9.3	15.7	19.2	20.7

Tabla 2.9: Radiación Global Diaria Media para cada mes [MJ / (m² día)].

* Tabla 20, página 122 del Manual de Diseño para Calentamiento de Agua.

Inclinación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.0	1.01	1.03	1.05	1.09	1.13	1.15	1.14	1.10	1.06	1.03	1.01	1.01
10.0	1.02	1.05	1.10	1.18	1.25	1.29	1.27	1.20	1.12	1.06	1.02	1.01
15.0	1.02	1.07	1.15	1.26	1.37	1.43	1.39	1.29	1.18	1.09	1.03	1.00
20.0	1.01	1.08	1.18	1.33	1.48	1.56	1.51	1.38	1.22	1.10	1.03	1.00
25.0	1.00	1.08	1.21	1.39	1.58	1.68	1.62	1.45	1.26	1.11	1.02	0.98
30.0	0.99	1.08	1.24	1.45	1.67	1.80	1.73	1.52	1.29	1.12	1.00	0.96
35.0	0.97	1.08	1.26	1.50	1.76	1.91	1.82	1.59	1.32	1.12	0.99	0.94
40.0	0.94	1.06	1.26	1.54	1.84	2.01	1.91	1.64	1.34	1.11	0.96	0.90
45.0	0.91	1.04	1.27	1.58	1.91	2.09	1.99	1.68	1.35	1.09	0.93	0.87
50.0	0.87	1.02	1.26	1.60	1.96	2.17	2.05	1.72	1.35	1.07	0.90	0.83
55.0	0.83	0.99	1.25	1.62	2.01	2.24	2.11	1.74	1.34	1.04	0.86	0.79
60.0	0.78	0.95	1.23	1.62	2.05	2.29	2.16	1.76	1.33	1.01	0.81	0.74
65.0	0.73	0.90	1.20	1.62	2.07	2.34	2.19	1.76	1.32	0.97	0.76	0.69
70.0	0.68	0.85	1.16	1.60	2.08	2.36	2.21	1.76	1.28	0.92	0.71	0.63
75.0	0.62	0.80	1.12	1.58	2.08	2.38	2.21	1.74	1.24	0.87	0.65	0.57
80.0	0.56	0.74	1.06	1.54	2.06	2.38	2.20	1.71	1.19	0.81	0.59	0.51
85.0	0.50	0.67	1.00	1.49	2.03	2.36	2.18	1.67	1.13	0.74	0.52	0.45
90.0	0.43	0.60	0.94	1.43	1.99	2.32	2.14	1.61	1.07	0.67	0.46	0.39

Tabla 2.10: Factor de corrección k para superficies inclinadas para la latitud de 42° S.

* Tabla 32, página 134 Manual Diseño para Calentamiento de Agua.

El valor k corresponde al cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal. Usamos la tabla de latitud 40° S, ya que Puerto Montt posee una latitud de 41.4° S.

La radiación total incidente en la superficie inclinada corresponde al producto de k y la radiación horizontal.

$$H_t = H \cdot k \quad (\text{Ec. 2.33})$$

con,

- H_t = radiación solar en superficie inclinada [J / (día m²)].
- H = radiación solar horizontal [J / (día m²)].

Este factor de corrección va a depender de la época del año, debido a que la distancia tierra-sol no siempre es la misma durante el año, la declinación solar (δ) también se ve involucrada (debido a la inclinación del eje de rotación del eje de la tierra), pues es distinta para cada mes del año como se aprecia en la siguiente figura:

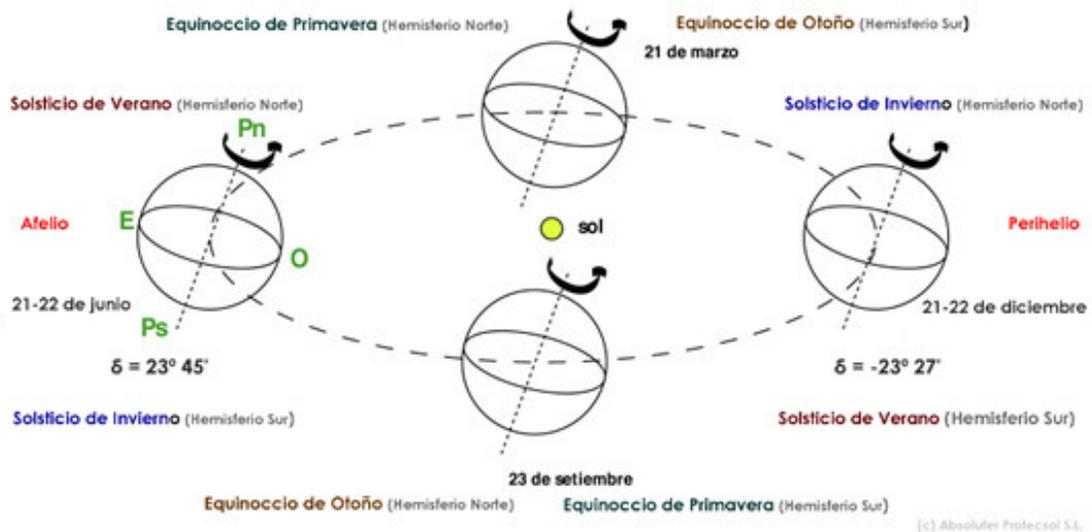


Figura 2.5: Inclinación del eje de rotación de la tierra durante el movimiento de traslación.

La declinación para cada mes del año se obtiene de la "fórmula de Cooper", aplicada comúnmente en ingeniería:

$$\delta(^{\circ}) = 23.45 \sin \left[360 \frac{(284 + n)}{365} \right] \quad (\text{Ec. 2.34})$$

siendo,

- n = número secuencial de días del año.

Así, para diferentes períodos del año, diferentes declinaciones y distintas horas del día para diferentes latitudes, se puede determinar la altitud y azimut del sol, como también la hora de salida del Sol y la duración del día. La trayectoria solar correspondiente a 43°S es:

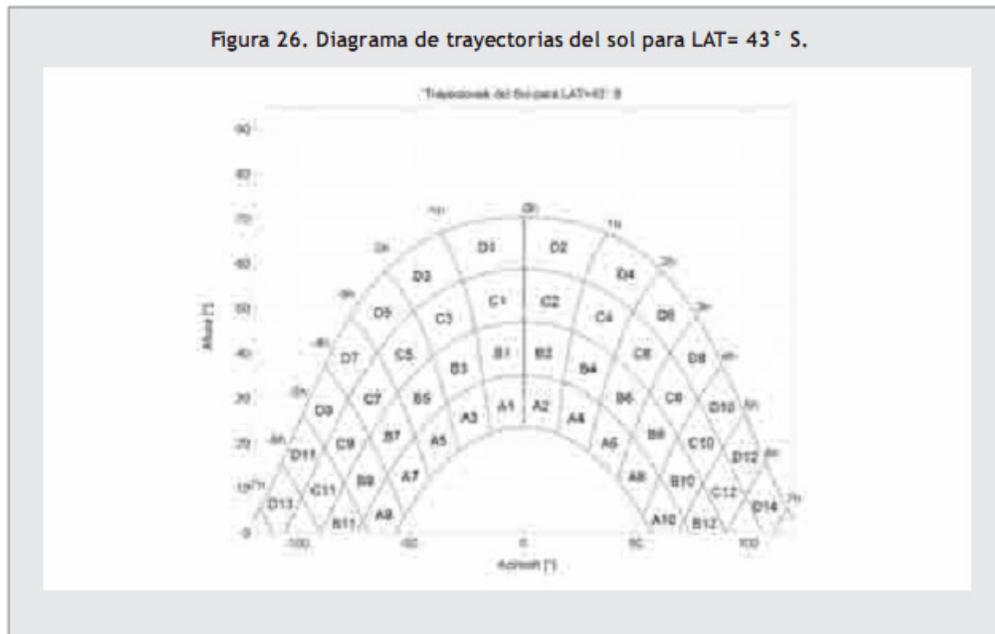


Figura 2.6: Trayectoria solar para una latitud de 43°S.

* Figura 26, página 80 del Manual de Diseño para Calentamiento de Agua.

El ángulo horario (ω), que corresponde a la hora expresada en grados se puede obtener suponiendo la siguiente ecuación a la salida del sol para una superficie inclinada:

$$0 = \sin(\delta) \cdot \sin(L) + \cos(\delta) \cdot \cos(L) \cdot \cos(\omega) \quad (\text{Ec. 2.35})$$

con,

- L = latitud ($^{\circ}$), + norte, -sur.
- ω = ángulo horario para una superficie horizontal ($^{\circ}$).

Y la duración del día queda establecida como:

$$\text{Duración del día (hr)} = 0.13 * \omega' \quad (\text{Ec. 2.36})$$

Luego, se obtienen los valores de la fracción directa y difusa que llega a una superficie horizontal y además se calcula para una superficie inclinada el ángulo horario de puesta de sol (ω_s):

$$\cos(\omega_s) = \tan(L - b) \cdot \tan(\delta) \quad (\text{Ec. 2.37})$$

donde,

- b = ángulo de inclinación de la superficie.

Como ángulo horario de puesta de sol para superficie inclinada, se escoge el mínimo entre ω' y ω_s . Con esto se obtiene el valor de la radiación extraterrestre total para una superficie inclinada:

$$I_{ot} = \left(24 \cdot \frac{I_o}{\pi} \right) \cdot \left[\cos(L - b) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega') + \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{\omega'}{360} \right) \cdot \sin(L - b) \cdot \sin(\delta) \right] \quad (\text{Ec. 2.38})$$

con,

$$I_o = I_{sc} \cdot \left[1 + 0.033 \cos \left(360 \cdot \frac{n}{370} \right) \right] \quad (\text{Ec. 2.39})$$

- I_o = radiación extraterrestre que llega a un lugar en superficie horizontal.
- I_{sc} = la intensidad de la energía de radiación del sol a una distancia promedio tierra-sol, medida en la normal de la línea tierra-sol por afuera de la atmósfera terrestre, llamada constante solar (I_{sc}), que posee un valor aproximado de $1353 \text{ [W/m}^2\text{]}$.

Se pueden obtener los valores de las componentes directa, difusa y reflejada que llegan a una superficie inclinada y se obtiene el factor k , como:

$$k = C_{dir} + C_{dif} + C_{ref} \quad (\text{Ec. 2.40})$$

2.16.2 Cálculo de la demanda térmica para A.C.S.

La carga térmica de agua caliente sanitaria se calcula de la siguiente manera:

$$Q_a = C_e \cdot C \cdot N \cdot (t_{ac} - t_r) \quad (\text{Ec. 2.41})$$

donde,

- Q_a = carga calorífica mensual para calentamiento de A.C.S. [J/mes]
- C_e = calor específico del agua [J/ kg °C]
- C = consumo diario de A.C.S. [lts / día]
- N = número de días del mes.
- t_{ac} = temperatura de agua caliente de acumulación [°C]
- t_r = temperatura de agua red [°C].

2.16.3 Dimensionado de la instalación mediante el método del F-Chart

Una vez obtenidas la carga calorífica necesaria para A.C.S. y la radiación solar total en un ángulo inclinado, se puede dimensionar la instalación de energía solar térmica. Para esto se busca el factor f , que corresponde a la cobertura mensual entregada por el sistema solar para cubrir el total de la demanda energética.

La ecuación utilizada es la siguiente:

$$f = 1.029D_1 - 0.065D_2 - 0.245D_1^2 + 0.0018D_2^2 + 0.0215D_1^3 \quad (\text{Ec. 2.42})$$

con,

- D_1 = energía absorbida por el captador / carga calorífica mensual.
- D_2 = energía perdida por el captador / carga calorífica mensual.

La energía absorbida por el captador es:

$$E_a = S_c \cdot F_{rta} \cdot R_1 \cdot N \quad (\text{Ec. 2.43})$$

donde,

- Sc = superficie del captador [m^2]
- $R1$ = radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie del captador por unidad de área [kJ / m^2].
- N = número de días del mes
- $Frta$ = factor adimensional, que es el factor de eficiencia óptica del panel.

Y la energía perdida por el captador:

$$E_p = Sc \cdot FrU_l \cdot (100 - t_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (\text{Ec. 2.44})$$

donde,

- FrU_l = coeficiente global de pérdidas del captador [$W / m^2 \text{ } ^\circ K$]
- t_a = temperatura media mensual del ambiente [$^\circ C$]
- Δt = período de tiempo considerado en segundos [s]
- K_1 = factor de corrección por almacenamiento
- K_2 = factor de corrección para A.C.S.

K_1 y K_2 se obtienen con las siguientes fórmulas:

$$K_1 = \left(\frac{K_{ga}}{75 \cdot Sc} \right)^{-0.25} \quad K_2 = 11.6 + 1.18 t_{ac} + 3.86 t_r - 2.32 \frac{t_a}{100 - t_a}$$
$$37.5 < \frac{K_{ga}}{Sc} < 300 \quad (\text{Ec. 2.45})$$

con,

- K_{ga} = kilogramo de acumulación [Kg].
- t_{ac} = temperatura mínima del A.C.S [$^\circ C$].
- t_r = temperatura del agua de red [$^\circ C$].
- t_a = temperatura media mensual del ambiente [$^\circ C$].

Con todos los factores obtenidos se puede calcular el valor de f , y así la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar.

$$Q_u = f \cdot Q_a \quad (\text{Ec. 2.46})$$

Como es un proceso para cada mes, se necesita realizarlo para todo el año. Luego, la carga calorífica anual aportada por el sistema solar se obtiene con la relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas necesarias mensuales.

$$CSA = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{un}}{\sum_{i=1}^{12} Q_{ua}} \quad (\text{Ec. 2.47})$$

donde,

- CSA = cobertura solar anual.
- Q_{un} = carga calorífica de cobertura [J/mes].
- Q_{ua} = carga calorífica necesaria [J/mes].

CAPÍTULO 3 ZONIFICACION CLIMÁTICA DE CHILE

3.1 ANTECEDENTES GENERALES DEL CLIMA DE CHILE

Chile abarca una gran extensión latitudinal, es por eso que presenta diversos climas a lo largo del territorio. Desde el norte hacia el sur se van presentando zonas extremadamente áridas, en el centro del país existen climas con veranos secos e inviernos húmedos y lluviosos, cuya duración en tiempo y aumento en aguas caídas incrementan progresivamente hacia el sur, llegando a zonas lluviosas y frías en las zonas más meridionales.

La fisonomía del país a lo ancho, también da lugar a diferentes climas en la misma latitud, ya que existe en la costa (0 m.s.n.m.) un tipo de ambiente y a 200 kms. en el mismo grado de latitud otro clima a 3000 m.s.n.m., esto debido a la presencia de la Cordillera de Los Andes. La primera zona presenta temperaturas aptas para la habitación, condiciones normales en general y la segunda, temperaturas muy bajas llegando a grados bajo cero y condiciones ambientales no aptas para la habitación humana.

Existen 2 excepciones a estas reglas generales. Primero la región altiplánica, en donde existen temperaturas bajas debido a la altura en que se encuentra y presencia de lluvia en los meses de verano. La segunda es la zona al oriente de las cumbres andinas en el sur del país, donde se presenta una sombra pluviométrica y temperaturas bajas obligadas por la latitud en que se encuentran.

El norte árido está comprendido entre 18°S y los 30°S, zona donde las precipitaciones anuales son escasas. Desde los 30°S hacia el sur la cantidad de agua lluvia caída va en aumento y la estación húmeda acrecienta su duración hasta que a los 42°S ya no se puede definir un verano seco. Continuando hacia el sur las precipitaciones siguen incrementándose, llegando hasta los 5000mm en algunos lugares, como la región de Aysén y Magallanes. En el sector céntrico del país los meses lluviosos son los más fríos, por lo general son los de invierno.

Las temperaturas medias del país disminuyen de norte a sur, pero a una tasa relativamente baja, esto debido a la presencia del Océano Pacífico y a la Corriente fría de Humboldt que bordea la costa desde la Isla de Chiloé con dirección norte.

3.2 FACTORES CLIMÁTICOS QUE AFECTAN LA VIVIENDA

[REF 33]

3.2.1 Viento

Hay que tener en cuenta el factor viento para el diseño de la vivienda. Es necesario conocer su dirección predominante en invierno y en verano, para así decidir sobre la fachada más apta y con esto evitar las infiltraciones de aire y lluvia en invierno, como también saber aprovechar las brisas en verano.

3.2.2 Humedad Ambiente

Para analizar este factor se debe tener en cuenta si en la región llueve mucho, además de tener presente la cantidad de vapor de agua existente en el medio, ya que afecta las condiciones de confort y a la misma vivienda en sí, en especial a los sistemas de aislamiento. Al tener presente estos agentes, se puede planear de mejor forma el diseño de la vivienda, la ventilación adecuada para así evitar el exceso de humedad y la protección a utilizar.

3.2.3 Temperatura

Es necesario conocer cuanto frío hace en invierno, si hiela a menudo en la noche, cuanto calor hace en el verano por ejemplo. Son preguntas indispensables para proyectar de la mejor forma posible los sistemas de aislamiento y calefacción necesarios en la vivienda, y así lograr un confort tanto en invierno como en verano. Además se logra saber si el principal objetivo es la calefacción, o la refrigeración, consiguiendo así tener mejor preparada la casa para las diferentes estaciones del año.

3.2.4 Insolación

Saber si en la región existe predominancia de los días a estar nublado o soleado, puede ser de gran ayuda para el diseño. Por ejemplo existen climas donde el sol puede ser de gran ayuda para climatizar la vivienda en invierno, y en este caso conviene emplear sistemas mejores.

3.3 NCh 1079 Of.2008

Establece una zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. Se aplica para la elaboración de proyectos de edificios para las zonas del país clasificadas en la siguiente tabla.

3.3.1 Zonificación climático habitacional para Chile según Norma NCh 1079 Of.2008

Nombre	Clasificación
NL	Norte Litoral
ND	Norte desértica
NVT	Norte Valle Transversal
CL	Central Litoral
CI	Central Interior
SL	Sur Litoral
SI	Sur Interior
SE	Sur Extremo
An	Andina

Tabla 3.1: Clasificación de climas según Norma NCh 1079 Of.2008

En esta zonificación no se incluye: la Isla Sala y Gómez, San Félix y San Ambrosio.

Todas estas zonas poseen una determinada localización y características propias.

3.3.1.1 Norte Litoral

Abarca la franja costera desde el límite con Perú hasta el límite norte de la comuna de La Ligua, la zona entre el lado occidental de la Cordillera de la Costa hacia el poniente, hasta donde se siente la influencia del mar. Posee un ancho variable alcanzando hasta los 50 km. aproximadamente.

Es una zona desértica, con clima dominante marítimo y poca oscilación de temperatura diaria. Nubosidad y humedad en las mañanas, soleamiento fuerte en las tardes y lluvias nulas en su extremo norte y poco frecuentes en el sur. Posee viento proveniente del Sur y Sur-Oeste.

3.3.1.2 Norte Desértica

Ocupa la planicie comprendida entre la Cordillera de los Andes y la Cordillera de la Costa, desde el límite con Perú hasta el límite norte de las comunas de Potrerillos y Diego de Almagro. Se puede considerar la línea de nivel de 3000m como límite oriental.

Es una zona desértica, sin lluvias y calurosa. Posee fuerte radiación solar, una atmósfera limpia y una fuerte oscilación de temperatura diaria. Vegetación nula, con noches frías y vientos fuertes. Tiene la particularidad de tener una angosta subzona de microclima, debido al cruce del Río Loa. Vientos dominantes del Oeste.

3.3.1.3 Norte valles transversales

Se extiende por la región de los cordones y valles transversales, al oriente de la zona NL excluyendo la Cordillera de los Andes sobre los 400 m y desde el límite norte de las comunas de Potrerillos y Diego de Almagro hasta el límite norte de las comunas de La Ligua y Petorca.

Es una zona semidesértica con veranos largos y calurosos. Los valles presentan microclimas. Posee lluvias escasas, con un aumento en el sur. Tiene una oscilación diaria de temperatura y radiación solar fuerte. Presenta un aumento de vegetación, escasa nubosidad, vientos irregulares y una atmósfera relativamente seca. Vientos dominantes del Oeste

3.3.1.4 Central Litoral

Continúa hacia el sur la zona ocupada por el NL, desde el límite norte de la comuna de La Ligua hasta el límite norte de la comuna de Cobquecura. Penetra en los valles de los ríos.

Posee clima marítimo, con inviernos cortos, temperatura templada, lluvias importantes. El suelo y su ambiente son salinos y relativamente húmedos, con una vegetación normal. Vientos predominantes del Sur-Oeste.

3.3.1.5 Central Interior

Abarca el valle central extendido entre el NL y la precordillera de los Andes por bajo de los 1000 m de altura. Empieza por el norte desde el límite norte de las comunas de La Ligua y Petorca hasta el límite norte de las comunas de Cobquecura, Quirihue, Ninhue, San Carlos y Ñiquén.

Posee un clima mediterráneo con temperaturas templadas e inviernos de 4 a 5 meses, una vegetación normal y lluvias en aumento hacia el sur. Una insolación intensa en verano y una oscilación de temperatura diaria moderada, aumentando hacia el Este. Presenta un viento proveniente del Sur-Oeste.

3.3.1.6 Sur Litoral

Es una zona ubicada a continuación del CL que cubre desde el límite norte de la comuna de Cobquecura hasta el límite sur de las comunas de Maullí, Calbuco y Puerto Montt. Varía en su ancho, con penetración en los diferentes valles de los ríos que la cruzan.

Posee clima marítimo y lluvioso, con inviernos largos y un suelo y ambiente salinos y húmedos. Vientos desde el Oeste fuertes. Vegetación robusta y una temperatura templada a fría. Vientos irregulares provenientes del Sur-Oeste y Norte.

3.3.1.7 Sur Interior

Es la continuación del CI, abarcando por el norte desde el límite norte de las comunas de Cobquecura, Quirihue, Ninhue, San Carlos y Ñiquén hasta el límite norte de las comunas de Maullín y Puerto Montt. Hacia el Este llega hasta la Cordillera de los Andes por debajo de los 600 m.

Es una zona lluviosa y fría con heladas. Posee veranos cortos de 4 a 5 meses con una insolación moderada, además de varios ríos y lagos, con sus propios microclimas. Una vegetación robusta y un ambiente y suelo húmedos. Vientos de componentes Sur

3.3.1.8 Sur Extremo

Está constituida por la región de los canales y archipiélagos desde Chiloé hasta la Tierra del Fuego. Contiene hacia el Este una sección continental.

Es una zona fría y lluviosa (todo el año). Nubosidad casi permanente y veranos cortos. Suelo y/o ambiente muy húmedo. También heladas y nieve en altura, y vientos muy fuertes hacia el sur. Posee microclimas importantes en el interior.

3.3.1.9 Andina

Comprende la faja cordillerana y precordillerana superior a los 3000 m de altitud en el norte (Zona Altiplánica) que bajando paulatinamente hacia el sur se pierde al sur de Pto. Montt.

Es una zona de atmósfera seca con grandes oscilaciones de temperaturas diarias. En invierno se producen ventiscas y nieve. Vegetación de altura y un gran contenido de luz ultravioleta en la radiación solar. Debido a las diferencias de altura y latitud que presenta a lo largo posee características particulares, principalmente con condiciones severas.

Las 2 últimas zonas están compuestas con varias subzonas, con poco estudio en estos días debido a que presentan baja densidad poblacional.

3.3.2 Recomendaciones para el diseño arquitectónico

Involucra valores de transmitancia térmica para la envolvente, además de valores para la pendiente de la cubierta. También emite recomendaciones relativas a las protecciones y calefacción.

Zona	Valores Máximos de Transmitancia térmica de la Envolvente [W / m ² K]			
	Elementos Opacos verticales (muros)	Techumbre Opaca	Piso Ventilado	Elementos vidriados Verticales
NL	2,00	0,80	3,00	5,80
ND	0,50	0,40	0,70	3,00
NVT	0,80	0,60	1,20	3,00
CL	0,80	0,60	1,20	3,00
CI	0,80	0,50	0,80	3,00
SL	0,60	0,40	0,80	30,00
SI	0,50	0,30	0,70	3,00
SE	0,40	0,25	0,50	2,40
An	0,30	0,25	0,40	2,40

Tabla 3.2: Valores máximos de transmitancia térmica de la envolvente, según recomendación de la NCh 1079 Of.2008.

La tabla anterior viene con recomendaciones para: evitar puentes térmicos, uso de ventilación, uso de DVH, entre otras. La tabla 3.2 se hizo teniendo presente conseguir confort con eficiencia energética y el concepto de desarrollo sustentable.

Recomendaciones de protección para: la humedad del aire, la humedad del terreno y soluciones salinas. Además incorpora tablas con datos meteorológicos y geográficos útiles de varias estaciones instaladas en el país, como: temperatura media, temperatura máxima media, temperatura mínima media, humedad relativa media mensual, precipitación mensual, radiación global media mensual, horas de sol, promedio de días con nieve, dirección predominante e intensidad media del viento

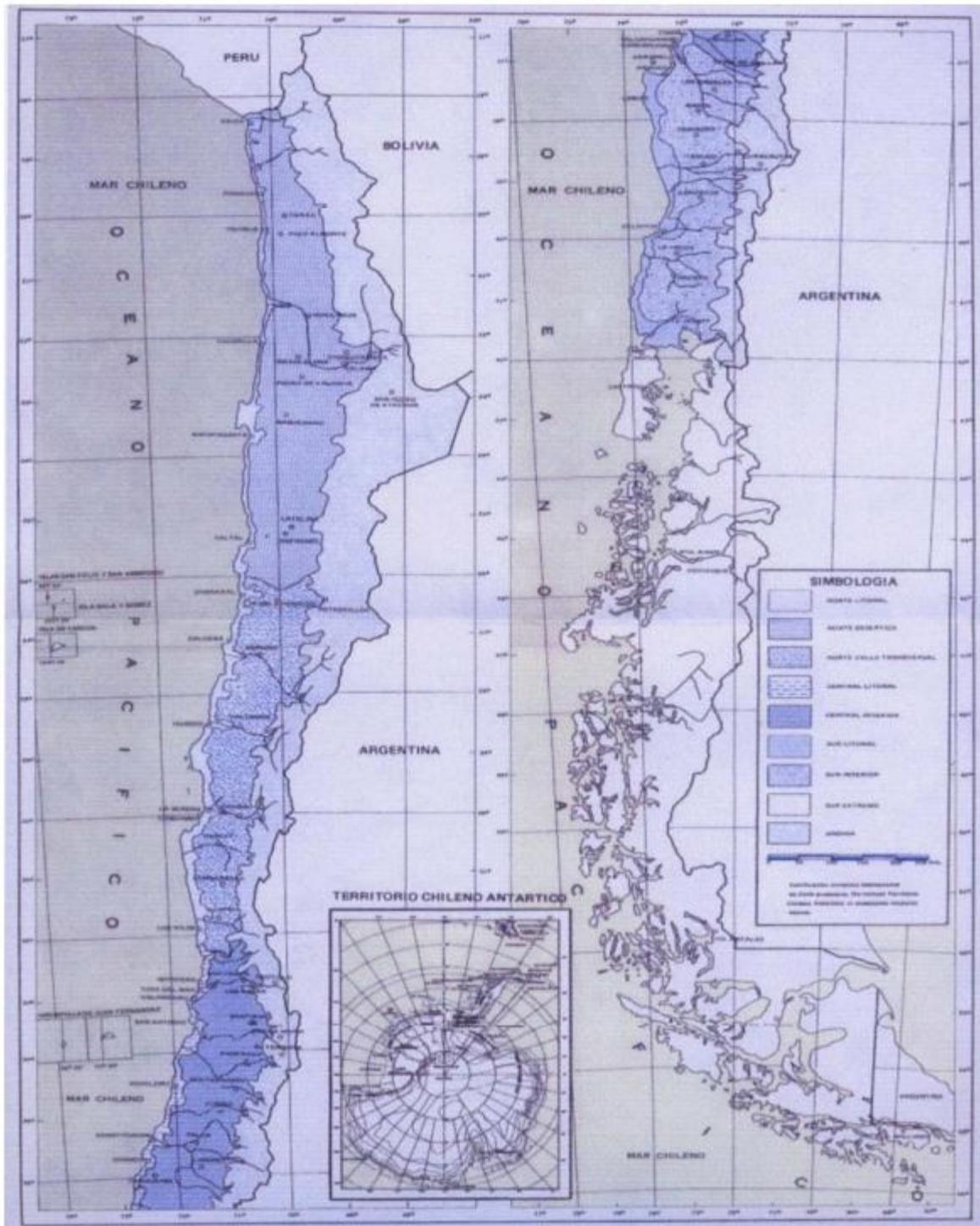


Figura 3.1: Zonificación climático habitacional de Chile según norma NCh 2008.

4.1 REGLAMENTACIÓN TÉRMICA EN CHILE

[REF 22]

El Manual de Reglamentación térmica vigente, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones Artículo 4.1.10 del MINVU contempla dividir el país en 7 diferentes zonas climáticas. Las viviendas, dependiendo de la zona en que estén ubicadas, deberán cumplir las exigencias establecidas para la zona en que esté asignada. Estas zonas se diferencian según los grados días que posean.

Zona	Grado Día Año
1	≤ 500
2	$> 500 - \leq 750$
3	$> 750 - \leq 1000$
4	$> 1000 - \leq 1250$
5	$> 1250 - \leq 1500$
6	$> 1500 - \leq 2000$
7	> 2000

Tabla 4.1: Zonificación térmica chilena según Reglamentación Térmica

Todas las viviendas deben cumplir con las exigencias de acondicionamiento térmico que se presentan en este reglamento. Tienen que cumplir las exigencias respectivas los siguientes elementos de la vivienda: techumbre, muros, pisos ventilados y ventanas.

4.1.1 Exigencias para: techumbres, muros y pisos ventilados

Los complejos de techumbres, muros y pisos ventilados inferiores que forman la envolvente de la vivienda deberán tener una transmitancia térmica igual o inferior a la que se muestra en la siguiente tabla o un valor de resistencia térmica total igual a superior a los valores que se muestran. Todos los valores de acuerdo a la zona en que se encuentre la vivienda.

Zona	Techumbre		Muros		Pisos Ventilados	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W / m ² K	m ² K / W	W / m ² K	m ² K / W	W / m ² K	m ² K / W
1	0.84	1.19	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

Tabla 4.2: Exigencias térmicas para: techumbre, muros y pisos ventilados.

Como complejo de techumbre se considera al conjunto de elementos constructivos que lo conforman, dentro se encuentran: cielo, cubierta, aislamiento térmico, cadenas y vigas.

Como complejo de muro se considera al conjunto de elementos constructivos que lo conforman y cuyo plano de terminación interior tenga una inclinación de más de 60° sexagesimales, medidos desde la horizontal.

Como complejo de pisos ventilados se considera al conjunto de elementos constructivos que lo conforman y que no se encuentran en contacto directo con el suelo. Los planos inclinados inferiores de escaleras o rampas que estén en contacto con el exterior también se considerarán como pisos ventilados.

Se mencionan varias alternativas para cumplir con las exigencias establecidas en la tabla anterior. Éstas son:

- Mediante la incorporación de un material aislante etiquetado con el R100 que corresponde a la siguiente tabla.

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

Tabla 4.3: Alternativa para cumplir con exigencias térmica para cada zona. Material aislante etiquetado con R100.

R100 es el valor equivalente a la resistencia térmica [$m^2 K / W$] x 100, según la norma NCh 2251.

- A través de un certificado de Ensaye otorgado por un Laboratorio de Calidad de la Construcción, demostrando que los diferentes complejos cumplan con las exigencias antes establecidas.
- Mediante cálculo, el que se tiene que hacer de acuerdo a lo señalado por la norma NCh 853. Debe ser ejecutado por un profesional competente.
- Especificar soluciones constructivas para los complejos que corresponda a alguna de las soluciones inscritas en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico, confeccionado por el MINVU.

4.1.2 Exigencias para Ventanas

Como ventanas se considera a los elementos constructivos que constituyen los vanos vidriados de la envolvente de la vivienda.

4.1.2.1 Porcentaje máximo de superficie de ventanas respecto a parámetros verticales de la envolvente

El complejo de ventanas tiene que cumplir con las exigencias que se muestran en la siguiente tabla.

Zona	Vidrio monolítico	DVH Doble Vidrio Hermético	
		$3.6 \text{ W/m}^2\text{K} \geq U > 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
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%

Tabla 4.4: Porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a parámetros verticales de la envolvente.

Consideraciones en la tabla:

- La doble ventana que forme una cámara de aire se asimila al DVH, con valor entre 3.6 y 2.4 [$\text{W} / \text{m}^2 \text{K}$].
- Vidrio monolítico de acuerdo a la norma NCh 132.
- DVH de acuerdo a la norma NCh 2024. Se entiende por DVH al conjunto formado por dos o más vidrios paralelos unidos entre sí y que contienen en su interior una cámara con aire deshidratado o gas inerte.

Para obtener el porcentaje máximo de superficie vidriada de una vivienda es necesario realizar los siguientes pasos: primero determinar la superficie de los parámetros verticales de la envolvente del proyecto, la superficie a considerar corresponde a la suma de la superficie de todos los muros perimetrales (incluye medianeros y muros divisorios) y segundo, determinar la superficie total de ventanas del proyecto, que corresponde a la suma de las superficies de los vanos del muro.

Cuando el proyecto contemple el uso de diferentes tipos de vidrio es necesario obtener el máximo porcentaje por cada tipo de vidrio con respecto a la superficie total vertical. Entonces, para cada tipo de vidrio a utilizar se deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$\frac{TP \cdot MV}{100} = MSV \quad (\text{Ec. 4.1})$$

donde:

- TP = porcentaje del tipo de vidrio con respecto al total de la superficie vidriada.
- MV = porcentaje máximo de superficie vidriada, ver valores en tabla X.
- MSV = porcentaje máximo del tipo de vidrio respecto a la superficie total de la envolvente.

4.1.2.2 Método alternativo del U ponderado

Método alternativo sólo se podrá usar en las zonas 3, 4, 5, 6 y 7 y será válido para vidrios monolíticos. La idea del U ponderado es poder aumentar la superficie vidriada de la vivienda con un respectivo mejoramiento de transmitancia térmica de los muros. El U ponderado deberá tener los siguientes valores:

Zona	U Ponderado [W / m ² K]
3	2.88
4	2.56
5	2.36
6	1.76
7	1.22

Tabla 4.5: Valores de U ponderado para exigencias de ventanas.

Fórmula para determinar el U ponderado:

$$\frac{SM \cdot UM + SV \cdot UV}{STE} = U_{\text{ponderado}} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

donde,

- SM = superficie de muro [m²].
- UM = transmitancia térmica del muro [W / m² K].
- SV = superficie de ventana [m²].
- UV = transmitancia térmica de ventana [W / m² K].
- STE = superficie total vertical de los parámetros verticales de la envolvente [m²].

4.2 COMPARACIÓN CON ESTÁNDARES INTERNACIONALES

La idea de este ítem es poder mostrar la realidad en otras naciones respecto a las exigencias máximas aceptadas en el consumo de energía para calefacción. Es la energía para mantener un nivel de confort apropiado. Los siguientes son valores impuestos en diferentes países respecto al máximo consumo de energía en unidades [kWh / m² año].

España

Son valores que obedecen el Documento Básico HE1 del Código Técnico de la Edificación (CTE). La demanda de energía primaria para calefacción, A.C.S. e iluminación para una vivienda cúbica con 49% de huecos en las fachadas oscila entre 65 [kWh / m² año] para una vivienda ubicada en una zona con menos de 200 GD (que correspondería a la zona climática 1 para Chile) y 300 [kWh / m² año] en una localidad de hasta 2200 GD (correspondería a la zona climática 7 para Chile).

En la reglamentación española, las exigencias tampoco están basadas en rangos mínimos y máximos de consumo de [kWh / m² año] por localidad, como sí ocurre en el resto de los países señalados.

Alemania

La certificación energética en esta nación promulga tres límites de consumo energético. Estos dependen del tipo de vivienda:

1. Regulación: 80 [kWh / m² año].
2. Certificación "Passiv Haus": 30 [kWh / m² año].
3. Certificación "Plus Energie Haus": menos de 30 [kWh / m² año].

Las viviendas con certificación "Plus Energie Haus" tienen la característica de que además de ser "Passiv Haus", debido al bajo consumo energético que poseen, generan energía a través de fuentes renovables, así la energía que consumen es menor a la que producen. El certificado "Passiv Haus" requiere un consumo de energía primaria sólo para calefacción menor a 15 [kWh / m² año].

Suiza

Los valores de consumo energético aquí son similares a los adoptados en Alemania. Fluctúan entre 50 [kWh / m² año] y 65 [kWh / m² año].

Norte de Austria

En esta zona de Austria, que por ubicación geográfica es la que posee más bajas temperaturas en el país, la regulación energética permite un consumo total de energía primaria que oscila entre 88 [kWh / m² año] y 170 [kWh / m² año].

Inglaterra

Permite valores de consumo energético que fluctúan entre 108 [kWh / m² año] y 120 [kWh / m² año].

Bélgica

En comparación a los anteriores límites, los valores reglamentados son mayores, ya que fluctúan entre 180 [kWh / m² año] y 240 [kWh / m² año].

Francia

Los límites de consumo energético regulados por los organismos de Francia son mucho mayores en comparación con el resto de los países europeos. Por ejemplo, si se emplean combustibles fósiles para producir energía, los límites varían entre 210 [kWh / m² año] para una vivienda aislada y 170 [kWh / m² año] para una vivienda adosada.

La inercia térmica es la tendencia de un material para resistir a cambios de temperatura. Para explicar mejor en qué consiste, es necesario primero saber en qué consiste el calor específico.

Calor específico

El calor específico de un material se refiere a la cantidad de calor que hay que suministrarle a 1Kg para que eleve su temperatura en 1°C. Tiene unidades de [Kcal / Kg °C].

Resulta útil conocer las diferentes formas en que se propaga el calor, ya que en una vivienda se generan diferentes grados de temperatura debido a distintas sollicitaciones a las que se ve afectada, creando así flujos de calor en ella.

Existen 3 modos principales en que se propaga el calor, transferencia que se produce desde ambientes más cálidos a ambientes más fríos. Estos son: conducción, convección y radiación.

5.1 FORMAS EN QUE SE PROPAGA EL CALOR

[REF 7]

5.1.1 Conducción

El calor se transfiere a través de conducción entre sólidos en contacto, o entre zonas de un mismo sólido cuando existen diferencias de temperatura entre ellas. En viviendas, se transmite por la materia constitutiva de la envolvente. La conductividad térmica es la propiedad de los materiales relacionada con los trasposos de calor entre materiales con diferentes temperaturas. Hay que conocer los valores de los diferentes materiales de la envolvente de la vivienda para cuantificar su conducción, ésta se hace a través de la conductancia y si consideramos el área de la envolvente será en unidades de [W]. Considerando además las capas de aire superficiales presentes en la vivienda, se usará la propiedad de transmitancia.

5.1.2 Convección

La convección sucede cuando un flujo (en el caso de las viviendas puede ser el aire) a cierta temperatura hace contacto con un sólido, cuya superficie de contacto se encuentra a distinta temperatura.

Existen eso sí, 2 tipos de convección: a) la convección libre y b) la convección forzada.

- a) En la convección libre la variación de densidad en el fluido como consecuencia del contacto con una superficie a distinta temperatura es la fuerza motriz, este genera ciertas fuerzas ascensionales. Como ejemplos de convección libre se puede citar la transmisión de calor entre la pared o el tejado de una vivienda en un día sin viento, también el calor transferido desde la superficie de un colector solar en un día en calma, etc.

- b) La convección forzada sucede cuando existe una fuerza motriz exterior la que provoca el movimiento de un fluido con una velocidad u_f sobre una superficie que se encuentra a una temperatura T_{pf} , la que puede ser mayor o menor a la temperatura del fluido T_f . En la convección forzada se transmite una mayor cantidad de calor para una determinada temperatura, ya que la velocidad del fluido es mayor en éste caso que en el de convección libre.

La cantidad de calor transmitida puede calcularse usando la siguiente fórmula de Newton:

$$Q_c = h_{cf} \times A (T_{pf} - T_f) \quad (\text{Ec. 5.1})$$

donde:

- h_{cf} = coeficiente de transmisión del calor por convección en la interfase líquido-sólido, en $[W / m^2 \text{ } ^\circ K]$.
- A = área superficial en contacto con el fluido, en $[m^2]$.
- T_{pf} = temperatura de la superficie, en $[^\circ K]$.
- T_f = temperatura del fluido no perturbado, en $[^\circ K]$.

El valor numérico de h_{cf} debe ser determinado analítica o experimentalmente, ya que la ecuación anterior sólo sirve de definición.

En la siguiente tabla se relacionan algunos valores aproximados de los coeficientes de transmisión de calor por convección.

Tipo de convección y fluido	h_c (W/m ² °K)
Convección libre, aire	5-25
Convección libre, agua	20-100
Convección forzada, aire	10-200
Convección forzada agua	50-10.000
Agua en ebullición	3.000-100.000
Vapor de agua en condensación	5.000-100.000

Tabla 5.1: Valores aproximados de coeficientes de transmisión de calor por convección.
* [REF 7]

5.1.3 Radiación

La radiación es el tercer modo en que se transmite el calor. La diferencia que tiene con las 2 anteriores es que se trata de un fenómeno en el cual se transporta calor a través de algún fluido o del vacío, en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz. A pesar de que existen varias maneras de radiación electromagnéticas, el interés del tema es enfocarse en la radiación térmica, que es la que transporta energía en forma de calor.

La temperatura absoluta (°K) a la que se encuentre una superficie, así como también su naturaleza son los factores que determinan la cantidad de energía que abandona el cuerpo en forma de calor. La energía que abandona la superficie de un cuerpo en forma de emisión más reflexión se llama radiosidad J [W/m²]. Y la energía radiante que incide sobre la superficie se denomina irradiación G [W/m²].

Un cuerpo negro es el que emite una cantidad de energía radiante de su superficie Q_r , dada por la ecuación:

$$Q_r = \sigma \times A \times T^4 = A \times E_b \quad (\text{Ec. 5.2})$$

donde:

- σ = constante dimensional de Stefan-Boltzman tal que: $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ [W / m}^2 \text{ }^\circ\text{K}^4]$.
- E_b = poder emisivo del cuerpo negro.
- El calor radiante Q_r está expresado en [W].
- La temperatura T está expresada en [$^\circ\text{K}$].

Según la ecuación anterior los cuerpos negros irradian calor proporcionalmente a la cuarta potencia de su temperatura absoluta [$^\circ\text{K}$]. Si un cuerpo negro irradia calor a un recinto cuya superficie es también negra y lo rodea completamente, la transferencia de energía radiante se puede estimar de la siguiente forma:

$$Q_r = \sigma \times A_1 \times (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{Ec. 5.3})$$

Siendo T_1 la temperatura del cuerpo negro y T_2 la temperatura superficial del recinto, ambas en $^\circ\text{K}$.

Pero los objetos reales no son cuerpos negros, así que emiten menos energía que ellos, por lo que se les designa como cuerpos grises. La ecuación se ve alterada con un factor conocido como emisividad ϵ y queda finalmente como:

$$Q_r = \epsilon \times \sigma \times A \times T^4 \quad (\text{Ec. 5.4})$$

Aparte, los cuerpos grises absorben menos energía que los negros, por lo tanto la fracción de la radiación que se absorbe se llama absorptividad α y la fracción de energía que se refleja es $1 - \alpha$. En la siguiente tabla se muestran valores de potencia de emisión de algunas superficies.

Superficie	Temperatura [K]	Potencia de emisión [W/m ²]
Temperatura ambiente	300	459
Al rojo vivo	1000	56.700
Lámpara de filamento	3000	4.590.000
Temperatura del Sol	5760	62.400.000

Tabla 5.2: Valores de potencia de emisión de algunas superficies
[REF 1]

La energía que un cuerpo emite sumada a la energía que refleja es la energía que abandona el cuerpo. Para un cuerpo gris la absorptividad es igual a la emisividad, $\alpha = \epsilon$. Se enseñan valores de emisividad en la siguiente tabla para algunas superficies.

Superficie	Emisividad ϵ
Aleación de aluminio sin oxidar	0,04
Chapa de Cromo	0,16
Acero Inoxidable	0,3
Vidrio	0,8
Asfalto	0,88
Concreto	0,9
Tierra	0,94

Tabla 5.3: Valores de emisividad (ϵ) de ciertas superficies.
[REF 1]

Existen 3 formas en cómo la energía solar incidente se manifiesta en una superficie:

5.1.3.1 Radiación Directa

Es como su nombre la indica, la radiación directa proveniente del sol que llega a la superficie.

5.1.3.2 Radiación Difusa

Es la radiación recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión que sufre la radiación del sol en ella. En días nublados la radiación difusa ocupa un porcentaje mayor en la total que llega a la superficie en comparación a la directa, en días soleados puede alcanzar a ser el

15% de la radiación total que llega, siendo en este caso la radiación directa más alta. Las superficies horizontales son las que reciben mayor cantidad de radiación difusa, esto debido a que ven toda la semiesfera celeste, no así las verticales ya que éstas ven sólo la mitad de la semiesfera celeste.

5.1.3.3 Radiación Reflejada

Es la radiación reflejada por la superficie terrestre. Esta cantidad de radiación va a depender del coeficiente de reflexión de la superficie en particular. En este caso las superficies horizontales no reciben ningún porcentaje de radiación reflejada, ya que no ven superficie terrestre, pero sí van a recibir las superficies verticales.

5.2 FENÓMENOS TÉRMICOS: PERMANENTES Y DINÁMICOS

[REF 24]

El estado permanente o de equilibrio, sólo es aplicable cuando las temperaturas interiores y exteriores permanecen constantes, por lo que ΔT se considera constante en el tiempo. En la realidad, eso sí, una vivienda nunca se encuentra en estado de equilibrio, esto debido a que las condiciones ambientales, climáticas y de uso son variables en el tiempo. Cuando los parámetros (del clima, temperaturas y densidades de flujo sobre las superficies) se consideran variables en el tiempo se está hablando de un régimen dinámico, es decir, los intercambios de calor se consideran dinámicos y en este caso la conductividad térmica no basta para resolver los problemas térmicos.

La ley general de los intercambios de calor sobre las caras de un muro permanece invariante en régimen dinámico. Pero dentro del volumen de un muro cambia, dependiendo si se trata de régimen permanente o dinámico. Las relaciones ocupadas son distintas.

$$\begin{array}{ll} \psi = \left(\frac{\lambda}{e} \right) \cdot \Delta T & \psi = -\lambda \cdot \left(\frac{dT}{de} \right) \end{array} \quad (\text{Ec. 5.5})$$

a) b)

La fórmula del caso a) corresponde a un caso permanente, que cambia a b) en régimen dinámico.

En el supuesto de régimen dinámico, la densidad de flujo ψ ya no es única y la variación de temperatura ya no es lineal. La temperatura y el gradiente varían entre las 2 caras en función del tiempo, y viendo la relación anterior se aprecia que ψ varía a través del espesor del muro, ya que (dT/de) es variable.

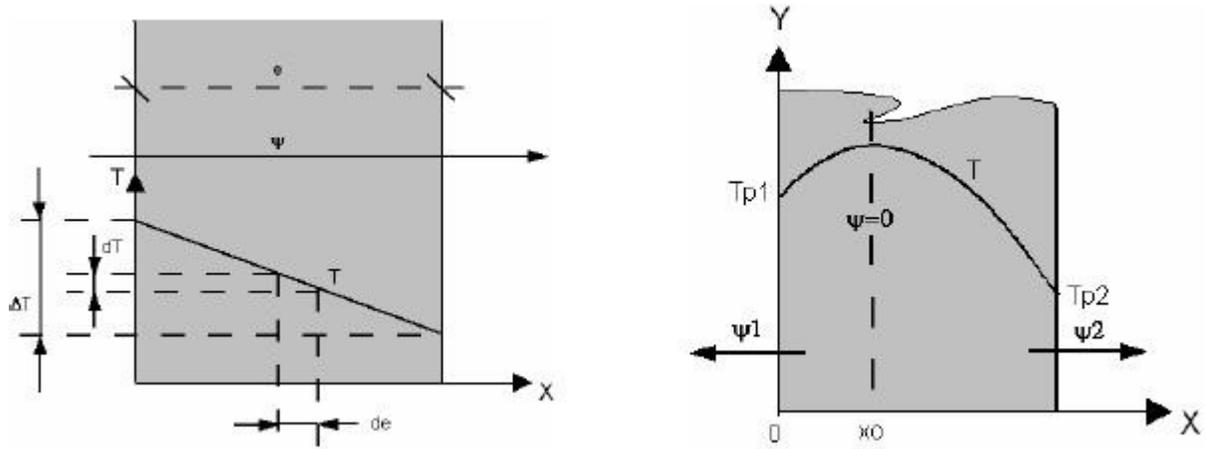


Figura 5.1: Temperatura al interior de un muro en régimen permanente (izquierda) y en régimen dinámico (derecha).

* Ref. 24, página 35.

Para abordar problemas de régimen dinámico se puede ocupar el "Principio de Superposición". Para esto, se considera que todos los parámetros térmicos que influyen sobre la vivienda tienen un período de 24 horas (varían en forma diaria), por lo que el principio se aplica en cada período por separado.

En los problemas dinámicos que muestran parámetros que varían en el período alrededor de un valor medio se pueden dividir en dos problemas por separado aplicando el principio de superposición; un problema es analizado con régimen permanente en el marco de valores medios (V_m) y el otro es con régimen dinámico periódico (ΔV), o sea, se representan los problemas con un valor medio V_m y con una amplitud ΔV dinámico, oscilante y periódico que ronda el valor medio V_m . El valor total será la suma algebraica de los 2 valores $V_m + \Delta V$.

5.2.1 Solicitaciones térmico-dinámicas sobre una vivienda.

Sobre toda vivienda existen fluctuaciones diarias de temperatura, intensidad de la radiación solar y además el uso de la vivienda no es regular durante el día, por lo que la

transmitancia térmica no basta para resolver el problema de comportamiento térmico de la vivienda. La inercia térmica que posee la vivienda se encarga de presentar una oposición al cambio de estado y permite disipar las fluctuaciones que la afectan al interior. La inercia térmica se preocupa de almacenar calor y restaurarlo posteriormente por radiación, construir con gran inercia térmica permite almacenar calor (usando materiales adecuados) proveniente de la radiación solar principalmente y también disminuir las variaciones de temperatura a su interior.

5.2.2 Envoltentes en régimen permanente.

El comportamiento térmico de las viviendas en régimen permanente no depende directamente de la inercia térmica que posea la vivienda. Si depende de la interacción de las temperaturas medias entre el exterior y la envolvente. Para lograr un confort climático de la vivienda, se busca que la temperatura interior media del aire se ubique en los límites establecidos, o sea, se debe tratar que la diferencia de temperaturas medias (ΔT_m) entre el interior y el exterior sea lo más grande posible en climas fríos y lo más pequeño en climas cálidos.

Para determinar ese ΔT_m , se deben cuantificar las ganancias de calor que recibe la vivienda como potencia, éstas son: provenientes del uso interior, de la captación solar media por superficies vidriadas y la captación solar media por superficies opacas (en los cálculos de régimen permanente no se incluyen éstas). Como pérdidas de calor se tiene: el flujo de calor que entrega la vivienda al exterior por conducción a través de la envolvente, la ventilación del día y también se considerarán las infiltraciones, ya que las viviendas analizadas en este caso poseen ventilación pasiva.

Para poder modificar el valor de ΔT_m (aumentar o disminuir dependiendo del beneficio que se espera) es útil atacar las variables más importantes en magnitud, pero también va a obedecer al tipo de clima y a la ubicación geográfica.

5.2.3 Envoltente y estructura internas en régimen dinámico.

Como se trata de régimen dinámico, las temperaturas interior y exterior son las amplitudes en cualquier instante con respecto a la media, que en este caso se llevan a 0 para simplificar el problema.

Las caras exteriores de las envolventes opacas tienen siempre contacto con el aire externo, se asume que la temperatura exterior va variando sinusoidalmente (también se puede aplicar otro método similar) en torno a una temperatura media, que se lleva a 0 como se dijo anteriormente. Se aplica lo mismo para el caso de la temperatura interior. Dentro de la pared, la media entre las temperaturas medias de las dos caras, interior y exterior, también es llevada a 0. En la pared lo que ocurre con la curva del estado térmico en un instante cualquiera es la suma de la curva (1) y de la curva (2), ambas mostradas en la figura de la izquierda, la suma se grafica en la curva de la derecha.

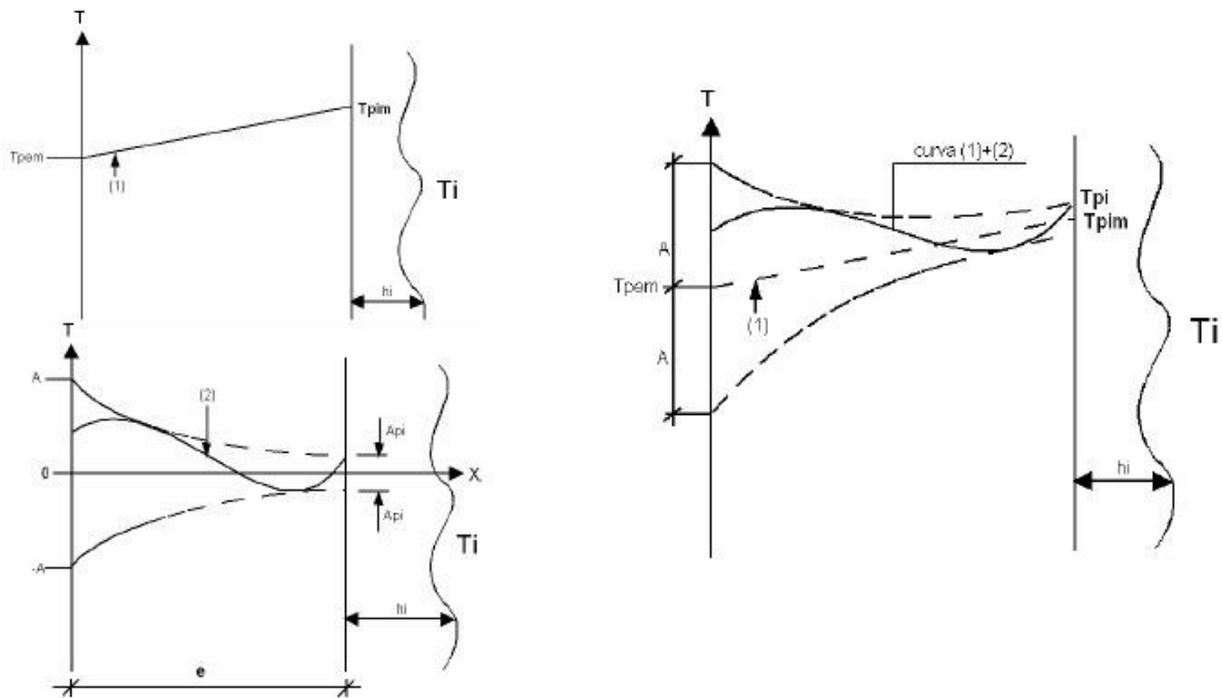


Figura 5.2: Suma de caso estático y dinámico en el principio de Superposición.

* Ref. 24, página 44.

La potencia interior entregada por las fuentes respectivas se considera constante, al igual que en régimen permanente, es decir no provoca oscilación alguna de temperatura al interior. La oscilación térmica interior es sólo provocada por la oscilación térmica exterior.

Se analizan los problemas dinámicos en: envolventes de paredes prácticamente homogéneas y paredes integradas prácticamente por dos capas. Esta clasificación no se analizará en este trabajo.

Las variaciones de temperatura que experimenta la vivienda en régimen dinámico son debidas a: soleamiento sobre las partes opacas de la envolvente, flujo de calor que se generan al interior del edificio (flujo de calor a través de los vidrios y de la potencia interior) y variaciones por renovación de aire.

5.3 VIVIENDAS DISEÑADAS CON INERCIA TÉRMICA.

[*Complementado con REF 2 y 4*]

Si a un cuerpo (la vivienda) le aportamos calor, éste debería elevar su temperatura. Si llegase a tener mucha capacidad calorífica lo va a hacer lentamente, ya que es capaz de almacenar mucho calor por grado centígrado de temperatura. La capacidad calorífica y el almacenamiento de calor por parte de la vivienda traen aparejados algunos fenómenos, como por ejemplo la inercia térmica.

La inercia térmica es la dificultad de un cuerpo para cambiar su estado de temperatura. En este caso se refiere a la dificultad de las viviendas para cambiar su temperatura. La dificultad es la resistencia de la temperatura de la vivienda a reaccionar inmediatamente a los aportes de calor que se ve afectada. La masa térmica de la casa es la que provoca el desfase entre los aportes de calor y los incrementos de temperatura de la vivienda.

La inercia térmica se vuelve importante en las viviendas, debido a que si poseen poca (viviendas livianas) reaccionarán rápidamente a la radiación solar, calentándose pronto durante el día en invierno, pero también por la noche se enfriarán más rápido: el retardo entre los aportes de calor y la temperatura alcanzada es pequeño. En cambio, en viviendas con gran inercia térmica (viviendas pesadas), no se producirá una subida rápida de temperatura dentro de la vivienda, debido a que el calor se está almacenando y se liberará lentamente después durante la noche, así no se producirá una variación brusca de temperatura. Con esto se logra que la vivienda no alcance valores extremos.

Una vivienda con una gran inercia térmica no se vuelve conveniente en climas muy húmedos y sucede lo mismo en viviendas donde el nivel de humedad interior es alto. Es recomendable esto porque las paredes de muros de gran inercia térmica son más frías, volviéndose más fácil que se alcance la temperatura de rocío en ambientes de alta humedad

relativa, al suceder esto se produce condensación superficial, afectando a los materiales constituyentes del muro.

La temperatura que los habitantes de la vivienda perciben al interior de la vivienda es un promedio ponderado de la temperatura del aire y de la temperatura radiante de los objetos que están cercanos. Cuando una vivienda posee una gran inercia térmica y ésta se encuentra bien repartida entre los muros de la envolvente la diferencia de temperatura entre las paredes va a ser pequeña, así, la temperatura del interior se vuelve más homogénea y estable. En este caso, la sensación de confort se puede obtener aún con temperaturas más bajas de las establecidas ($\approx 20^{\circ}\text{C}$).

Debido a todo lo indicado en los puntos anteriores, resulta de vital importancia para el comportamiento térmico de la vivienda la inercia térmica que posea. Saber si se trata de una construcción liviana o pesada (poca o gran inercia térmica, respectivamente), para analizar su futuro comportamiento con respecto a las condiciones climáticas a las que se enfrentará, más específicamente con respecto a la temperatura ambiente del lugar en que se proyecta su edificación. Para ver como se comportan distintos tipos de vivienda, se muestra el siguiente ejemplo. *

Una construcción ligera en el siguiente ejemplo, se refiere a una vivienda hecha de madera ($U = 0,268$), bajo condiciones de asoleo propias de verano en el hemisferio norte, Irak. La construcción pesada es una casa edificada con ladrillos de espesor de 23cm bajo las mismas condiciones que la construcción ligera.

* Página 117, "Arquitectura y Clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas" - Victor Olgyay

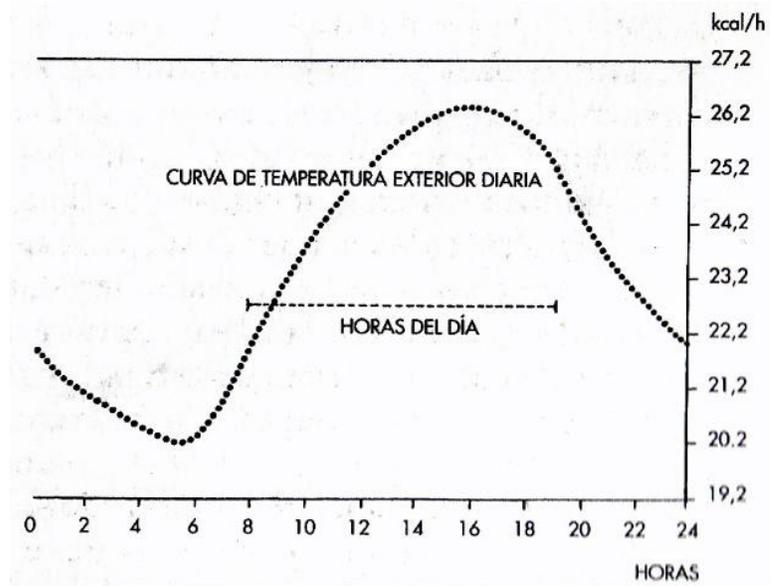


Figura 5.3: Temperatura ambiental en la zona de las viviendas pesada y liviana durante el transcurso del día.

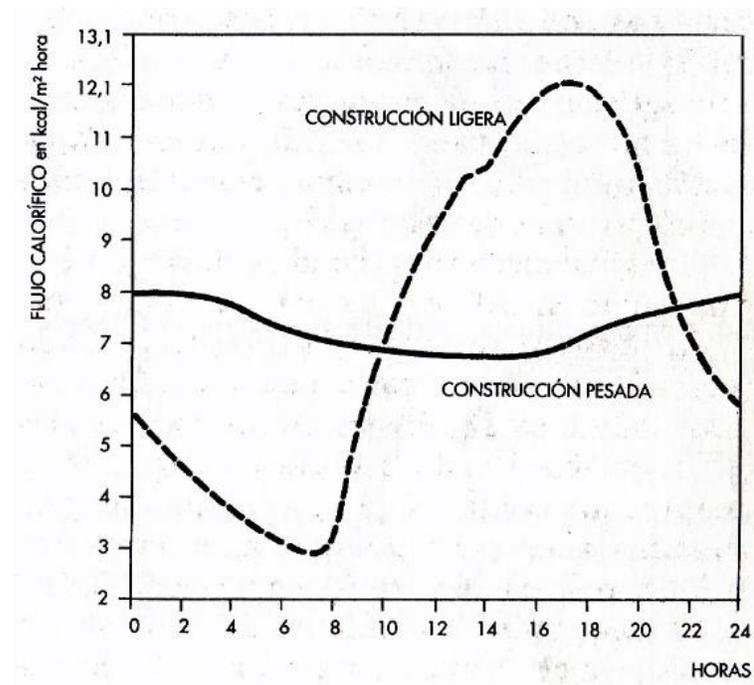


Figura 5.4: Comparación del flujo calorífico entre las 2 viviendas (pesada y ligera) durante un día, bajo las condiciones señaladas anteriormente.

Se aprecia la temperatura interior que posee cada una de las viviendas, viendo la diferencia que existe entre ellas. Las amplitudes son diferentes, siendo la de la construcción liviana mucho mayor con respecto a la amplitud de la vivienda pesada.

En el régimen dinámico ya se ha explicado que influye la inercia térmica. Para este régimen ocurre lo expresado en la ecuación 5.5, la cual modificada queda:

$$\frac{-\psi}{\lambda} = \frac{dT}{dx} \quad (\text{Ec. 5.6})$$

Analizando esta fórmula se ve que al entrar flujo de calor al material, y si posee éste un gradiente negativo de temperatura, el material va a estar más frío a medida que nos vayamos alejando de la cara desde la cual proviene el flujo, y viceversa. Además, el flujo de calor va a entrar al material de la cara interior de la envolvente proveniente del interior de la vivienda cuando esté más frío que el aire del interior de la envolvente, y desde el material de la cara interior de la envolvente emergerá el flujo cuando se encuentre más caliente que el aire interior, o sea, el flujo se moverá desde la superficie que se encuentre más caliente a la más fría.

Los parámetros que van a hacer depender la capacidad de almacenar calor de un material son: su superficie (S), y el producto de su densidad (ρ) con su calor específico (Cm). Si se quiere aumentar esa aptitud, se deben aumentar esos términos. La conductividad térmica del material conviene que aumente, pero su efecto va a ser mucho menor en comparación a los otros parámetros. Viendo los parámetros más predominantes, en el que más fácil se puede influir en el diseño de la vivienda es en la superficie.

La inercia térmica en una vivienda contiene 2 fenómenos: el de retardo y el de amortización.

5.3.1 Retardo Térmico (ϕ_h)

El retraso o retardo térmico es la demora (en horas) que acontece entre el máximo de temperatura en el exterior de la vivienda y el máximo de temperatura en el interior. Esto sucede debido a que la vivienda está sujeta a fluctuaciones periódicas de temperatura. Es necesario conocer los tiempos de retardo térmico de una vivienda, ya que en climas con gran amplitud

térmica el uso de elementos pesados en la envolvente hace que se consigan temperaturas interiores más confortantes y con una oscilación baja.

En la siguiente figura se representan las etapas en el análisis del retardo térmico con un muro pesado de gran capacidad térmica de mampostería maciza.

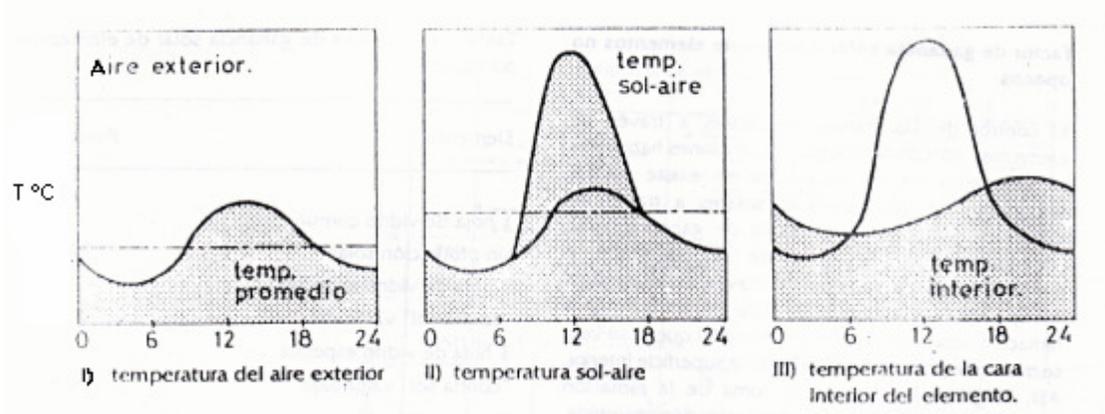


Figura 5.5: Etapas en el análisis del retardo térmico.

Se tiene que cuando la temperatura exterior se eleva el calor se empieza a transmitir desde la superficie exterior a la interior. Empieza a subir la temperatura de las sucesivas capas de la envolvente, debido a una proporción del calor que produce esto, la otra parte se transmite hacia el interior. Si la vivienda posee capas de gran capacidad térmica absorberían más calor por unidad de volumen, consiguiendo así disminuir y demorar el flujo de calor hacia el interior. También influye la transmitancia de las capas, ya que ésta modifica el tiempo de calentamiento de las capas interiores. El aislante de la vivienda ayuda a que el flujo de calor disminuya mientras se transmite hacia el interior, logrando disminuir el calentamiento de la vivienda.

Luego, cuando la temperatura exterior baja el flujo de calor se invierte, se transmite ahora desde el interior al exterior. Eso sí, parte del calor que entra a una vivienda pesada no alcanza a llegar al interior, ya que produce una variación en la temperatura en las capas centrales sin calentar la superficie interior.

Un retardo térmico óptimo de la vivienda aseguraría un pequeño refrescamiento con una reducida disminución de temperatura ambiente en el interior de la vivienda cuando la temperatura exterior logra alcanzar límites máximos. También produciría lo mismo si sucediera lo contrario,

cuando el exterior alcanza límites mínimos se produciría un leve calentamiento al interior de la vivienda.

5.3.2 Amortización Térmica (dt)

Es la diferencia que nace de la relación entre la amplitud de temperatura interior y exterior. También se le conoce como factor de disminución. Se puede estimar usando la siguiente relación, según "Diseño en climas cálidos-Manual práctico" por Allan Kenya (Apéndice 1).

$$FR = A_i/A_e \quad (\text{Ec. 5.7})$$

con,

- A_i = amplitud máxima de la temperatura al interior de la vivienda
- A_e = amplitud máxima de la temperatura en el exterior.

En la siguiente tabla se muestran valores de las 2 variables explicadas anteriormente para diferentes espesores de algunos materiales.

Material Macizo	Espesor del material de la envolvente [m]									
	0.05		0.10		0.15		0.20		0.30	
	ϕh	dt	ϕh	dt	ϕh	dt	ϕh	dt	ϕh	dt
Hormigón	1.30	0.67	3.00	0.45	4.40	0.30	6.10	0.20	9.20	0.09
Ladrillo	-	-	3.00	0.45	4.40	0.30	6.10	0.20	9.20	0.09
Piedra	-	-	-	-	-	-	5.50	0.22	8.00	0.11
Adobe	-	-	-	-	4.00	0.34	5.20	0.24	8.10	0.12
Madera	2.50	0.48	5.50	0.23	8.30	0.11	-	-	-	-
Lana Mineral	2.50	0.48	5.30	0.22	-	-	-	-	-	-

Tabla 5.4: Valores indicativos del retraso térmico (ϕh) en horas y amortización térmica (dt).

* Tabla 6.5, página 112 "Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar" - Martin Evans & Silvia de Schiller

CAPÍTULO 6 DISEÑO ORIGINAL DE LAS VIVIENDAS

[Complementado con Ref. 19]

6.1 ARQUITECTURA Y EMPLAZAMIENTO

El estudio contempla estudiar 3 modelos distintos de vivienda de precio entre 1500 y 3000 UF, pertenecientes a la empresa DESARROLLOS CONSTRUCTIVOS AXIS S.A. Estas viviendas se ubican en la ciudad de Puerto Varas (41.3°S y 72.9°O) y en la ciudad de Puerto Montt (41.4°S y 72.7°O). Para efectos prácticos de cálculo se usarán datos y tablas de la ciudad de Puerto Montt, ubicada a aproximadamente 20kms de Puerto Varas y al igual que ésta, dentro de la zona 6 según el Manual de Reglamentación Térmica, O.G.U.C. Además las dos ciudades se encuentran en la zona Sur Litoral según la norma Ncho1079.Of77.

Los conjuntos de viviendas con estos modelos se encuentran en diferentes fases: algunos ya están siendo habitados, otros, los menos, están a la espera de ser ocupados y por último están los que aún no empiezan a ser construidos, pero se encuentran en fase de proyecto y abarcan las 2 ciudades.

El primer modelo corresponde a la vivienda más grande y costosa (modelo 1 Osorno, 3000UF), está proyectada con su frente mirando hacia el norte, las caras laterales hacia el este y oeste y la cara trasera hacia el sur. El segundo modelo, que pertenece a una vivienda más pequeña y de más bajo precio que el anterior (modelo 2 Chilco, 2160UF), se encuentra con su cara frontal mirando hacia el este. Y el tercer arquetipo es la vivienda más pequeña y de más bajo precio entre las 3 (modelo 3 Tenglo, 2000UF), la cual posee su cara frontal mirando hacia el sur.

A continuación se muestra la arquitectura básica de las viviendas. Para las vistas en planta los colores significan:

---- Muro perimetral y tabiques interiores

---- Ventanas

---- Puertas

---- Modelos representativos de cada espacio.



Figura 6.1: Arquitectura vivienda 1 (Osorno), cara exterior mirando hacia el Este.

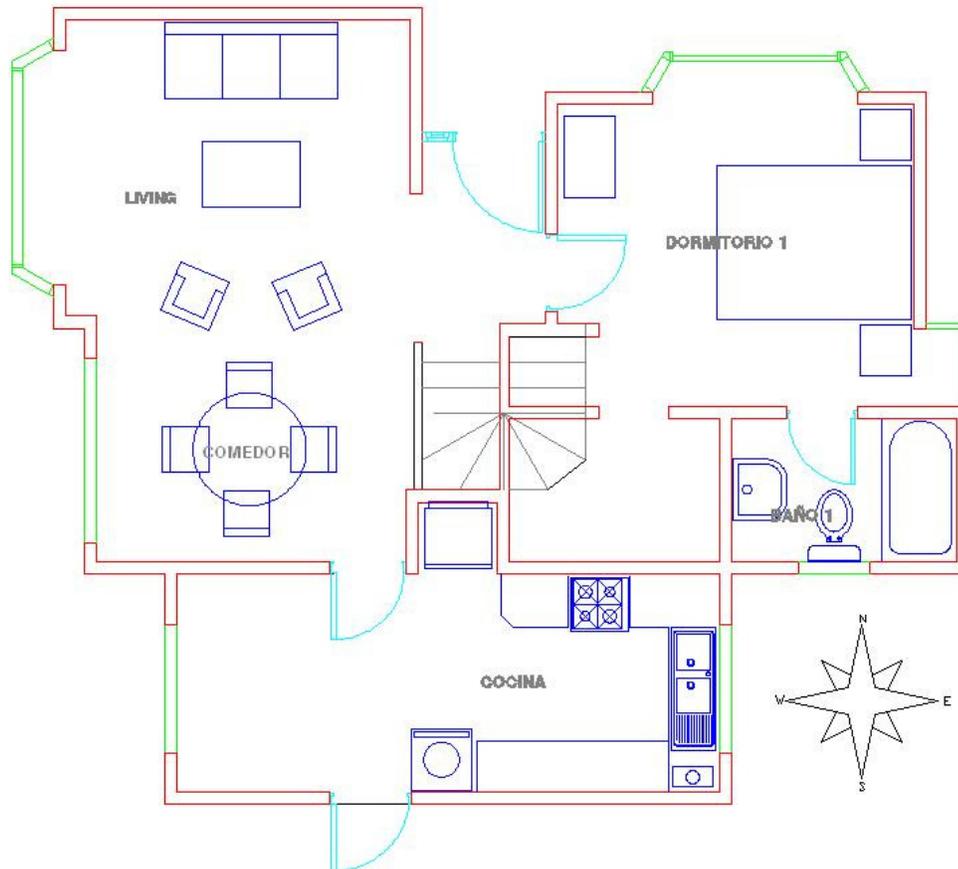


Figura 6.2: Planta del primer piso de la vivienda 1 (modelo Osorno).

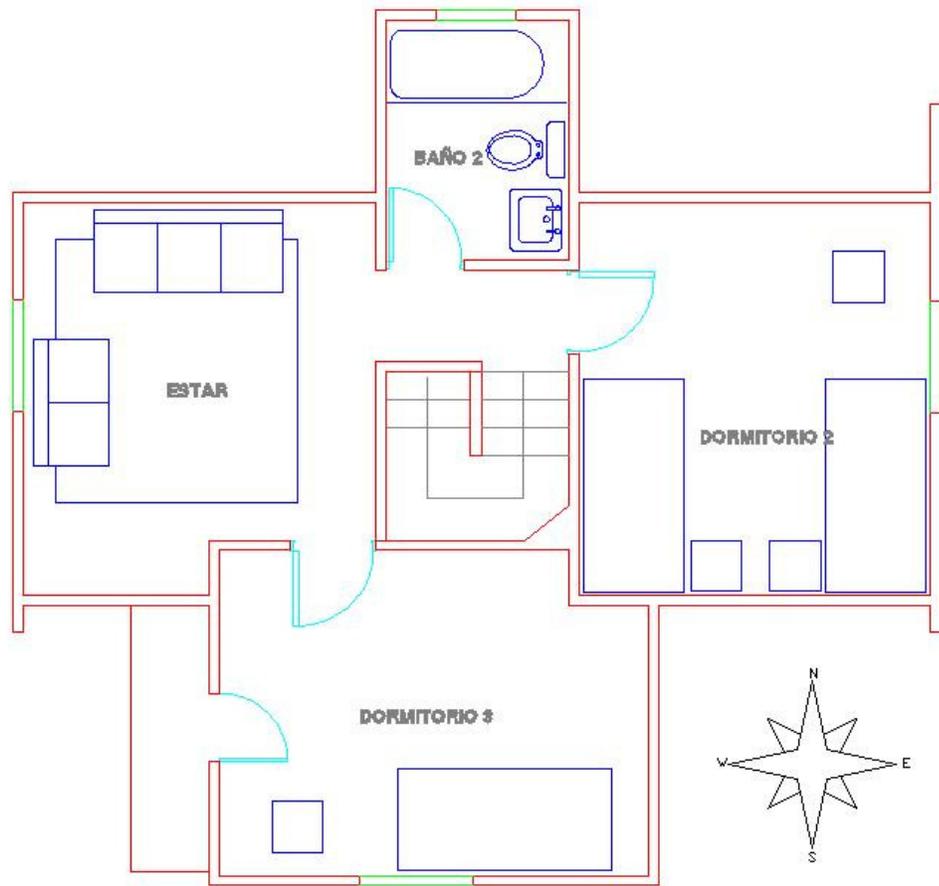


Figura 6.3: Planta del segundo piso de la vivienda 1 (modelo Osorno).



Figura 6.4: Arquitectura vivienda 2 (Chilco), cara exterior mirando hacia el Sur.

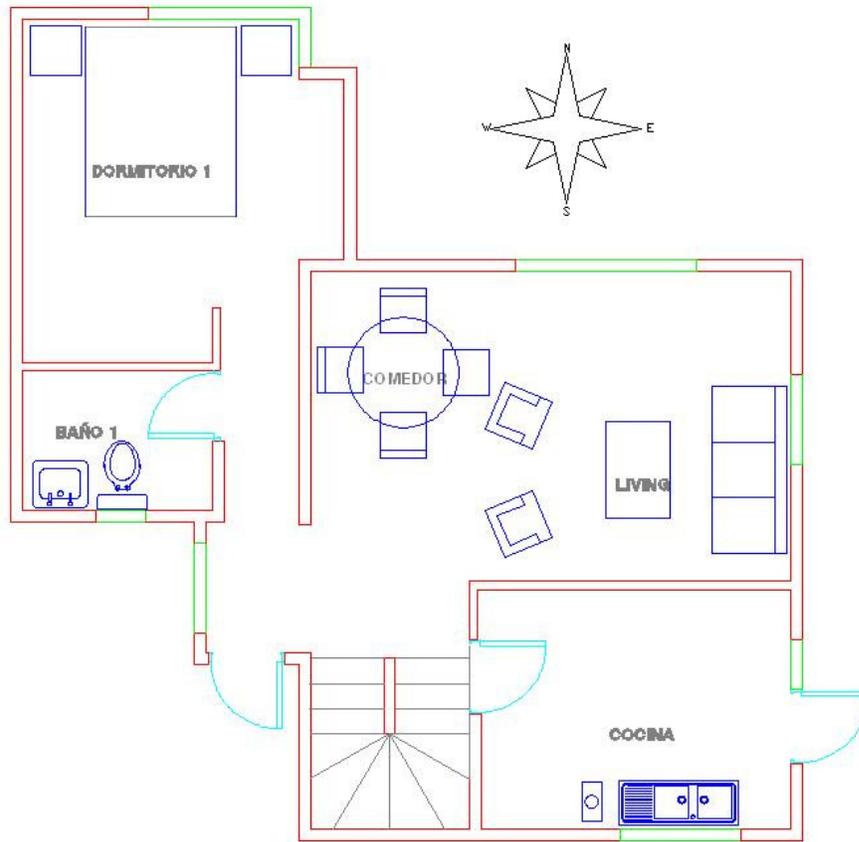


Figura 6.5: Planta primer piso de la vivienda 2 (modelo Chilco).



Figura 6.6: Arquitectura vivienda 3 (Tenglo), cara exterior mirando hacia el Este.

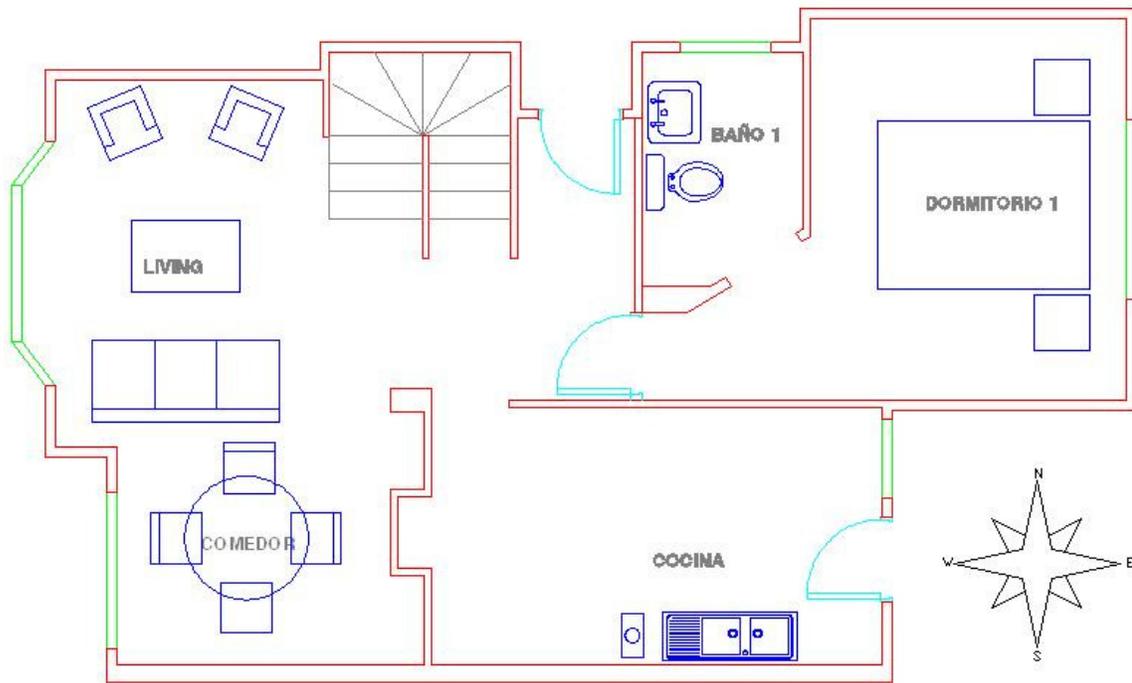


Figura 6.7: Planta primer piso de la vivienda 3 (modelo Tenglo).

El sistema estructural de la vivienda consiste principalmente en estructura metálica, con paneles estructurales metalcon de acero. El hormigón ocupado es H-20, 90% de confianza y acero A6342H, con fundaciones de zapatas de 40x40 cm². La losa del primer piso está constituida por hormigón armado y cubierta por una chapa estructural de OSB. La losa del 2º piso se afirma sobre una estructura de vigas de acero y está formada por una chapa estructural de OSB de 1,5mm y una losa de hormigón de 5cm. La techumbre también se basa en una estructura de metal.



Figura 6.8: Fase de construcción del Sistema Estructural de las viviendas.

Los resultados de los ensayos geotécnicos realizados en los terrenos de construcción de la ciudad de Puerto Montt arrojaron los siguientes resultados.

Profundidad [m]		Tipo de Suelo
Desde	Hasta	
0.0	0.15 a 0.20	Cobertura Vegetal
0.15 a 0.20	0.40 a 1.45	Limo de plasticidad media a alta y humedad media. Estrato de color variable entre café a café claro de consistencia variable. Estrato no apto para el apoyo de fundaciones.
0.40 a 1.45	en adelante	Intercalación de estratos areno gravosos y gravo arenosos de compacidad media y humedad media. Estrato de color café a gris. Contenido de gravas en cantidad variable, de tamaño medio 2`´.

Tabla 6.1: Resultados de ensayos geotécnicos en zona de los conjuntos habitacionales de Puerto Montt. (Ref. 19)

6.2 ZONA CLIMÁTICA.

Tanto Puerto Montt como Puerto Varas se encuentran ubicadas en la zona del Sur Litoral según la norma NCh 1079.Of77, las características de la zona se encuentran en el capítulo 2 "Clima de Chile". La Reglamentación Térmica indica que la localidad se encuentra en la zona 6. En la siguiente figura y tabla se muestra la información correspondiente.

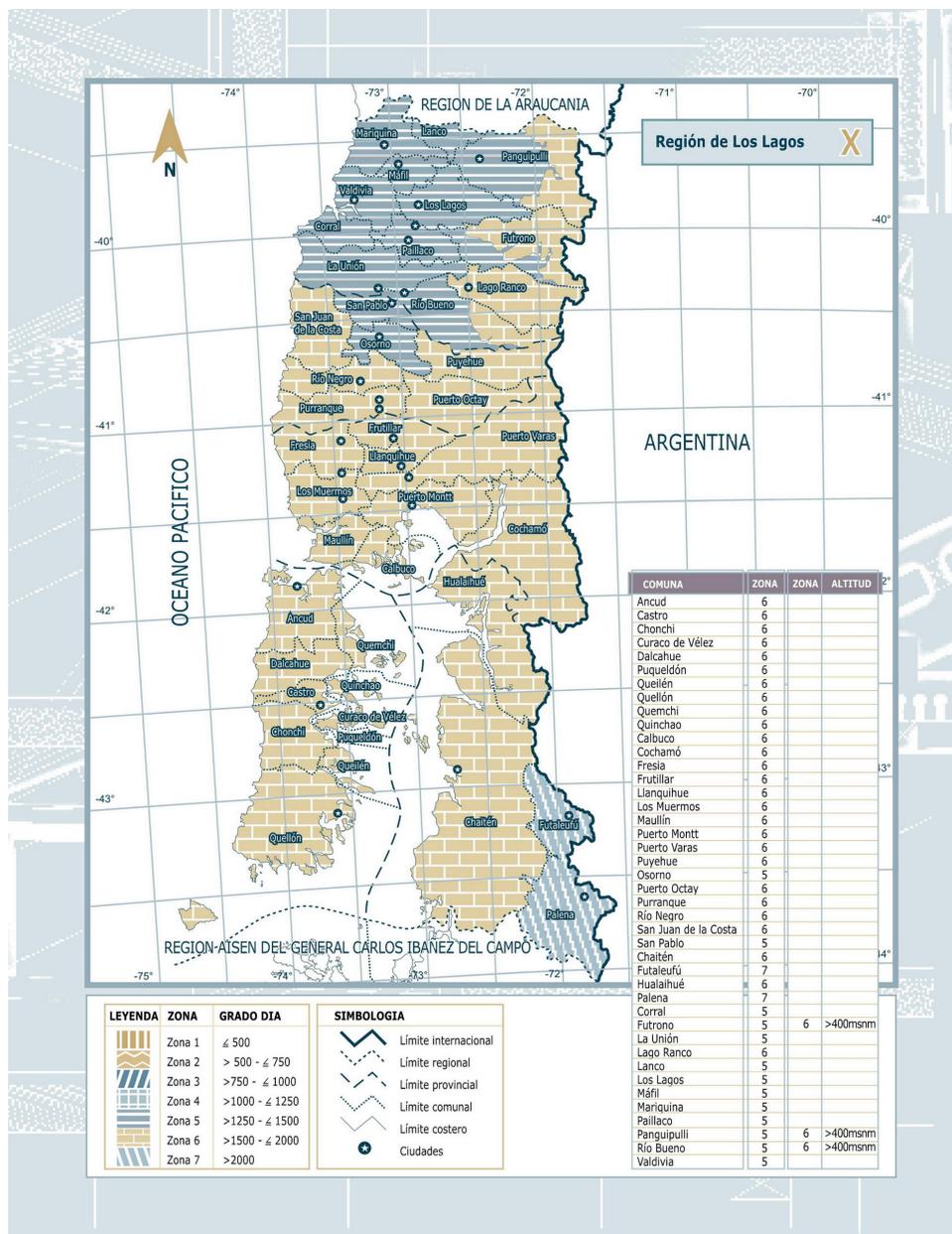


Figura 6.9: Zonificación térmica de la X región de Los Lagos según el Manual de Reglamentación Térmica, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Zona	Pendiente de cubierta, valores mínimos en %		Orientación de muros que requieren protección contra el sol	Localidades más importantes	Temperatura °C				Insolación Wh/(m ² x día)		Soleamiento horas sol/día		Humedad relativa %		Nubosidad décimas		Precipitación mm		Vientos predominantes	Heladas (a 1,5 m sobre el suelo)						
	SR	SL			Media		Oscilación media mensual		E	J	21 dic	21 jul	E	J	E	J	Anual	máx. 24 h		Total anual	Primera	Última				
					E	J	E	J																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
CI Central Interior	15	8	E - W	San Felipe	21,4	9,9	20,3	14,9						63	78	1,3	5,0	234,2	92,8		26	Abr	Oct			
				Los Andes	20,9	8,3	21,0	15,8								56	73	1,3	5,0	275,5	117,1		20	Abr	Sep	
				Santiago	20,9	8,1	16,7	11,0	6 908	1 918	14,3	9,8	57	84	1,3	5,9	312,5	111,1		SSE 3,0	8	Abr	Oct			
				Pencagua	19,9	7,1	15,3	11,0									61	82	2,5	6,3	436,2	137,4	SO 3,2	26	Abr	Oct
				Curicó	19,9	7,2	18,7	8,9	7 047	1 825							65	90	1,6	7,3	701,9	128,2	SSO 2,6	21	Abr	Oct
				Talca	20,3	7,6	18,9	11,4									62	88	1,3	7,5	721,2	97,2		18	Abr	Sep
				Únare	19,6	6,4	17,8	10,2									68	90	2,5	6,3	966,9	178,3		21	Abr	Oct
				Cauquenes	21,0	8,9	17,1	9,0	7 164	1 907							56	88	1,3	6,3	696,8	168,5		11	Abr	Sep
				Chillán	19,1	7,3	17,8	8,4							14,6	9,6	64	87	1,9	6,8	1 107,0	153,7	SO 2,1	24	Mar	Oct
SL Sur Litoral	30	15	W - N	Talcahuano			7,7	6,8										1 107,5								
				Concepción	16,3	8,8	12,3	7,3	6 919	1 860	14,5	9,5	75	87	2,5	6,2	1 110,1	162,4		SO 4,9	5	Abr	Oct			
				Valdivia	15,8	7,0	14,1	6,6			14,9	9,2	75	90	4,6	8,0	1 871,0	175,4		NE 1,5	34	Mar	Dic			
				Puerto Montt	14,3	6,6	10,2	6,4	6 384	1 197							80	90	5,9	7,3	1 802,7	133,0	N 4,2	28	Mar	Nov
SI Sur Interior	30	20	E - N	Los Angeles			16,9	8,8	7 001	1 709						2,0	5,6	1 072,0	176,3	S 2,8	28	Feb	Nov			
				Traiguén			16,8	9,3			14,7	9,3							944,9							
				Temuco	15,8	7,2	14,8	7,4	6 873	1 430					74	88	4,2	7,1	1 157,4	131,8	O 2,7	31	Mar	Nov		
				Loncoche			19,1	9,2											2 068,3	148,0	Calma					
SE Sur Extremo	30	25	-	Osorno	15,2	6,5	14,5	7,2			15,0	9,1	75	90	5,8	8,0	1 331,8	96,4		N 2,1	41	Ene	Dic			
				Ancud			8,8	5,2			15,1	9,0					6,4	7,9	2 704,7	132,0	NO 6,2	11	Abr	Sep		
				Castro			9,3	6,1									6,4	7,7	1 871,2	110,4	N 2,4					
				Aysén	13,6	3,9	7,9	5,1			15,5	8,5	83	91	7,7	8,0	2 647,2	171,0		SO 3,9	28	Mar	Nov			
				Punta Arenas	10,5	1,1	8,2	4,8	5 582	732	16,8	7,4	69	84	7,1	6,0	375,7	98,0		O 7,9	83	Ene	Dic			

Figura 6.10: Características climáticas de la zona Sur Litoral (Norma NCh 1079.Of2008)

6.3 SISTEMAS DE AISLAMIENTO TÉRMICO DE LA ENVOLVENTE.

El diseño de las viviendas considera las siguientes características de aislamiento térmico para: techumbre, muros perimetrales, ventanas, puertas y pisos.

6.3.1 Techumbre

Los 3 tipos de viviendas contemplan la construcción de entretecho en algunas zonas de la edificación. Los materiales aislantes se ubican en el cielo de la vivienda y en la techumbre.

En la zona interior poseen un revestimiento de volcanita de 10 mm, luego una lámina de fibra de vidrio Aislán Glass con una densidad de $14 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ y un espesor de 140 mm. (el sistema constructivo dice que no pueden quedar espacios vacíos o ranuras entre las fibras y las estructuras, para esto se corta aproximadamente 1'' más grande, para que sea ajustada su instalación), luego una golilla o franja de aislapol (poliestireno expandido) con un espesor de 15mm. y una densidad de $20 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ (éstas son instaladas en todos los puntos de contacto entre vigas y perfil ómega de las estructuras de cielo, para así interrumpir la conexión entre ambos elementos de acero). Además, como barreras de vapor de agua se utilizan pinturas al óleo.

Techo 1				
Material	Espesor (cm)	Conductividad $[\text{W} / \text{m} \text{ }^\circ\text{K}]$	$e/K [\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{K} / \text{W}]$	U $[\text{W} / \text{m}^2 \text{ }^\circ\text{K}]$
Volcanita	1	0.24	0.04	0.23
Lana de vidrio	14	0.039	3.59	
Aislapol	1.5	0.038	0.39	
OSB	1.1	0.106	0.10	
Cubierta metálica	0.06	58	0.00	
Total			4.13	

Tabla 6.2: Elementos de aislación térmica en la techumbre original de las viviendas.

Se aprecia que la cubierta metálica no aporta en nada en cuanto a resistencia térmica, por lo que como elemento aislante no influye ni se toma en cuenta en los cálculos.

6.3.2 Muros Perimetrales

Por el exterior se usa un revestimiento (Siding PVC), luego un forro exterior de (OSB) de 11.1mm y luego una lámina de aislapol (poliestireno expandido) con un espesor de 15mm. y una densidad 20 [kg/m³], con esta lámina se desconecta térmicamente todo el OSB de la estructura metálica. Posteriormente, al centro del muro viene el aislante, que consiste en una lámina de fibra de vidrio (AISLAN GLASS) con un espesor de 40mm. y una densidad de 14 [kg/m³]. Como sistema para barrera de vapor de agua se utiliza el papel plastificado que va como revestimiento y luego el revestimiento interior, que consta de láminas de volcanita con un espesor de 12.5mm.

Muro 1				
Material	Espesor (cm)	Conductividad [W / m °K]	e/K [m ² °K / W]	U [W / m ² °K]
Volcanita	1.3	0.24	0.05	0.57
Lana de vidrio	4	0.039	1.03	
Aislapol	1.5	0.038	0.39	
OSB	1.1	0.106	0.10	
Siding	0.2	0.16	0.01	
Total			1.59	

Tabla 6.3: Elementos de aislación térmica en los muros perimetrales originales de la vivienda.

6.3.3 Piso

Consiste en un piso contra terreno constituido por una capa de hormigón de 8 cm. de espesor hormigón y sin aislamiento por debajo, pero posee una lámina de poliestireno expandido de 15mm. de espesor, una profundidad de 15cm. y una densidad de 20 [kg/m³] por todo el perímetro de la vivienda, de manera que colabore en la ruptura del puente térmico. Además, las soleras de acero galvanizado perimetrales de la vivienda están montadas sobre una pieza de poliestireno expandido de igual ancho densidad 35-40 [kg/m³], espesor 25mm.

De acuerdo al punto 7.1.5 y a los elementos de aislación del piso queda clasificado como piso contra terreno medianamente aislado.

Piso contra terreno 1	
Seleccione aislación del piso	Ψ (W / m ² °K)
Piso medianamente aislado	1,2

Tabla 6.4: Valor de ψ para piso contra terreno original de las viviendas.

6.3.4 Ventanas y Puertas

De los 3 tipos de vivienda, sólo las 2 más costosas poseen termopaneles en todas sus ventanas, en la tercera se emplea el uso de vidrio normal.

Tipo de Vidrio	U [W \ m ² °K]
Vidrio monolítico de 6 a 8 mm	5,70
DVH con cámara aire 10 mm	3,10

Tabla 6.5: Valores de U para tipos de vidrios en ventanas.

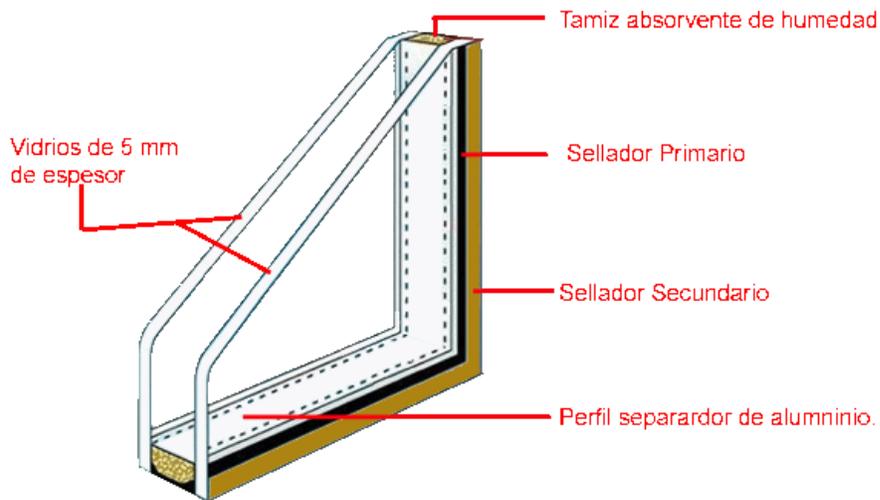


Figura 6.11: Esquema de vidrio termopanel.

Las puertas de las 3 viviendas son atableradas con madera, las que poseen un bajo valor de U (similar a las ventanas) y permiten un mejor acondicionamiento de la vivienda para la zona en que se encuentran. También se podrían usar puertas vidriadas, pero por la zona no son convenientes, ya que los valores de transmitancia térmica que poseen son más elevados.

Las puertas y ventanas poseen marcos. Las ventanas marcos de PVC de 5mm. y las puertas marcos de madera de 25mm.

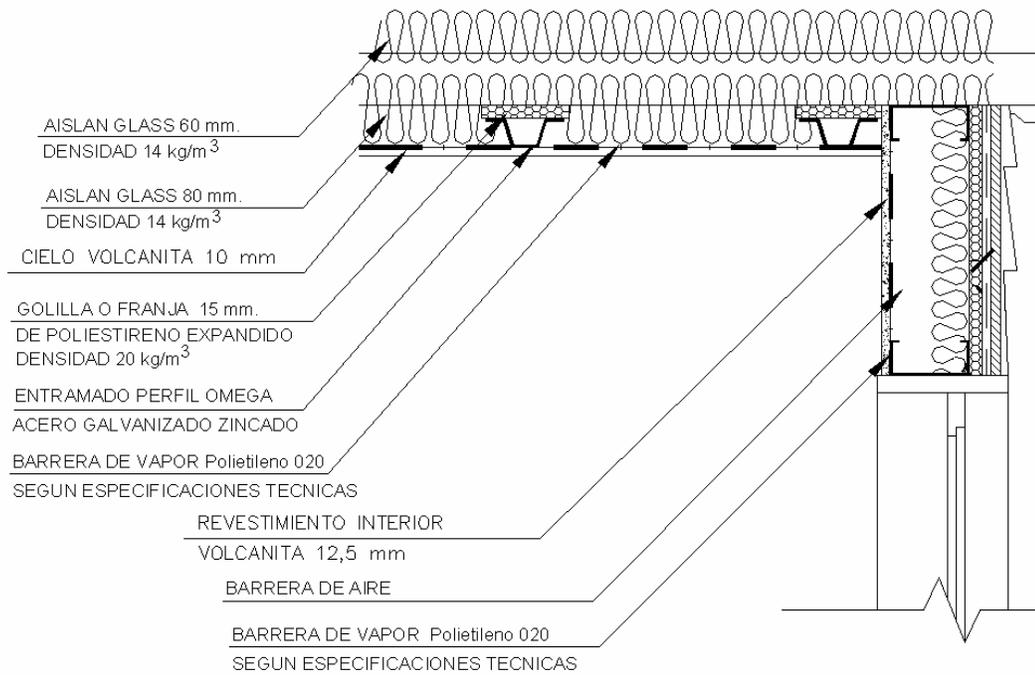


Figura 6.12: Sistemas de Aislamiento Térmico del Muro Perimetral y Cielo 2º piso de las Viviendas.

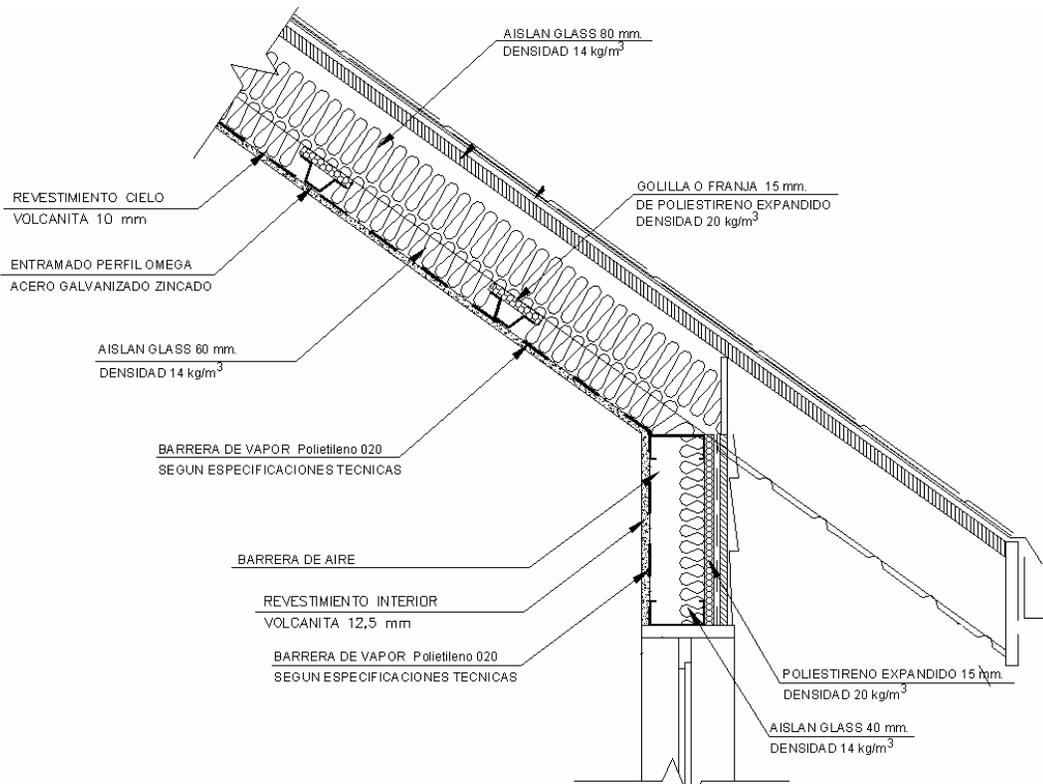


Figura 6.13: Sistemas de Aislamiento Térmico del Muro Perimetral y Cielo inclinado de las viviendas.

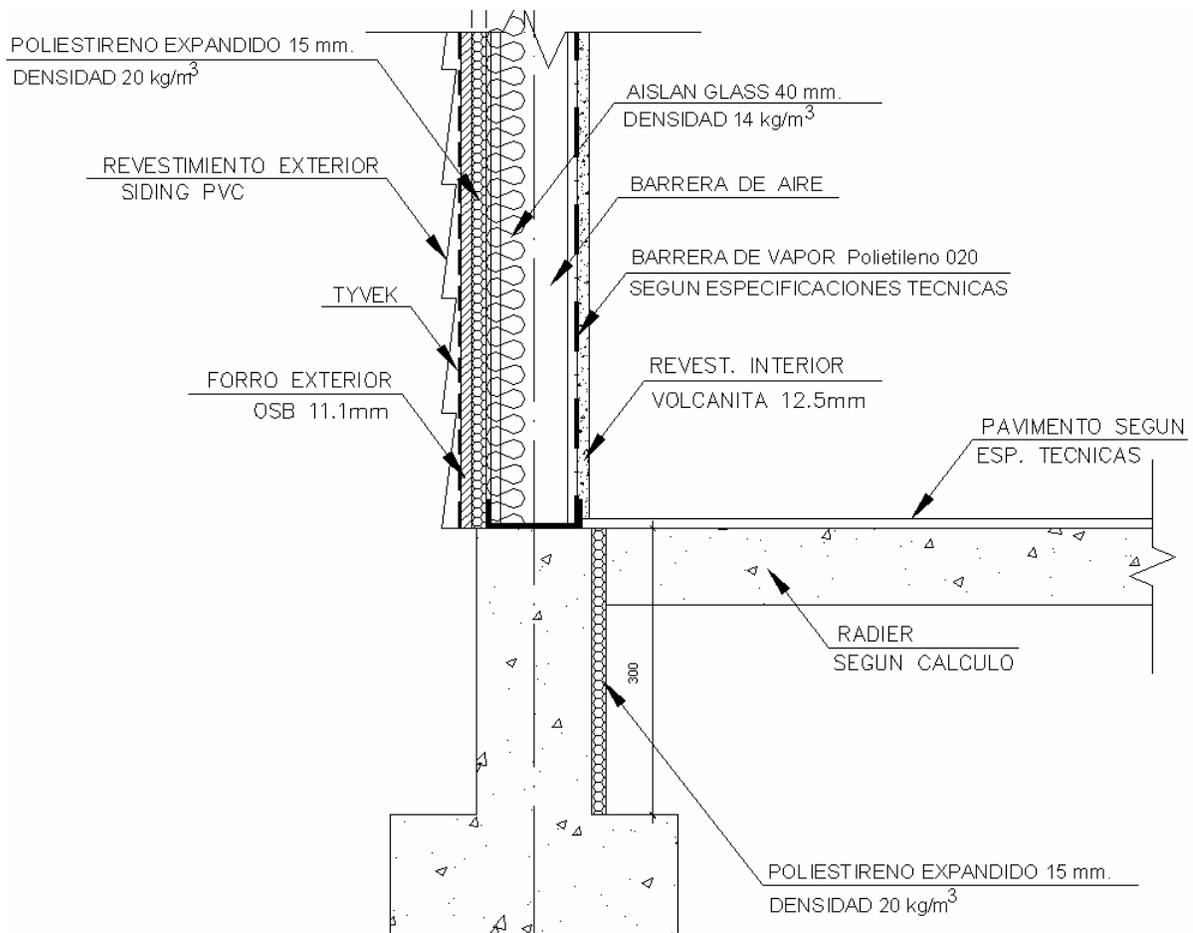


Figura 6.14: Sistemas de Aislamiento Térmico del Muro Perimetral y Piso de las viviendas.

6.4 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN Y CALENTAMIENTO DE AGUAS SANITARIAS (A.C.S.).

Por la zona en que se encuentran ubicadas las viviendas, la manera más económica y difundida del lugar para calefaccionar es a través de chimeneas a leña. El sistema para calentamiento de aguas sanitarias (ACS) se hace usando gas licuado como combustible, ya que en la zona no existe la distribución de gas natural como en otras regiones del país. El precio del gas licuado es alto comparado a la región metropolitana y se encuentra dentro del promedio con el resto del país, por lo que no es una forma muy económica para este objetivo.

Región	mar-09		abr-09		may-09	
	Catalítico (\$)	Corriente (\$)	Catalítico (\$)	Corriente (\$)	Catalítico (\$)	Corriente (\$)
Metropolitana	33,269	31,969	32,005	31,280	31,987	31,402
XV	46,265	42,008	45,485	41,228	46,165	42,045
I	ND	41,940	ND	40,890	ND	41,120
II	46,095	41,682	44,500	39,990	44,460	39,950
III	39,297	36,416	38,167	35,312	38,197	35,322
IV	35,045		33,763		33,770	
V	37,311	35,100	35,911	33,310	35,876	33,318
VI	33,164		31,825		32,041	
VII	33,170		32,530		32,088	
VIII	34,700	33,360	33,690	31,978	33,140	31,838
IX	33,577		32,979		33,318	
X	ND	34,280	ND	33,380	ND	33,380
XIV	38,368	35,810	37,248	34,738	37,575	35,017
XI	36,823		36,007		35,795	
XII	33,069		36,333		37,000	

Tabla 6.6: Comparación precio glp (45kg) de la X región con otras regiones.

[REF 36]

Existen 2 alternativas para poder calefaccionar la vivienda (la empresa lo estima así). El primero es a través de estufas a gas, con características suficientes como para mantenerla a una temperatura ambiente agradable. El segundo consiste en el uso de estufas de combustión lenta, cuyo combustible es la leña, material barato y con gran difusión en la zona. De entre las 2, la más barata es a través de combustión lenta, pero ésta conlleva un aumento en la contaminación del lugar. Es tanta la aceptación de éste método en el sur, que ya en algunos lugares la contaminación emanada de estufas a leña lleva a la preocupación, es el caso de Temuco por ejemplo, que ha estado esperando por cerca de 2 años un plan de descontaminación ambiental (PDA) sin resultados positivos.

6.5 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y VENTILACIÓN.

No es necesario diseñar sistemas de refrigeración para las viviendas en esta zona, ya que los días del año en que resulta necesario su uso son muy bajos comparados a los días del año en que se necesita del sistema de calefacción. Es por eso que las viviendas no contemplan sistemas de refrigeración en su diseño.

No así con el sistema de ventilación, el que es exigido para todas las viviendas. Los diseños de los métodos de ventilación son para todas las casas usando ventilación pasiva y convectiva a través de ductos especialmente ubicados y construidos, a excepción de la cocina que posee un sistema de ventilación activa por medio de un extractor de aire, suficiente para lograr el trabajo requerido.

6.6 CUANTIFICACIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA.

6.6.1 Cálculo de demanda térmica ocupando método de régimen permanente.

Para obtener la demanda energética de calefacción de la vivienda se tiene que pensar primero en qué son aportes y pérdidas energéticas para la casa. Como ganancias o aporte energético se tiene: lo aportado por la radiación solar en las ventanas, el calor latente y sensible de las personas y lo que contribuyen los equipos eléctricos de la vivienda. Como pérdidas energéticas existen: la transmisión de calor a través de la envolvente (que está constituida por: piso, ventanas, puertas, muros y techumbre), la infiltración y ventilación de aire.

Usando las fórmulas del punto 2.5 es posible obtener la transmitancia térmica de cada elemento de la envolvente de la vivienda. Después de poseer estos valores, además usando las tablas del punto 6.3 y la arquitectura de las viviendas es posible conseguir los siguientes resultados de pérdidas por transmisión para cada elemento. Hay que recordar que las viviendas 1 y 2 se modelarán con 5 habitantes y la 3 con 4.

Elemento	Valor
m ² muros	133,20
U (W/m ² *K)	0,57
Pérdida muros U*A [W/°K]	76,52
m ² de ventanas al Norte	4,62
m ² de ventanas al Este	4,31
m ² de ventanas al Oeste	9,12
m ² de ventanas al Sur	2,25
m ² ventanas	20,30
U (W/m ² *K)	3,10
Pérdida ventanas U*A [W/°K]	62,93
m perímetro pisos	33,81
Ψ (W/m*K)	1,20
Pérdida pisos contra terreno U*A [W/°K]	40,57
m ² techos	56,16
U (W/m ² *K)	0,23
Pérdida techos U*A [W/°K]	13,12
m ² puertas	3,45
U (W/m ² *K)	3,00
Pérdida puertas U*A [W/°K]	10,35
Superficie vivienda [m²]	100,17

Tabla 6.7: Valores de U*A [W/ °K] de los elementos de la envolvente de la vivienda 1.

Elemento	Valor
m ² muros	119,66
U (W/m ² *K)	0,57
Pérdida muros U*A [W/°K]	68,74
m ² de ventanas al Norte	8,81
m ² de ventanas al Este	2,43
m ² de ventanas al Oeste	1,66
m ² de ventanas al Sur	4,29
m ² ventanas	17,19
U (W/m ² *K)	3,10
Pérdida ventanas U*A [W/°K]	53,29
m perímetro pisos	32,26
Ψ (W/m*K)	1,20
Pérdida pisos contra terreno U*A [W/°K]	38,71
m ² techos	45,72
U (W/m ² *K)	0,23
Pérdida techos U*A [W/°K]	10,68
m ² puertas	3,31
U (W/m ² *K)	3,00
Pérdida puertas U*A [W/°K]	9,93
Superficie vivienda [m²]	79,02

Tabla 6.8: Valores de U*A [W/ °K] de los elementos de la envolvente de la vivienda 2.

Elemento	Valor
m ² muros	113,44
U (W/m ² *K)	0,57
Pérdida muros U*A [W/°K]	65,16
m ² de ventanas al Norte	2,57
m ² de ventanas al Este	4,60
m ² de ventanas al Oeste	5,88
m ² de ventanas al Sur	0,77
m ² ventanas	13,82
U (W/m ² *K)	5,60
Pérdida ventanas U*A [W/°K]	77,39
m perímetro pisos	30,56
Ψ (W/m*K)	1,20
Pérdida pisos contra terreno U*A [W/°K]	36,67
m ² techos	50,39
U (W/m ² *K)	0,23
Pérdida techos U*A [W/°K]	11,77
m ² puertas	3,31
U (W/m ² *K)	3,00
Pérdida puertas U*A [W/°K]	9,93
Superficie vivienda [m²]	86,73

Tabla 6.9: Valores de U*A [W/ °K] de los elementos de la envolvente de la vivienda 3.

Ya teniendo las pérdidas caloríficas en la vivienda debido a la transmisión de los elementos de la envolvente, se necesita estimar ahora las debidas a ventilación e infiltración.

Para ventilación se ocupará el proceso explicado en el punto 2.14.2, ocupando los valores de la tabla 2.7 para ACH/h.

Para infiltración se ocupará el proceso b del punto 2.14.3. Viendo la tabla 3 del capítulo 25 del ASHRAE Handbook "1997 Fundamentals", se utilizarán los siguientes valores de área de escape de aire efectivo: techo = 1.8 [cm²/m²], puertas = 12 [cm²/cada una], muros = 0.35 [cm²/m²] y ventanas = 0.48 [cm²/ (metro lineal de junta)] Además se considerará: Cs = 0.000290, Cw = 0.000420 y un valor de velocidad promedio del viento en el año de 4.6 [m/s]*.

* Anexo 6, Norma NCh1079 2008

El valor de ACH/h de infiltración para cada vivienda es entonces:

Vivienda	ACH/h [1/h]
Modelo 1	0.30
Modelo 2	0.30
Modelo 3	0.31

Tabla 6.10: Valores de ACH/h para infiltración.

Indicadores diagnostico diseño pasivo		
% ventanas x muro	% ventanas x piso	EV
13.22%	20.27%	1.16

Tabla 6.11: Indicadores del diseño de la vivienda 1.

Indicadores diagnostico diseño pasivo		
% ventanas x muro	% ventanas x piso	EV
12.56%	21.75%	1.17

Tabla 6.12: Indicadores del diseño de la vivienda 2.

Indicadores diagnostico diseño pasivo		
% ventanas x muro	% ventanas x piso	EV
10.86%	15.93%	1.14

Tabla 6.13: Indicadores del diseño de la vivienda 3.

Como se mencionó anteriormente, se consideran 3 tipos de ganancias caloríficas para analizar. Entre ellas las aportadas por la radiación solar que llegan a las ventanas. Éstas (las ventanas) se miden y se clasifican según la dirección en que apuntan, como se mostró en las tablas anteriores. Además, es necesario conocer la radiación solar que recibe la fachada vertical de las viviendas desde cada punto cardinal.

Azimut	Incl	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
180° al norte	90°	258.3	248.3	260.1	219.7	121.6	105.0	113.9	159.9	202.0	224.0	233.7	262.0	2408.5
150	90°	312.1	291.5	261.3	188.1	107.8	95.7	102.4	137.9	191.6	247.1	277.4	315.5	2528.5
120	90°	381.3	353.0	313.8	188.8	91.5	72.7	82.3	128.6	220.1	290.5	332.9	289.3	2844.9
90° al E y O	90°	385.4	360.0	276.8	181.3	95.5	78.2	87.2	130.6	185.9	297.4	336.4	393.6	2808.4
0° al Sur	90°	249.2	175.9	139.7	93.1	53.9	41.5	47.9	74.3	110.8	155.6	213.0	269.6	1624.3

Tabla 6.14: Radiación global mensual y anual en inclinación de 90° para la localidad de Lago Chapo, latitud 41.4° S a 43 kms. al este de Puerto Montt, en [MJ / m²].

*Tabla B63, página 74, Registro Solarimétrico de Chile.

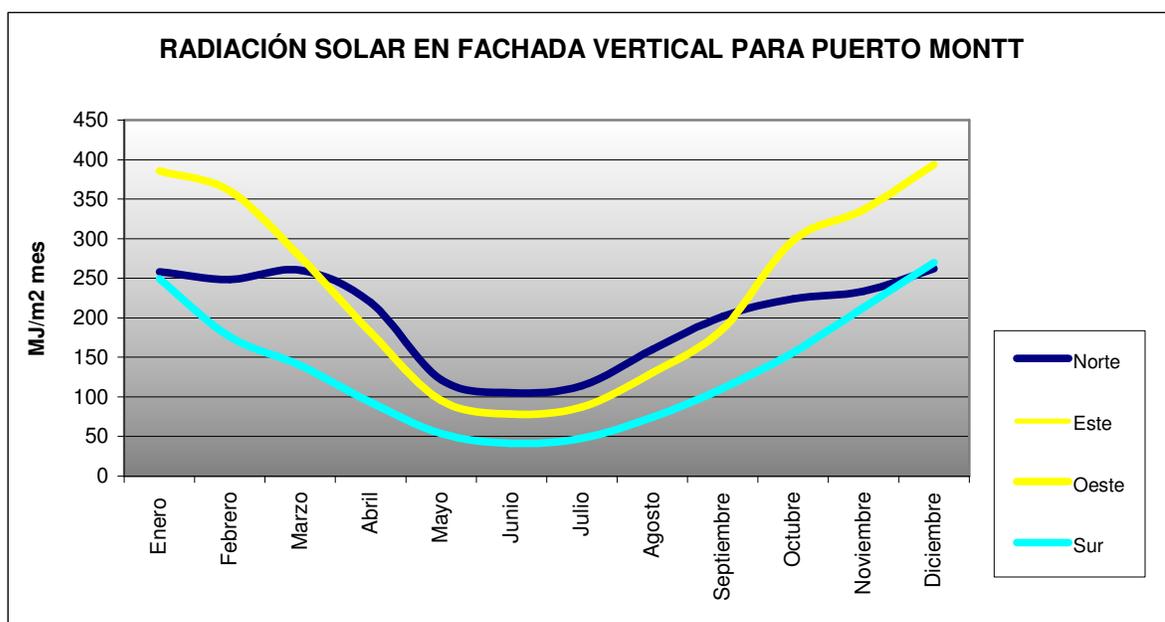


Gráfico 6.1: Radiación solar en fachada vertical para la ciudad de Puerto Montt [MJ/m²].

Al aporte energético de la radiación solar en las ventanas se le aplica un factor de corrección. Este factor se aplica debido a que todo lo recibido no va a ser 100% aporte calorífico, ya que como se trabaja en régimen permanente la vivienda no posee la capacidad de almacenar calor durante el tiempo que no se ocupe calefacción. El factor de corrección a aplicar es de 1 en meses de verano y 0.5 en meses de invierno (en invierno la radiación solar se recibe en horas del día más tempranas, donde no se ocupa mucho calefacción y en meses de verano aprovechamos la radiación solar y durante todo ese tiempo no se calefacciona, así que considera el 100%).*

* Villaseñor, Mauricio. Ingeniero Departamento de Proyectos IDIEM.

A los equipos eléctricos más iluminación se les considerará un aporte de $2 \text{ [W/m}^2\text{]}$. En general se recomienda (en el ASHRAE, por ejemplo) para los equipos eléctricos obtener un valor dependiendo de la potencia de los tipos y cantidades que se posean, y para la iluminación ocupar un valor de potencia por metro cuadrado dependiendo del tipo de edificio analizado, es un método más engorroso ya que hay que incurrir en conocer las cantidades y tipo de equipos eléctricos que se tendrá en una vivienda tipo, en la norma norteamericana se entregan datos de viviendas tipos, pero no concuerdan con los estereotipos chilenos. En este caso, ocuparemos un valor de (equipos más iluminación) de $2 \text{ [W/m}^2\text{]}$, como se dijo anteriormente, este valor se obtiene de a través de un promedio viendo los valores estimados por diversas fuentes: El software CCTE ocupa un valor de $1.9 \text{ [W/m}^2\text{]}$, el software Ecotec $3 \text{ [W/m}^2\text{]}$. Este valor de $2 \text{ [W/m}^2\text{]}$, se multiplica por la cantidad de horas que aportaría calor a la vivienda, se supone para este caso 16 horas.

Para el aporte de calor sensible y latente por persona, se entregan valores parecidos, pero no siempre iguales en diferentes normas y estudios al respecto. Se ocuparán para este caso valores sacados de la ASHRAE, que recomienda 60 [W] de calor sensible y 40 [W] de calor latente, valores que entrega una persona en estado de reposo, no ejerciendo actividad física. Esta potencia también se multiplica por el número de horas que la persona se encuentra en la vivienda, al igual que para los equipos se ocupan 16 horas y además va multiplicado por el número de personas que habita la vivienda. En algunos softwares computacionales se miden estos aportes, pero en unidades de $\text{[W/m}^2\text{]}$, por ejemplo en los ya citados CCTE y Ecotec.

Se resumen las ganancias caloríficas para cada vivienda en las siguientes tablas:

MES	Ganancias [kWh]		
	Solares Ventanas	Personas	Equipos
Enero	1347	248	99
Febrero	1240	224	90
Marzo	1018	248	99
Abril	712	240	96
Mayo	191	248	99
Junio	158	240	96
Julio	175	248	99
Agosto	259	248	99
Septiembre	358	240	96
Octubre	523	248	99
Noviembre	1182	240	96
Diciembre	1381	248	99

Tabla 6.15: Ganancias térmicas para la vivienda modelo 1.

MES	Ganancias [kWh]		
	Solares Ventanas	Personas	Equipos
Enero	957	248	78
Febrero	858	224	71
Marzo	782	248	78
Abril	598	240	76
Mayo	165	248	78
Junio	138	240	76
Julio	152	248	78
Agosto	220	248	78
Septiembre	293	240	76
Octubre	375	248	78
Noviembre	846	240	76
Diciembre	987	248	78

Tabla 6.16: Ganancias térmicas para la vivienda modelo 2.

MES	Ganancias [kWh]		
	Solares Ventanas	Personas	Equipos
Enero	714	198	86
Febrero	663	179	78
Marzo	536	198	86
Abril	370	192	83
Mayo	198	198	86
Junio	164	192	83
Julio	181	198	86
Agosto	268	198	86
Septiembre	372	192	83
Octubre	556	198	86
Noviembre	626	192	83
Diciembre	730	198	86

Tabla 6.17: Ganancias térmicas para la vivienda modelo 3.

Luego, se obtienen los valores numéricos de las pérdidas caloríficas para cada vivienda, según las fórmulas del capítulo 2.14 y usando además los valores de grados días mes para la ciudad de Puerto Montt.

MES	Grados días mes [°C]
Enero	120
Febrero	116
Marzo	169
Abril	213
Mayo	272
Junio	307
Julio	333
Agosto	327
Septiembre	284
Octubre	240
Noviembre	184
Diciembre	147
Total	2712

Tabla 6.18: Grados Días Mes para la ciudad de Puerto Montt [°C].

* Tabla 11, página 95, Energía solar en Arquitectura y Construcción, Pedro Sarmiento. Grado base 18.3 °C.

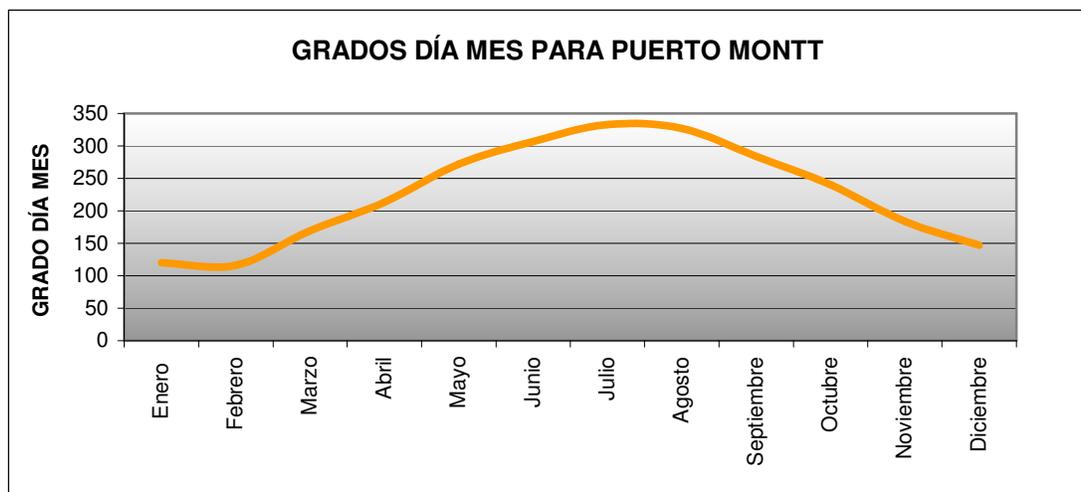


Gráfico 6.2: Grados días mes para la ciudad de Puerto Montt.

MES	Pérdidas [kWh]		
	Transmisión	Ventilación	Infiltración
Enero	586	283	68
Febrero	567	273	66
Marzo	825	398	95
Abril	1040	1040	120
Mayo	1328	641	154
Junio	1499	724	173
Julio	1626	785	188
Agosto	1597	771	185
Septiembre	1387	669	160
Octubre	1172	566	136
Noviembre	899	434	104
Diciembre	718	347	83

Tabla 6.19: Pérdidas caloríficas para la vivienda modelo 1.

MES	Pérdidas [kWh]		
	Transmisión	Ventilación	Infiltración
Enero	522	248	58
Febrero	505	240	56
Marzo	736	349	81
Abril	927	927	102
Mayo	1184	562	131
Junio	1336	635	147
Julio	1449	688	160
Agosto	1423	676	157
Septiembre	1236	587	136
Octubre	1045	496	115
Noviembre	801	380	88
Diciembre	640	304	71

Tabla 6.20: Pérdidas caloríficas para la vivienda modelo 2.

MES	Pérdidas [kWh]		
	Transmisión	Ventilación	Infiltración
Enero	579	236	61
Febrero	559	228	59
Marzo	815	332	86
Abril	1027	1027	109
Mayo	1312	535	139
Junio	1480	604	157
Julio	1606	655	170
Agosto	1577	643	167
Septiembre	1370	559	145
Octubre	1157	472	123
Noviembre	887	362	94
Diciembre	709	289	75

Tabla 6.21: Pérdidas caloríficas para la vivienda modelo 3.

Con lo que se puede elaborar una tabla con la demanda térmica para calefacción de cada vivienda.

MES	Demanda térmica total [kWh]
Enero	0
Febrero	0
Marzo	0
Abril	615
Mayo	1585
Junio	1902
Julio	2076
Agosto	1947
Septiembre	1523
Octubre	1003
Noviembre	0
Diciembre	0
Total	10651

Tabla 6.22: Demandas térmicas para calefacción por mes de la vivienda modelo 1.

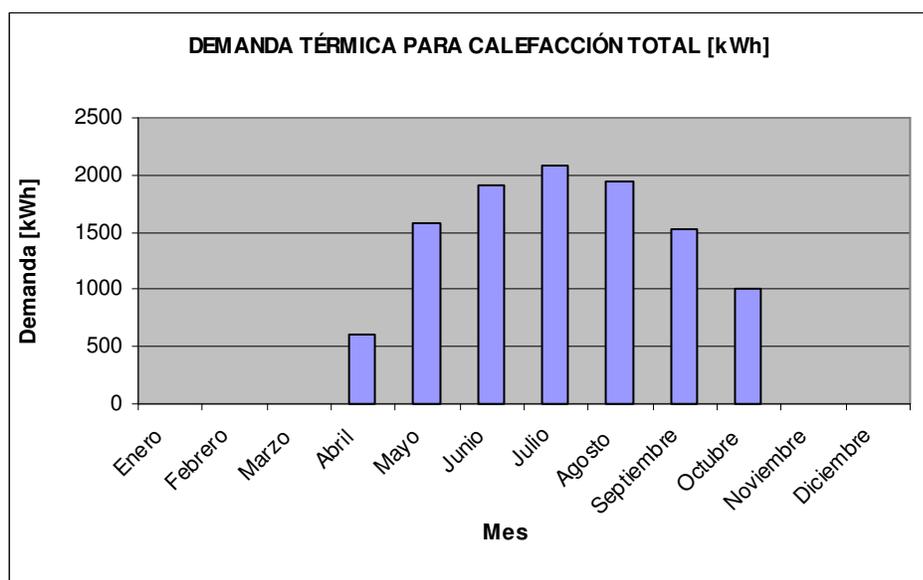


Gráfico 6.3: Demanda térmica para calefacción en el año en vivienda modelo 1 [kWh].

MES	Demanda térmica total [kWh]
Enero	0
Febrero	0
Marzo	57
Abril	556
Mayo	1386
Junio	1664
Julio	1819
Agosto	1710
Septiembre	1350
Octubre	954
Noviembre	108
Diciembre	0
Total	9605

Tabla 6.23: Demandas térmicas para calefacción por mes de la vivienda modelo 2.

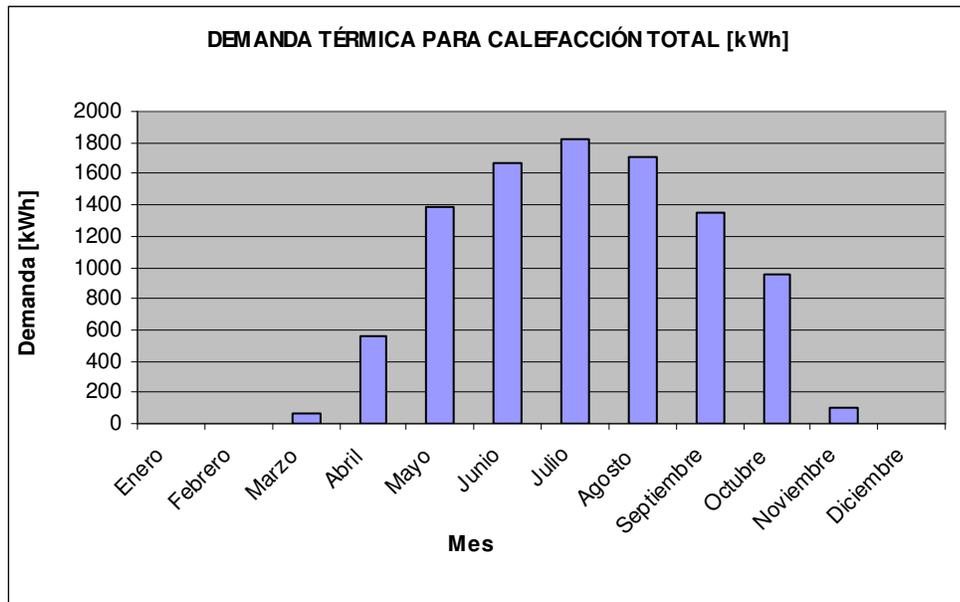


Gráfico 6.4: Demanda térmica para calefacción en el año en vivienda modelo 2 [kWh].

MES	Demanda térmica total [kWh]
Enero	0
Febrero	0
Marzo	413
Abril	910
Mayo	1504
Junio	1803
Julio	1966
Agosto	1835
Septiembre	1426
Octubre	912
Noviembre	443
Diciembre	59
Total	11271

Tabla 6.24: Demandas térmicas para calefacción por mes de la vivienda modelo 3.

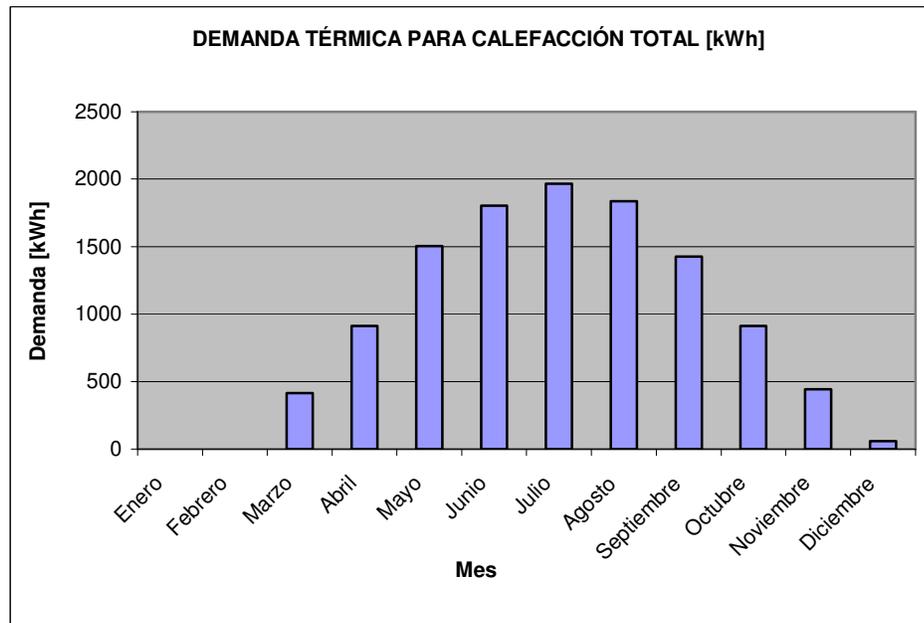


Gráfico 6.5: Demanda térmica para calefacción en el año en vivienda modelo 3 [kWh].

Finalmente, se confecciona una tabla resumen para cada vivienda.

RESUMEN	
kWh/año demandas	kWh/m²*año demandas
10651	106

Tabla 6.25: Resumen de datos de demandas energéticas para vivienda modelo 1.

RESUMEN	
kWh/año demandas	kWh/m²*año demandas
9605	122

Tabla 6.26: Resumen de datos de demandas energéticas para vivienda modelo 2.

RESUMEN	
kWh/año demandas	kWh/m²*año demandas
11271	130

Tabla 6.27: Resumen de datos de demandas energéticas para vivienda modelo 3.

6.6.2 Cálculo de demanda térmica aplicando régimen dinámico.

Para poder comparar valores y con esto intentar la obtención de datos más precisos se recurrió al uso de un software computacional. Para esto se ocupó el programa CCTE “*Certificación de Comportamiento Térmico de Edificios*” versión 2.0 (Julio 2008).

Se modelaron las 3 viviendas usando los planos de arquitectura, las especificaciones técnicas, planos de aislamiento térmico y la orientación de cada una de ellas.

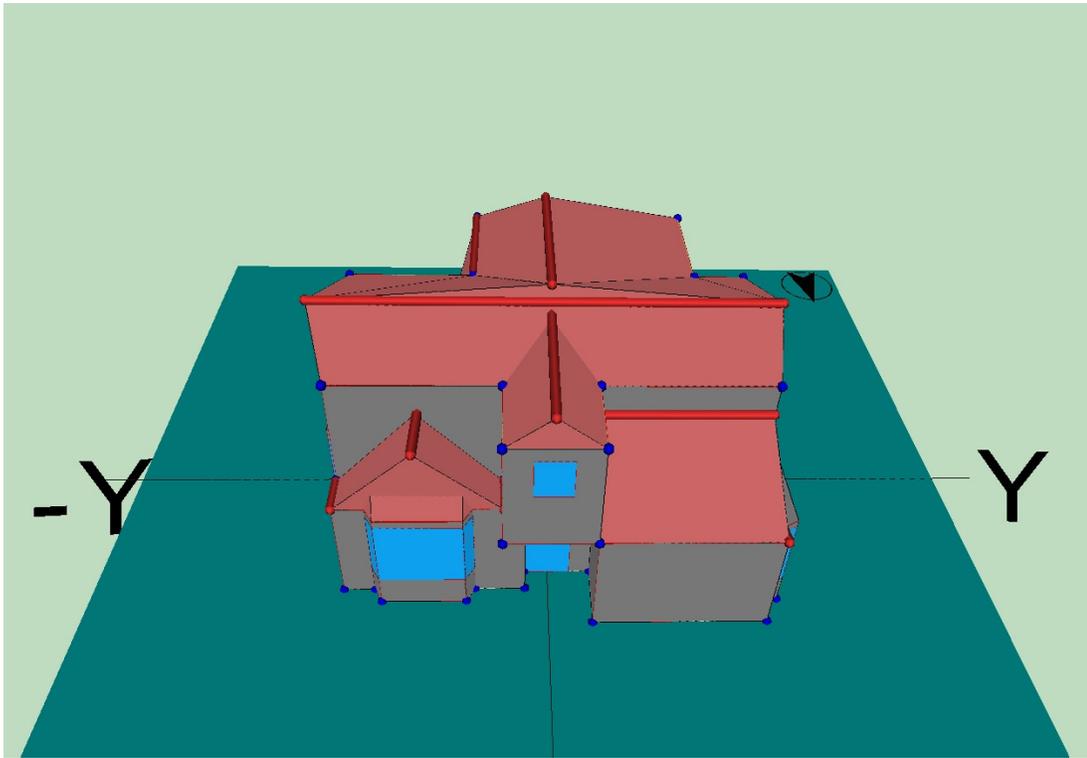


Figura 6.15: Modelo de la vivienda 1 en el software computacional CCTE.

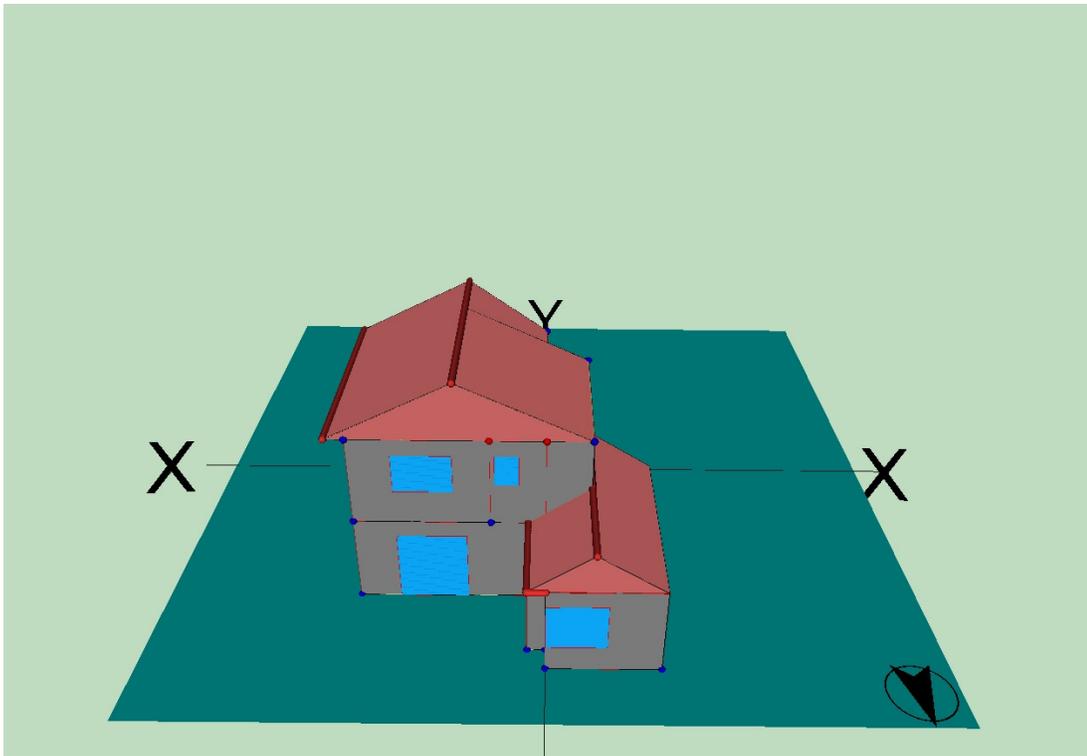


Figura 6.16: Modelo de la vivienda 2 en el software computacional CCTE.

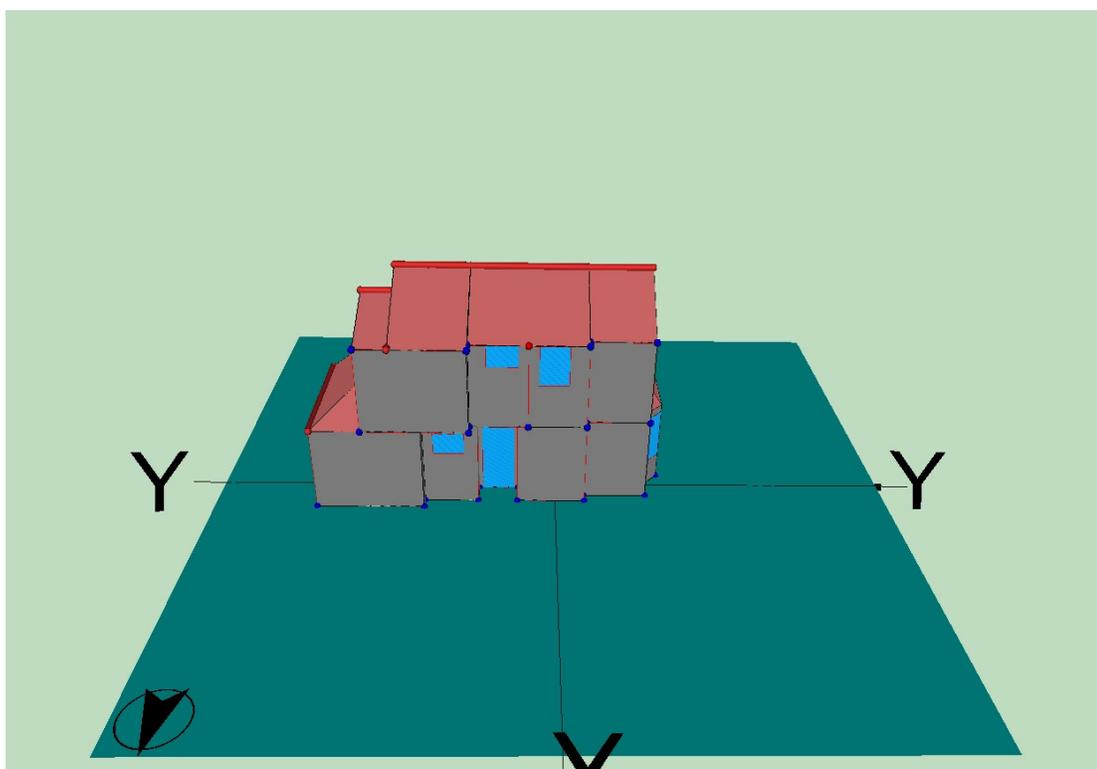


Figura 6.17: Modelo de la vivienda 3 en el software computacional CCTE.

El software entrega datos de consumo y demandas energéticas de refrigeración y calefacción anuales. Otorga resultados de la vivienda completa, además de resultados por cada espacio definido, en este caso se definieron los espacios de las piezas, baños, cocina y living comedor.

Configuración

Se describe la zona donde se va a encontrar el proyecto, en este caso es Región de los Lagos, Comuna de Puerto Montt Zona 6, el ángulo de orientación del edificio para asignar hacia donde se encuentra el Norte, tipo de edificio (las 3 viviendas corresponden a vivienda unifamiliar) y tipo de uso, en este caso: residencial.

Para obtener resultados se definieron de la siguiente manera los elementos constructivos de la vivienda. Los valores se encuentran en unidades de [$^{\circ}\text{K}$, m, W, Kg, J].

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mad tab aglomerado de part_650	0.011	0.106	650	1420	
2	Poliestireno expandido_20	0.015	0.038	20	1200	
3	Lana de vidrio paneles_16_Z1					1.030
4	Yeso carton_650	0.013	0.240	650	840	

Figura 6.18: Definición de muros originales de las viviendas en el software computacional CCTE.

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mad tab aglomerado de part_650	0.011	0.106	650	1420	
2	Poliestireno expandido_20	0.015	0.038	20	1200	
3	Lana de vidrio paneles_16_Z6					3.590
4	Yeso carton_650	0.010	0.240	650	840	

Figura 6.19: Definición de la techumbre original de las viviendas en el software computacional CCTE.

	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Hgon masa grava normal_ar_ord_cv	0.080	1.630	2400	920	

Figura 6.20: Definición del tipo de piso original de las viviendas en el software computacional CCTE.

* Para este caso se agrega un aislamiento perimetral especificado en el punto 5.3, que otorga una resistencia térmica de 0.39 [m² °K / W].

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Yeso carton_700	0.100	0.260	700	840	
2	CA_vertical_E0,82_20mm o mas					0.165
3	Yeso carton_700	0.100	0.260	700	840	

Figura 6.21: Definición del tipo tabique (elemento para separar espacios interiores) original de las viviendas en el software computacional CCTE.

Las ventanas y puertas usadas en cada modelo de las viviendas poseen las mismas propiedades descritas en el punto 5.3.4.

Se presentan a continuación los valores de demanda de calefacción para las viviendas y también para una vivienda referencial, que consiste en ser una vivienda con la misma geometría, en la misma zona térmica y con el mismo uso, pero su envolvente ha sido ajustada a las exigencias térmicas establecidas en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Es decir, se le asignan a la envolvente los valores máximos permitidos de transmitancia térmica, esto quiere decir que se modifican los valores de: muros, techumbres y pisos ventilados y también los de superficie vidriada máxima permitida con respecto a los parámetros verticales, para el caso de vidriado simple.

También como se mencionó anteriormente, el software arroja resultados de demanda energética para los espacios asignados, los que se separan entre sí con elementos " tabique ". Los resultados de cada espacio se muestran a continuación de los de demanda energética totales.

Resultados para vivienda 1.

Se entregan los resultados obtenidos para la vivienda 1 en las siguientes tablas y gráficos.

Demanda de calefacción [kWh/m ²]		Demanda de refrigeración [kWh/m ²]	
Proyecto	Referencial	Proyecto	Referencial
95.3	138.4	0.5	0.5

Tabla 6.28: Resultados de demanda anual para calefacción y refrigeración en vivienda 1 y modelo referencial con régimen dinámico.

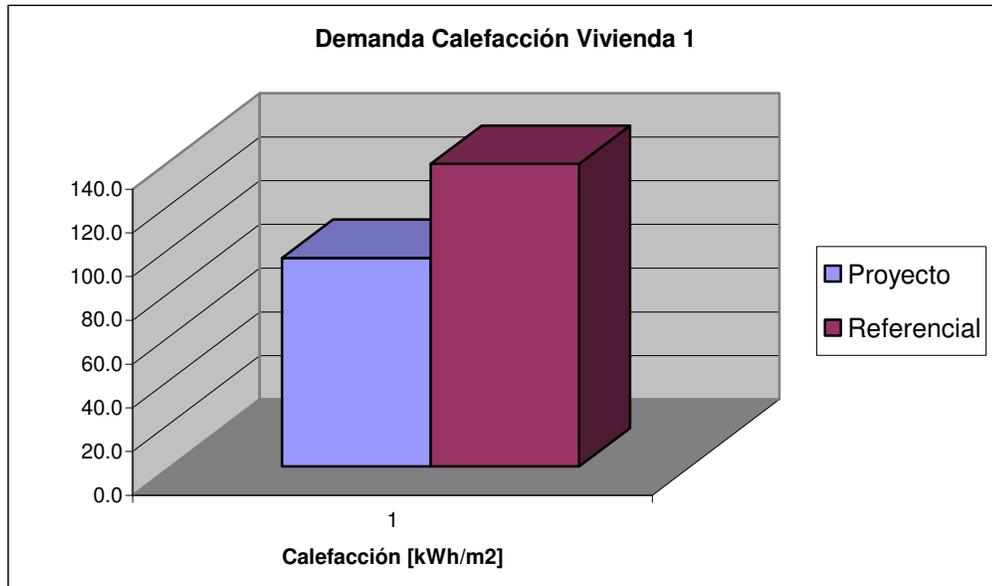


Gráfico 6.6: Resultados de demanda anual total para calefacción y refrigeración en vivienda 1 y modelo referencial con régimen dinámico.

Vivienda 1			
Piso	Espacio	Calefacción [kWh/m ² año]	Refrigeración [kWh/m ² año]
1 ^e	Living-Comedor	124.5	0.0
	Pieza 1	124.6	0.0
	Baño 1	95.8	0.0
	Cocina	92.3	2.0
2 ^e	Pieza 2	94.8	0.0
	Pieza 3	89.0	0.0
	Baño 2	112.6	0.0
	Sala de Estar	77.0	0.0

Tabla 6.29: Resultados de demanda anual para calefacción y refrigeración de los espacios definidos en vivienda 1 con régimen dinámico.

Resultados para vivienda 2.

Se entregan los resultados obtenidos para la vivienda 2 en las siguientes tablas y gráficos.

Demanda de calefacción [kWh/m ²]		Demanda de refrigeración [kWh/m ²]	
Proyecto	Referencial	Proyecto	Referencial
107.9	160.7	0.0	0.0

Tabla 6.30: Resultados de demanda anual total para calefacción y refrigeración en vivienda 2 y modelo referencial con régimen dinámico.

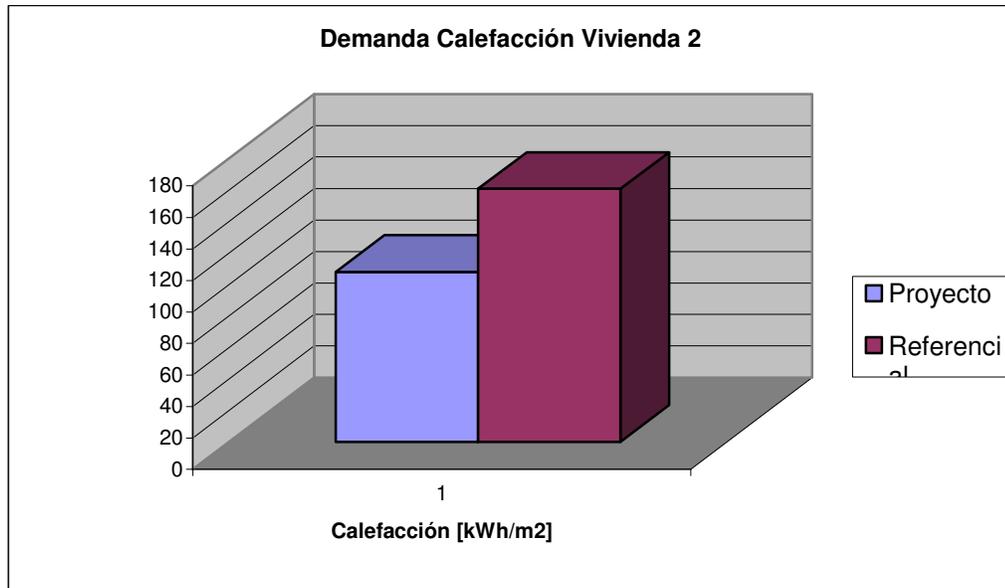


Gráfico 6.7: Resultados de demanda anual total para calefacción y refrigeración en vivienda 2 y modelo referencial.

Vivienda 2			
Piso	Espacio	Calefacción [kWh/m ² año]	Refrigeración [kWh/m ² año]
1 ^o	Cocina	118.3	0.0
	Living-Comedor	88.1	0.0
	Baño 1	144.1	0.0
	Pieza 1	139.1	0.0
2 ^o	Pieza 2	103.6	0.0
	Pieza 3	83.7	0.0
	Baño 2	84.9	0.0
	Sala de Estar	102.1	0.0

Tabla 6.31: Resultados de demanda anual total para calefacción y refrigeración de los espacios definidos en vivienda 2 con régimen dinámico.

Resultados para vivienda 3.

Se entregan los resultados obtenidos para la vivienda 3 en las siguientes tablas y gráficos.

Demanda de calefacción [kWh/m ²]		Demanda de refrigeración [kWh/m ²]	
Proyecto	Referencial	Proyecto	Referencial
112.6	146.0	0.0	0.8

Tabla 6.32: Resultados de demanda anual total para calefacción y refrigeración en vivienda 3 y modelo referencial con régimen dinámico.

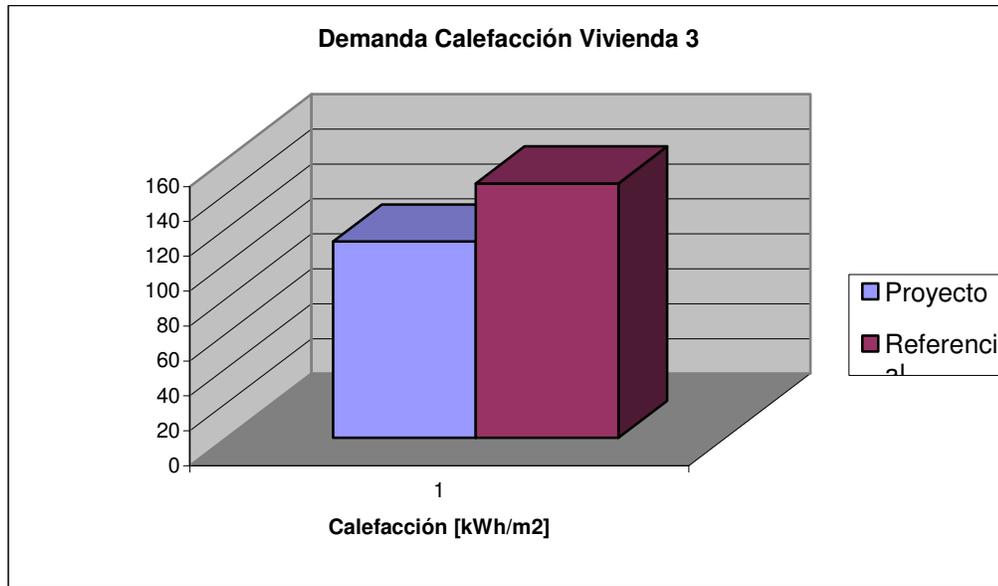


Gráfico 6.8: Resultados de demanda anual total para calefacción y refrigeración en vivienda 3 y modelo referencial.

Vivienda 3			
Piso	Espacio	Calefacción [kWh/m ² año]	Refrigeración [kWh/m ² año]
1º	Baño 1	116.7	0.0
	Pieza 1	122.8	0.0
	Cocina	117.0	0.0
	Living-Comedor	122.9	2.3
2º	Pieza 2	146.6	2.6
	Sala de Estar	77.8	0.0
	Baño 2	94.4	0.0
	Pieza 3	102.7	0.0

Tabla 6.33: Resultados de demanda anual total para calefacción y refrigeración de los espacios definidos en vivienda 3 con régimen dinámico.

Se aprecia que aunque las viviendas posean sistemas de aislación térmica de la envolvente similares, sus valores de demanda son significativamente diferentes. Por ejemplo, entre la vivienda 1 y 2, que tienen los mismos materiales, existen diferencias de aproximadamente el 15%. Esto se puede decir que es debido a la orientación que cada una posee, con su respectiva superficie vidriada hacia cada punto cardinal como muestran las tablas 6.7 y 6.8. La vivienda 1 tiene más superficie de ventanas mirando hacia el norte, este y oeste, lo que implica una mayor ganancia solar. En lo que se refiere a ganancia por equipos y personas, poseen valores parecidos y varían sólo por la superficie de cada una. Incluso la vivienda 2 es más pequeña que la primera (una

superficie de aproximadamente 20% menor), esto implica en pérdidas por transmisión menores a través de los elementos de la envolvente. Otro factor que tiene incidencia en esta diferencia, es el factor de eficiencia volumétrica mostrado en las tablas 6.11 y 6.12, donde EV es mayor para la vivienda 2 por muy poco, además se sabe que mientras menor sea este valor, la eficiencia va a ser mayor. Los factores: arquitectónico, ubicación y orientación son los responsables de esta gran diferencia entre estas 2 casas.

La tercera vivienda, aún con valores de transmitancia térmica de ventanas casi el doble que los de las otras dos, posee una demanda energética parecida a la de la vivienda 2, por lo que se puede decir que no está mal construida, pero sí se podría mejorar.

6.7 DEMANDA TÉRMICA PARA A.C.S.

Para poder abastecer de A.C.S. a la vivienda, es necesario primero obtener la demanda térmica de la casa, y luego, analizar que alternativa es la mejor. Para esto se usan las fórmulas y métodos del punto 2.16.2. Los datos necesarios se resumen en la siguiente tabla.

Dato	Valor
Calor específico del agua Cp (kJ/kg°C)	4.186
Número de viviendas	1
Consumo agua diario (l/persona-día) *	40
Número de habitantes por vivienda	5
Número de habitantes totales	5
Temperatura agua caliente (°C) **	45
Consumo agua diario total (l/día)	200

Tabla 6.34: Resumen de datos necesarios para obtener la demanda energética para A.C.S. a la vivienda.

* Tabla 3, página 58 del Manual de Diseño para Calentamiento de Agua.

** Manual de Diseño para Calentamiento de Agua.

Luego, la demanda térmica de A.C.S. para cada mes y anual para una vivienda con 5 personas (2 de las 3 casas tienen espacio para 5 personas), es la siguiente:

Mes	Días	Temp. Agua Fría * Puerto Montt	Carga de A.C.S. (MJ/mes)	Carga de A.C.S. (kWh/mes)
ENE	31	12.9	833	231
FEB	28	13.7	734	204
MAR	31	13.5	818	227
ABR	30	12.2	824	229
MAY	31	10.6	893	248
JUN	30	8.8	909	253
JUL	31	7.6	971	270
AGO	31	7.1	984	273
SEPT	30	7.4	944	262
OCT	31	8.5	947	263
NOV	30	9.8	884	246
DIC	31	11.5	869	242
Total	365		10610	2947

Tabla 6.35: Demanda térmica de A.C.S. para cada mes y al año para una vivienda con 5 personas.

* Tabla 4, página 59 del Manual de Diseño para Calentamiento de Agua

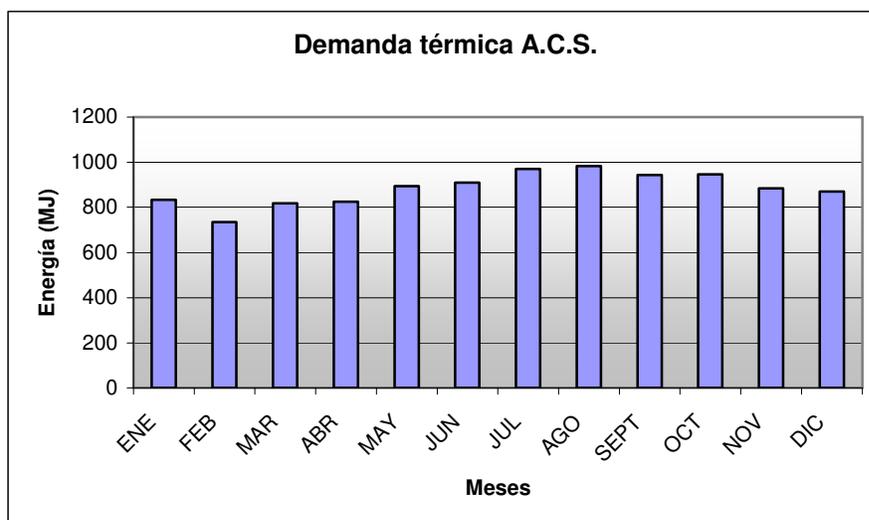


Gráfico 6.9: Demanda térmica de A.C.S. para cada mes para una vivienda con 5 habitantes.

CAPÍTULO 7 PROPOSICIONES DE OPTIMIZACIÓN PARA LAS VIVIENDAS.

7.1 SOLUCIONES PARA A.C.S. Y AISLAMIENTO TÉRMICO DE LA ENVOLVENTE.

7.1.1 Soluciones para A.C.S.

7.1.1.1 Colectores Solares [Ref 20]

El sistema más simple para lograr el calentamiento de aguas sanitarias para una vivienda usando la energía solar consiste en un panel colector y un depósito de almacenamiento de agua.

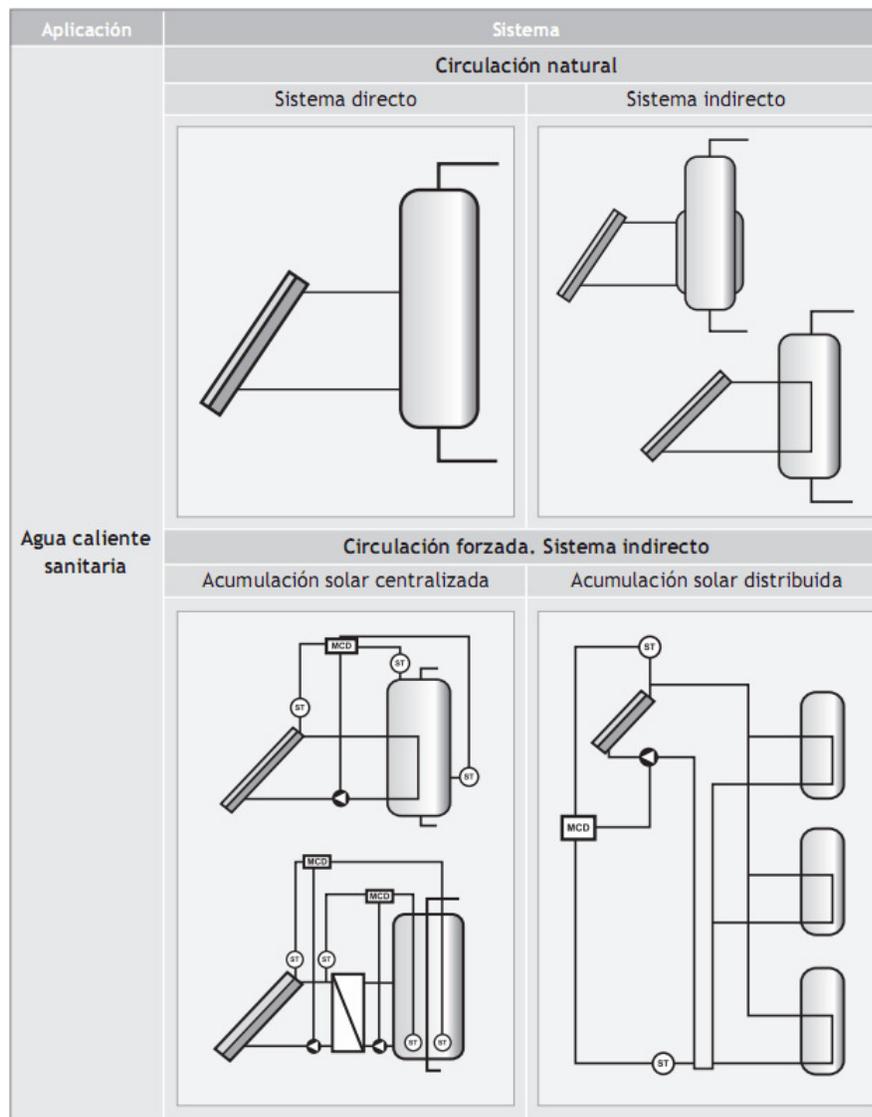


Figura 7.1: Configuración básica de un sistema de colector solar y depósito para A.C.S.

Como fluido en el sistema primario se utiliza agua proveniente de la red, desmineralizada o agua con aditivos, según las características de la zona. Un sistema de circulación natural conlleva consigo el fenómeno de termosifón, el cual consiste en hacer circular el fluido a través de conductos sin ser impulsado por bombas, sino sólo causado por cambios de densidades debido al calentamiento y enfriamiento que experimenta el fluido en diferentes zonas. Un sistema activo requiere del uso de bombas para lograr hacer circular el fluido del sistema.

Un sistema de circulación natural (principio de termosifón) puede ser usando ya sea sistema directo o indirecto, lo mismo sucede con los de circulación forzada o con bombas. Un sistema directo consiste en calentar agua fría en el colector y luego enviarla al depósito de almacenamiento, después agua fría proveniente de la red llega al colector nuevamente y se calienta, y así sucesivamente. No así el sistema indirecto, ya que aquí el agua (u otra sustancia) que se calienta en el colector circula a través de una red que pasa por el interior del depósito y por medio de un intercambiador de calor le aporta sus calorías al agua fría que contiene el depósito, volviendo fría al colector para calentarse nuevamente y así continuar. Un sistema directo es más fácil de construir y más económico que el indirecto, pero puede resultar más eficiente el indirecto, dependiendo de la sustancia que se haga circular.

Como requisitos generales para la instalación y uso de colectores solares para calentamiento de aguas sanitarias es recomendable ver el Manual de Energía Solar, páginas 17 a 20. En esta sección se explican los requisitos para el fluido de trabajo, protección contra heladas, sobrecalentamientos, resistencia a presión, prevención de flujo inverso y prevención de Legionelosis * (enfermedad que es producida por una bacteria presente en los sistemas de agua, se reproduce mayormente en aguas calientes, entre 32° - 40° C y aguas estancadas, por lo que para prevenirla es necesario hacer un diseño adecuado de la transmisión del agua y un buen mantenimiento).

** Manual para la prevención y control de la legionelosis, aspergilosis y tuberculosis en instalaciones sanitarias, Sevilla, 2002.*

7.1.1.2 Calderas de Condensación

[Complementado con página www.caloryfrio.com]

La caldera de condensación es una tecnología nueva para poder calentar agua. Tiene la particularidad de ser una manera sostenible dada su eficiencia y baja emisión de CO₂ (dióxido de carbono) y NO_x (óxidos de nitrógeno), causante del calentamiento global y la lluvia ácida respectivamente.

Funcionamiento: la condensación es el proceso en el cual ocurre un cambio de una sustancia desde un estado gaseoso al estado líquido. En este cambio se libera una cierta cantidad de energía, llamada " calor latente ". Este cambio de fase depende de la presión y la temperatura, entre otros factores.

Poder calorífico inferior (PCI) y Poder calorífico superior (PCS)

PCI es un dato que indica la cantidad de calor que se puede producir con una cierta cantidad de combustible (sea sólido, líquido o gaseoso): con este valor de referencia los productos de combustión están disponibles en estado gaseoso.

PCS contiene además del valor que entrega el PCI un porcentaje de energía por condensación de vapor de agua, llamado " calor latente ".

Rendimiento: para producir el calor las calderas de condensación utilizan el poder calorífico superior (PCS). Para todos los cálculos de rendimiento, las normas europeas utilizaron el valor de referencia del PCI. Utilizando el PCI para obtener rendimiento en calderas de condensación, se obtienen rendimientos superiores al 100% gracias a la utilización del calor latente que representa un 11%. Esa comparación vale sólo cuando se hace con las calderas clásicas. Con relación a las calderas modernas de baja temperatura se posible conseguir rendimientos superiores al 15%.

Calor Latente: utilizando gas natural la parte de calor por condensación es del 11% con respecto al PCI. Las calderas de baja temperatura no utilizan ese calor, no así las de condensación, que gracias a la condensación del agua lo pueden usar.

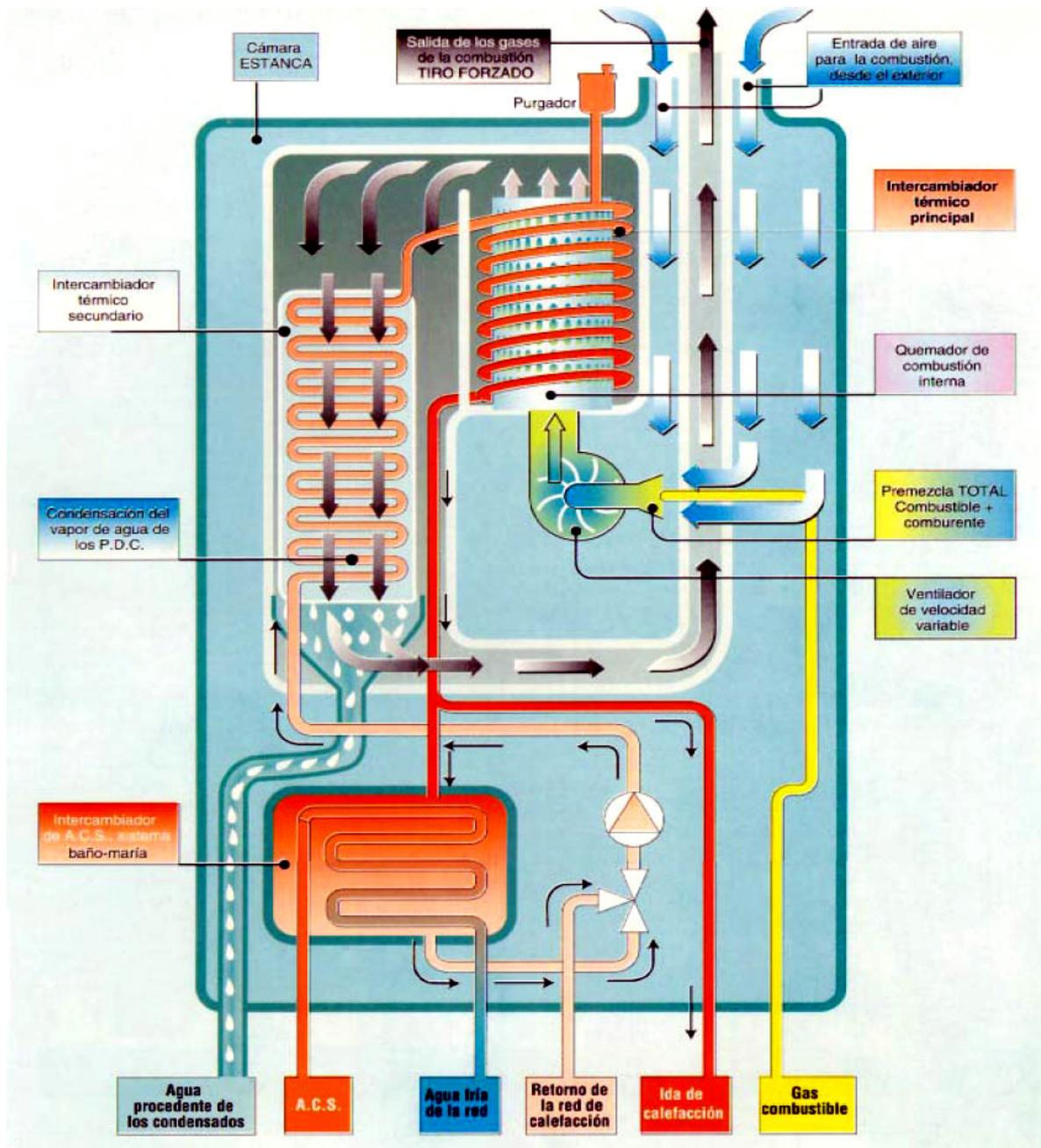


Figura 7.2: Sistema de funcionamiento de una caldera de condensación.

7.1.1.3 Bombas de Calor [Ref 3 y 23]

Las bombas de calor es un sistema que hace elevar la temperatura de algún fluido circulante que se encuentra a bajas temperaturas y obtiene beneficio de la energía liberada en el proceso, usándola como calor. Como el fluido está presente a bajas temperaturas, no es posible usar la cantidad de energía que posee como calor, por lo que es necesario aumentarla a niveles útiles.

En principio es una máquina de refrigeración utilizada a la inversa. El fluido que se hace circular a través de un circuito cerrado mediante un compresor es un refrigerante (puede ser: freón, metilcloruro o amoniaco). En el extremo caliente (el condensador) se mantiene bajo presión con la ayuda de una válvula de seguridad y en el extremo frío (evaporador) se conserva a presión reducida. Al comprimir el fluido, éste aumenta su temperatura y se licua liberando calor hacia el receptor. Al atravesar la válvula de seguridad, el refrigerante se evapora en forma rápida disminuyendo su temperatura, recogiendo calor de su medio ambiente.

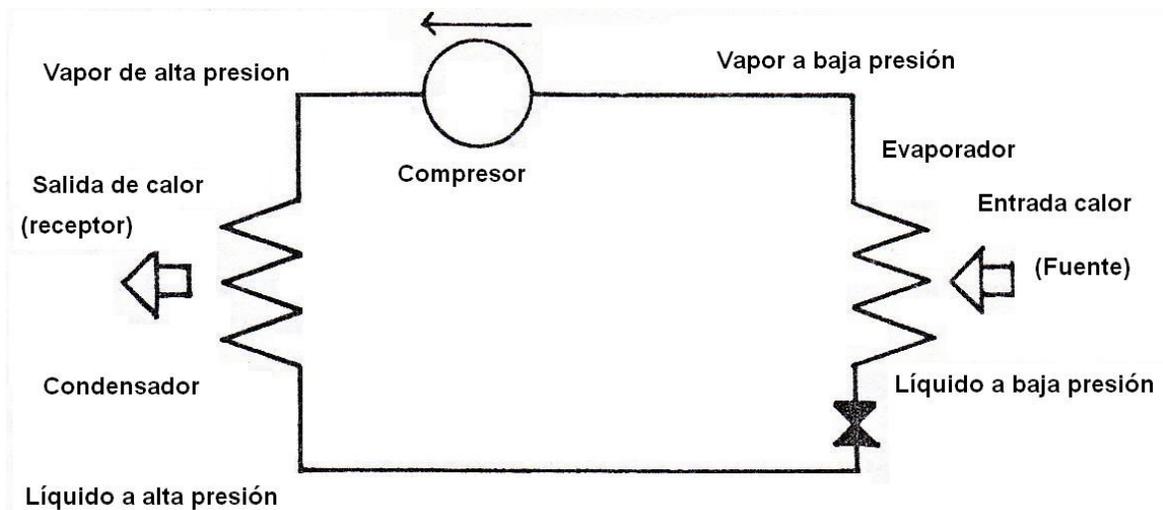


Figura 7.3: Esquema del principio de funcionamiento de una bomba de calor.

El coeficiente de rendimiento de una bomba de calor es:

$$\frac{Q}{W}$$

donde,

- Q = calor dado hacia el receptor.
- W = entrada de acción.

En el ciclo ideal (Carnot) este coeficiente de rendimiento es inversamente proporcional a la diferencia de temperatura, queda:

$$\frac{Q}{W} = \frac{T'}{T' - T''} \quad (\text{Ec. 7.1})$$

con,

- T' = temperatura del receptor [°K].
- T'' = temperatura de la fuente [°K].

El valor de este coeficiente en el ciclo práctico (Ranking) es de 0,80, pero se va reduciendo más debido a los factores de eficiencia de los componentes: el motor eléctrico que acciona el compresor (0.95), el compresor (0.80), el intercambiador de calor (0.90). El rendimiento general va a ser el producto de las eficiencias de cada uno de los componentes.

Las bombas de calor se pueden usar para la captación de energía solar de forma directa. La fuente, que sería el evaporador, es la placa de absorción. El condensador sería un intercambiador térmico en un depósito de agua y actuar a su vez como calentador de agua. Ahora, de forma indirecta, la fuente tendría que ser un tanque de agua que se enfría por el evaporador. El agua fría circula de forma rápida hacia la placa colectora, aquí se calienta y regresa al depósito.

En forma simple, una bomba de calor le extrae al entorno (ya sea tierra, aire o agua) la energía que tiene acumulada proveniente del sol y se la cede en forma de calor a la energía impulsora del circuito de agua caliente y de caldeo. Como pueden "recoger" esa energía de 3 fuentes distintas, existen 3 tipos de bombas de calor: tierra-agua, aire-agua y agua-agua.

7.1.1.3.1 Bombas de calor Aire-Agua.

Como el nombre lo indica, extraen la energía que tiene almacenada el aire exterior, y luego de extraerlo se lo entregan al interior de la vivienda. Poseen la particularidad de que su fuente de energía se encuentra disponible en gran cantidad en el ambiente. Tienen una tecnología tal, que pueden incluso extraer la energía del aire exterior en invierno y entregar calor a la vivienda para calefaccionar o calentar agua sanitaria, también, gracias a un sistema reversible pueden refrigerar en verano.

7.1.1.3.2 Bombas de calor Tierra-Agua.

Las bombas de calor Tierra-Agua también llamadas Geotérmicas, sacan la energía de la tierra. Generalmente se ocupan colectores horizontales, distribuidos por el entorno de la vivienda, a través de los cuales circula el fluido (que es una mezcla entre el refrigerante más agua) encargado de recoger el calor y transportarlo al interior de la vivienda. Al igual que las bombas Aire-Agua, pueden funcionar como sistemas de calefacción, calentamiento de aguas sanitarias y refrigeración.

7.1.1.3.3 Bombas de calor Agua-Agua.

Este tipo de bombas recogen la energía del agua, acumulada en pozos profundos o en napas subterráneas. Funcionan con un mecanismo parecido al de las bombas de calor Tierra-Agua, pero se diferencian en que poseen colectores verticales.

Los últimos 2 tipos de bombas descritos tienen un costo inicial más elevado que el de las bombas Aire-Agua.

7.1.2 Soluciones constructivas para aislamiento de la envolvente.

7.1.2.1 Muros

Las siguientes soluciones de muros se escogieron analizando referencias de las empresas comercializadoras, catálogos de productos y comentarios de profesionales de la inmobiliaria. Así

se llegó a las siguientes alternativas para poder mejorar la eficiencia energética de la vivienda, además de probar nuevas técnicas, como el sistema EIFS.

Muros Flat [Ref 13]

Consiste en moldajes de poliestireno expandido (EPS) que se rellenan con hormigón, así se logra construir muros in situ, quedando el moldaje incorporado a la estructura de la vivienda. Con este método se puede mejorar la aislación térmica y acústica. Son muros que aportan:

- Solidez: como son muros monolíticos de hormigón armado sin juntas, se puede realizar la colada completa de hormigón por planta en una sola operación.
- Rapidez de ejecución: por su sistema, puede llegar a realizarse la operación de armado de los muros para una vivienda de 100m² en 1 día con 2 operarios.
- Aislamiento térmico: el sistema posee aislamiento térmico exterior e interior (poliestireno expandido de densidad 25 – 30 [kg/m³]). Con esto provee además de aislamiento acústico.
- Compatible con cualquier acabado: admite estucos convencionales, revestimientos decorativos, piedras, ladrillos y madera.



Figura 7.4: Solución constructiva, muros Flat.

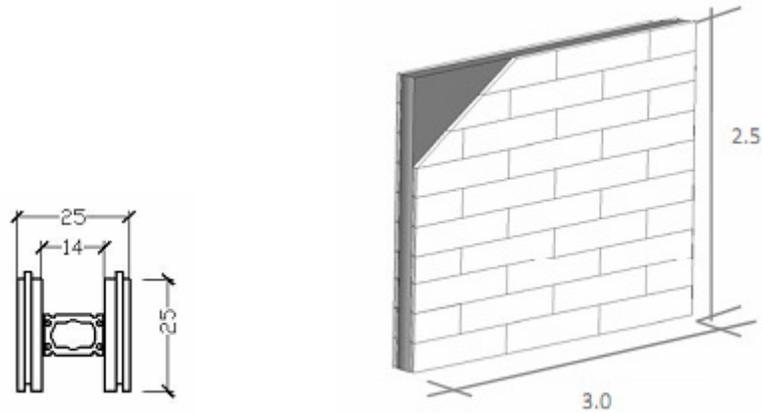


Figura 7.5: Dimensiones sistema de muros Flat. Muros de 3.0 x 2.5 m.

Como se aprecia en la figura los bloques poseen 14 cm. de espesor de hormigón y una aislación térmica doble, exterior e interior, de 5,5 cm. de espesor cada una.

Muro Flat				
Material	Espesor (cm)	Conductividad [W / m °K]	e/K [m ² °K / W]	U [W / m ² °K]
Poliestireno exp	5.5	0.037	1.49	0.31
Hormigon	14	1.63	0.09	
Poliestireno exp	5.5	0.037	1.49	
Total			3.06	

Tabla 7.1: Elementos de aislación térmica con muros Flat.

Muros de Hormigón celular [Ref 15]

El hormigón celular nace de la mezcla de: cemento, agua, cal, arena fina y aluminio. Luego es secada en una cámara de vapor presurizado y se obtiene el hormigón celular. Es un sistema de bloques compuesto por materiales de densidades inferiores a 650 [kg/m³] y con una capacidad estructural que responde a las exigencias sísmicas de un país como Chile (las que son conocidamente altas). Su uso puede ser diverso; ya que puede responder a aplicaciones constructivas tales como muros estructurales de albañilería armada, reforzada, paneles de losas, paneles industriales, entre otros. Su utilización trae como ventaja.

- Aislamiento térmico y acústico: está considerado como el material que por sí solo (no requiere de aislación adicional para obtener una baja conducción de calor) podrá cumplir con las exigencias normativas de los próximos años en Chile. Además de poseer buenas características de aislación acústica.
- Impermeabilidad: tiene una estructura con burbujas de aire, la que impide que se transmita la humedad por capilaridad.
- Libre de plaga y no tóxico: no contiene materiales tóxicos, y al ser un material inorgánico no permite la formación de plagas, además es resistente a los hongos y a las termitas.
- Durable y autoventilado: tiene una gran capacidad de duración comparado a otros materiales de construcción frente a la humedad, ciclos de congelación o deshielo y a ataques químicos. Como posee poros en su estructura permite el traspaso de aire o vapor entre ellos, produciendo ventilación natural.

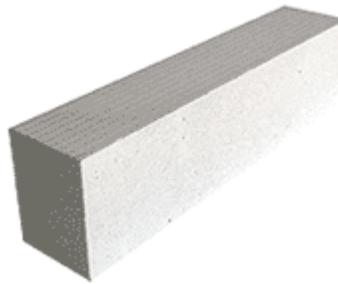


Figura 7.6: Solución constructiva con muros de hormigón celular.

Esta solución viene en bloques de dimensiones de 750 x 200 x 200 mm (largo x espesor x alto). La densidad del hormigón celular a utilizar es de 500 [kg/m³] con las siguientes propiedades de aislamiento térmico:

Muro Hormigón Celular				
Material	Espesor (cm)	Conductividad [W / m °K]	e/K [m ² °K / W]	U [W / m ² °K]
Hormigón Celular	20	0.16	1.25	0.71
Total			1.25	

Tabla 7.2: Elementos de aislación térmica con hormigón celular.

Muros con sistema EIFS [Ref 16]

Las soluciones EIFS (External Insulation and Finish Systems) consisten en otorgar una aislación térmica exterior a la construcción. Es una solución para los revestimientos de muros exteriores y así se logra una mejor resistencia a la humedad, al impacto, además no se agrieta y es fácil de trabajar. Tiene la particularidad de que se puede aplicar a muros ya existentes (por lo que se puede adherir a otra solución, por ejemplo al hormigón celular) o recién construidos. Al muro que puede ser fibrocemento, hormigón armado o albañilería, se le agrega un panel de poliestireno expandido el que se protege con una capa cementicia flexible y se refuerza con una malla de vidrio y así se obtiene una superficie rígida. Se puede aplicar a muros, pero también se logra fijar a techumbre y tabiquería. Un sistema EIFS tiene como ventaja:

- Superficie: no disminuye la superficie interior útil de la vivienda.
- Protección: se la otorga a los muros perimetrales contra la lluvia con viento, el soleamiento de verano.
- Instalación: se pueden instalar a muros de edificios ya construidos, ya que al ejecutarla no molesta a los ocupantes.

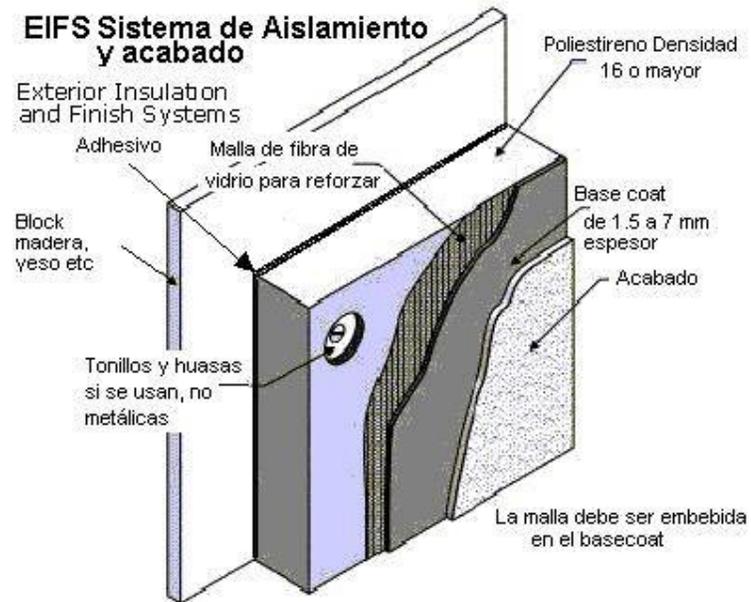


Figura 7.7: Solución constructiva EIFS.

Según el manual de aislación exterior, la solución anterior recomendada es un sistema de EIFS de barrera, que no contiene drenaje. El único material que entrega aislación térmica con este sistema es la malla de poliestireno, la que tiene que tener una densidad $15 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ para que se vuelva efectivo. La malla de fibra de vidrio otorga otros beneficios: aumenta la resistencia al impacto, previene el apareamiento de grietas y mejora la integridad del base coat y del acabado. El base coat (capa de base) se aplica en forma continua en el muro y logra formar una barrera contra el paso de agua en el sistema.

Los materiales que conceden aislación térmica entregan la siguiente resistencia térmica que se le puede sumar ya sea a alguna alternativa de muro anteriormente descrita o a la original, y así lograr disminuir el valor de transmitancia térmica del muro o techumbre. El espesor de la capa de poliestireno expandido es escogido por el constructor, en este caso se usa 2.5cm y con una densidad de $30 \text{ [kg/m}^3\text{]}$.

Muro EIFS				
Material	Espesor (cm)	Conductividad [W / m °K]	e/K [m ² °K / W]	U [W / m ² °K]
Poliestireno Exp.	2,5	0,036	0,69	1,18
Total			0,69	

Tabla 7.3: Elementos de aislación térmica con EIFS.

7.1.2.2 Piso [Ref 12]

El piso original de la vivienda es un piso contra terreno, como se especifica en el punto 5.3. La solución que se propone implementar consiste, al igual que el original, en ser un piso contra terreno, pero que al poseer elementos con valores de transmitancia térmica menores se conseguirá un piso aislado, disminuyendo consigo el valor de la transmitancia térmica lineal.

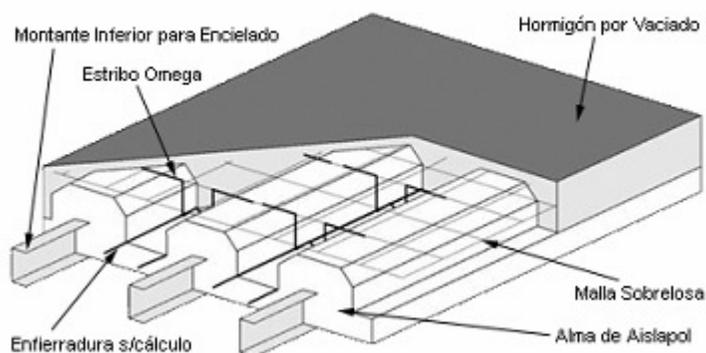


Figura 7.8: Solución constructiva de piso. Esquema de panel de losa nervado Monoplac.

Las dimensiones de las losas que forman estos paneles son de 120 x 300 x 13 cm (ancho, largo y espesor) y poseen una densidad de 15 [kg/m³]. Sus características de aislación térmica se resumen en la siguiente tabla.

Piso ventilado				
Material	Espesor (cm)	Conductividad [W / m °K]	e/K [m ² °K / W]	U [W / m ² °K]
Aislapol	13	0.038	3.42	0.28
Hormigón	5	1.63	0.03	
Total			3.45	

Tabla 7.4: Elementos de aislación térmica de panel losa nervado Monoplac.

7.1.2.3 Ventanas [Ref 11]

El diseño original de las ventanas cumple con las exigencias con respecto a superficie ocupada. También poseen un bajo poder de U comparado con vidrios monolíticos, ya que son de sistema DVH y eso los vuelve eficiente energéticamente. Las ventanas propuestas poseen aún un valor más bajo de U, ayudando a la disminución de consumo de energía para calefacción. En los 2 casos siguientes se considera sistema de DVH con una capa de aire de 10mm de espesor para calcular el valor de U.

7.1.2.3.1 Ventana de DVH con una cara con cristal Low-E

Es un vidrio en el cual se aplica un revestimiento de baja emisividad en una de sus caras, así se logra que la radiación solar de onda corta atraviese el cristal y también que la radiación de calor de onda larga (producida por los sistemas de calefacción) se refleje y se conserve en el interior de la vivienda. Este vidrio puede ser: templado, termoendurecido, curvado y laminado, ya que se produce a través de un tratamiento pirolítico (el revestimiento de baja emisividad se aplica con el cristal en caliente). La cara revestida con la capa de baja emisividad del cristal Low-E debe quedar expuesta mirando hacia la cámara de aire del DVH.

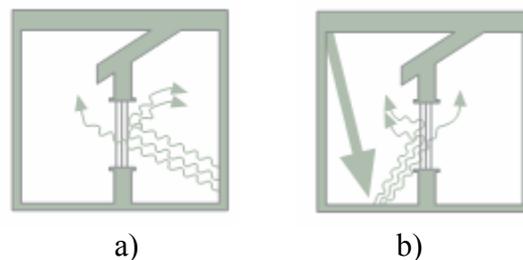


Figura 7.9: a) Ventana DVH Low-E condición en invierno (conserva gran parte de la energía dentro de la vivienda), b) Ventana DVH Low-E condición de verano (limita el ingreso de radiación solar hacia el interior de la vivienda).

El valor de transmitancia térmica para un sistema de ventana DVH con una cara de cristal Low-E y una cámara de aire de 12mm es:

Ventana DVH con una cara con cristal Low-E	
Seleccione tipo de vidrio	U [W / m ² °K]
DVH de baja emisividad (Low-E)	1.80

Tabla 7.5: Transmitancia térmica cristal Low-E.

Las características principales del vidrio son:

Propiedades de transmisión del DVH con una cara de cristal Low-E				
Espesor [mm]	Transmitancia lumínica %	Reflexión %	Coef. de sombra	Factor Solar
4.0	74.0	16.0	0,73	0,64
5.0	74.0	17.0	0,72	0,63
6.0	73.0	16.0	0,71	0,62

Tabla 7.6: Propiedades de transmisión del cristal Low-E.

7.1.2.3.2 Ventana de DVH con una cara con cristal Solar-E.

Consiste en ser no reflectivo con un recubrimiento pirolítico que proporciona propiedades de baja emisividad y control solar. Es transparente y de color neutral, puede ser: cortado, templado, curvado o laminado como un cristal float normal. Puede ser empleado como cristal monolítico o laminado, pero alcanza su mejor rendimiento (mejores valores de transmisión) cuando se le utiliza como termopanel, en este caso la cara con el recubrimiento debe quedar expuesta mirando hacia la cámara de aire y/o hacia el interior del edificio.

El valor de transmitancia térmica para un sistema de ventana DVH con una cara de cristal Solar-E y una cámara de aire de 12mm es:

Ventana con cristal Solar-E	
Seleccione tipo de vidrio	U [W / m ² °K]
DVH con cristal Solar-E	1.80

Tabla 7.7: Transmitancia térmica cristal Solar-E

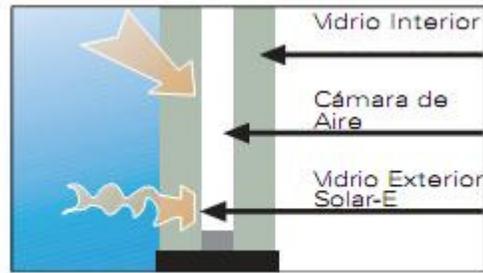


Figura 7.10: Esquema del DVH con cristal Solar-E.

Las propiedades de transmisión se resumen en la siguiente tabla:

Propiedades de transmisión del DVH con una cara de cristal Solar-E				
Espesor [mm]	Transmitancia lumínica %	Reflexión %	Coef. de sombra	Factor Solar
3.0	54.0	10.0	0,55	0,48
4.0	55.0	11.0	0,54	0,47
5.0	55.0	11.0	0,54	0,47
6.0	54.0	10.0	0,52	0,45

Tabla 7.8: Propiedades de transmisión del cristal Solar-E.

7.2 RECOMENDACIONES FACTIBLES DE MEJORAMIENTO.

7.2.1 Recomendación factible para A.C.S usando energía solar.

Una solución posible y factible de realizar para suministrar de A.C.S. a la vivienda es a través de colectores solares como se explica en el punto 6.1.1. Para esto ya se obtuvo en el punto 5.7 la demanda térmica. Ahora, se necesita ver que cantidad de radiación llegaría a los colectores solares para saber el posible aporte energético de éstos.

Usando las tablas y fórmulas del punto 2.16.1, se puede conseguir los valores de la radiación solar para una superficie inclinada de 45° mirando hacia el Ecuador, que es el ángulo de la techumbre principal de las viviendas y que es donde se pueden localizar los colectores.

Mes	Radiación H (MJ / día m ²)*	H (J día m ²)	Ht (J/día-m ²)**	Ht (kWh/día-m ²)
ENE	20.1	2.01E+07	1.83E+07	5.08
FEB	19.1	1.91E+07	1.99E+07	5.52
MAR	12.6	1.26E+07	1.60E+07	4.45
ABR	8.5	8.50E+06	1.34E+07	3.73
MAY	5.0	5.00E+06	9.55E+06	2.65
JUN	3.6	3.60E+06	7.52E+06	2.09
JUL	4.3	4.30E+06	8.56E+06	2.38
AGO	6.8	6.80E+06	1.14E+07	3.17
SEPT	10.1	1.01E+07	1.36E+07	3.79
OCT	13.6	1.36E+07	1.48E+07	4.12
NOV	16.9	1.69E+07	1.57E+07	4.37
DIC	19.0	1.90E+07	1.65E+07	4.59
Total	139.60	1.40E+08	1.65E+08	45.93

Tabla 7.9: Radiación solar para una superficie inclinada en 45° (Ht) en la ciudad de Puerto Montt, durante el año.

* H = Radiación horizontal, punto 7.3.1.2
 ** Ht = Radiación para la superficie inclinada en 45°.

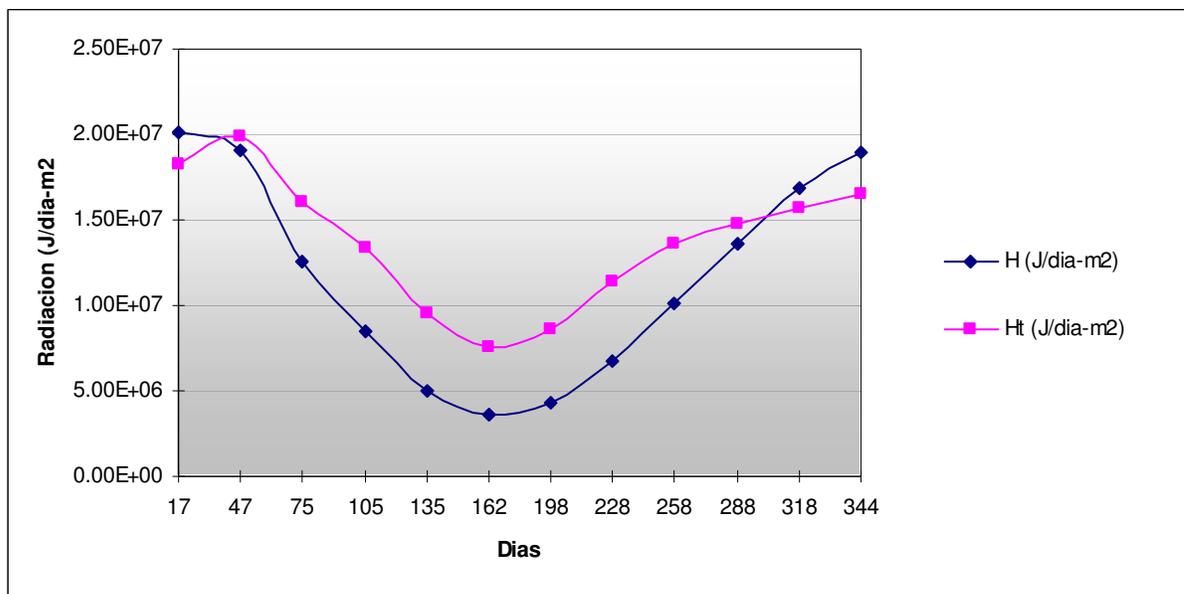


Gráfico 7.1: Radiación horizontal (H) y radiación para una superficie inclinada en 45° (Ht) en la ciudad de Puerto Montt, durante el año.

Para poder calcular la cobertura del sistema solar y su rendimiento en un período largo de tiempo se ocupa el método F-Chart (2.16.3). Éste método es aplicable a sistemas directos e indirectos con circulación forzada de líquido y almacenamiento separado y válido para el abastecimiento de A.C.S. de una vivienda. No es aplicable para sistemas de termosifón, así que

este se descarta como posible instalación. Es indispensable hacer éste cálculo para realizar una posterior evaluación económica.

7.2.1.1 Colector 1 (Modelo Itapúa) [Ref 14, 10/07/2009]

El primer colector analizado tiene las siguientes características, las que son necesarias para aplicar los métodos descritos y obtener los resultados buscados.

Colector solar	Itapúa	
Superficie unitaria	2.00	[m ²]
FRTAn	0.71	%
FRUL	6.44	[W / m ² K]

Tabla 7.10: Propiedades colector 1.

Usando las fórmulas del punto 2.16.3, se obtiene:

MES	DIAS	Segundos por mes	Ta * [°C]	(100-Ta)	Carga total [MJ/mes]	Corrección ACS, K2	Perd/Carga [1/m2]	Ht [J/ día m2]	Abs/Carga [1/m2]
E	31	2.68E+06	15.4	84.6	833	0.93	1.550	1.83E+07	0.458
F	28	2.42E+06	15.0	85	734	0.97	1.671	1.99E+07	0.511
M	31	2.68E+06	13.3	86.7	818	0.99	1.724	1.60E+07	0.409
A	30	2.59E+06	11.4	88.6	824	0.96	1.644	1.34E+07	0.329
M	31	2.68E+06	9.6	90.4	893	0.92	1.530	9.55E+06	0.223
J	30	2.59E+06	8.1	91.9	909	0.87	1.394	7.52E+06	0.167
J	31	2.68E+06	7.6	92.4	971	0.83	1.290	8.56E+06	0.184
A	31	2.68E+06	7.8	92.2	984	0.80	1.234	1.14E+07	0.243
S	30	2.59E+06	8.9	91.1	944	0.80	1.220	1.36E+07	0.292
O	31	2.68E+06	10.7	89.3	947	0.81	1.258	1.48E+07	0.327
N	30	2.59E+06	12.5	87.5	884	0.84	1.319	1.57E+07	0.359
D	31	2.68E+06	14.2	85.8	869	0.89	1.436	1.65E+07	0.397

Tabla 7.11: Datos para obtener valor f con colector modelo 1.

* Tabla 12, página 115, Energía solar en Arquitectura y Construcción, Pedro Sarmiento.

MES	área	2.0	m ²	Fracción energía solar [MJ/mes]
	D1	D2	f	
E	3.10	0.92	0.57	475
F	3.34	1.02	0.62	456
M	3.45	0.82	0.49	398
A	3.29	0.66	0.38	316
M	3.06	0.45	0.23	206
J	2.79	0.33	0.15	137
J	2.58	0.37	0.19	185
A	2.47	0.49	0.29	290
S	2.44	0.58	0.37	353
O	2.52	0.65	0.42	399
N	2.64	0.72	0.46	408
D	2.87	0.79	0.50	436
total				4058
f anual				0.38

Tabla 7.12: Valores D1, D2 y f mensuales para el colector modelo 1 con 2m² de superficie.

Usando los datos de la tabla 7.11, se puede hacer lo mismo que lo hecho para 2m² de área de colector para más superficies, así se repite para 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16 m², obteniendo para todas éstas el factor f que se resume en la siguiente tabla y gráfico:

Area [m2]	f anual
0.0	0.00
2.0	0.38
4.0	0.62
6.0	0.75
8.0	0.83
10.0	0.88
12.0	0.92
14.0	0.95
16.0	0.97

Tabla 7.13: Resumen de valores f para distintas superficies con colector modelo 1.

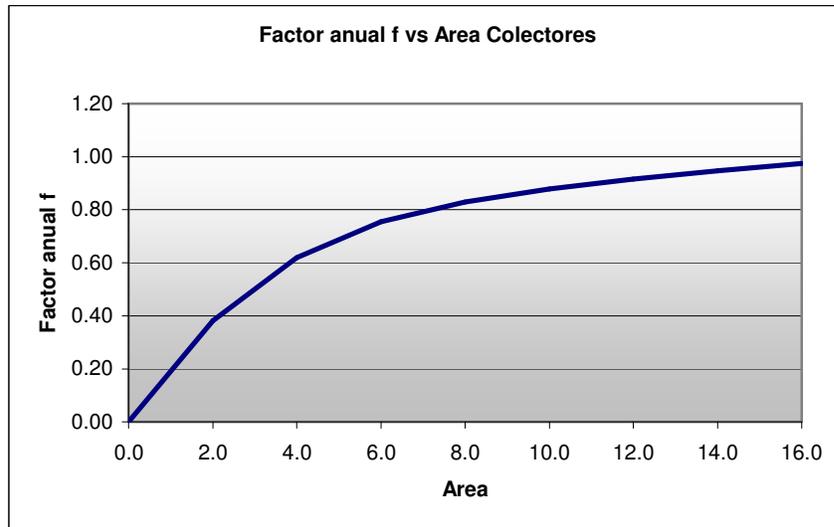


Gráfico 7.2: Factor anual (f) v/s área cubierta por colectores, para modelo colector 1.

7.2.1.2 Colector 2 (Modelo Magnum) [Ref 14, 10/07/2009]

El segundo colector pertenece a la misma empresa anterior, pero posee diferentes propiedades:

Colector solar	Magnum	
Superficie unitaria	2.00	[m ²]
FRTAn	0.79	%
FRUL	6.71	[W / m ² K]

Tabla 7.14: Propiedades colector 2.

Luego, al igual que en el caso anterior, usando las fórmulas del punto 2.16.3 se obtiene:

MES	DIAS	Segundos por mes	Ta * [°C]	(100-Ta)	Carga total [MJ/mes]	Corrección ACS, K2	Perd/Carga [1/m2]	Ht [J/ día m2]	Abs/Carga [1/m2]
E	31	2.68E+06	15.4	84.6	833	0.93	1.614	1.83E+07	0.511
F	28	2.42E+06	15.0	85	734	0.97	1.739	1.99E+07	0.570
M	31	2.68E+06	13.3	86.7	818	0.99	1.795	1.60E+07	0.456
A	30	2.59E+06	11.4	88.6	824	0.96	1.711	1.34E+07	0.368
M	31	2.68E+06	9.6	90.4	893	0.92	1.593	9.55E+06	0.249
J	30	2.59E+06	8.1	91.9	909	0.87	1.451	7.52E+06	0.187
J	31	2.68E+06	7.6	92.4	971	0.83	1.344	8.56E+06	0.205
A	31	2.68E+06	7.8	92.2	984	0.80	1.284	1.14E+07	0.271
S	30	2.59E+06	8.9	91.1	944	0.80	1.270	1.36E+07	0.325
O	31	2.68E+06	10.7	89.3	947	0.81	1.310	1.48E+07	0.365
N	30	2.59E+06	12.5	87.5	884	0.84	1.374	1.57E+07	0.401
D	31	2.68E+06	14.2	85.8	869	0.89	1.495	1.65E+07	0.443

Tabla 7.15: Datos para obtener valor f con colector modelo 2.
 * Tabla 12, página 115, Energía solar en Arquitectura y Construcción, Pedro Sarmiento.

MES	área	2.0	m ²	Fracción energía solar [MJ/mes]
	D1	D2	f	
E	3.23	1.02	0.63	523
F	3.48	1.14	0.68	500
M	3.59	0.91	0.54	442
A	3.42	0.74	0.43	355
M	3.19	0.50	0.27	237
J	2.90	0.37	0.18	161
J	2.69	0.41	0.22	215
A	2.57	0.54	0.33	328
S	2.54	0.65	0.42	395
O	2.62	0.73	0.47	446
N	2.75	0.80	0.51	454
D	2.99	0.89	0.56	483
total				4540
f anual				0.43

Tabla 7.16: Valores D1, D2 y f mensuales para el colector modelo 2 con 2m² de superficie.

Usando los datos de la tabla 7.15, se puede hacer lo mismo que lo hecho para 2m² de área de colector para más superficies, así se repite para 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16 m², obteniendo para todas éstas el factor f que se resume en la siguiente tabla y gráfico:

Área [m ²]	f anual
0.0	0.00
2.0	0.43
4.0	0.68
6.0	0.80
8.0	0.87
10.0	0.91
12.0	0.94
14.0	0.97
16.0	0.99

Tabla 7.17: Resumen de valores f para distintas superficies con colector modelo 2.

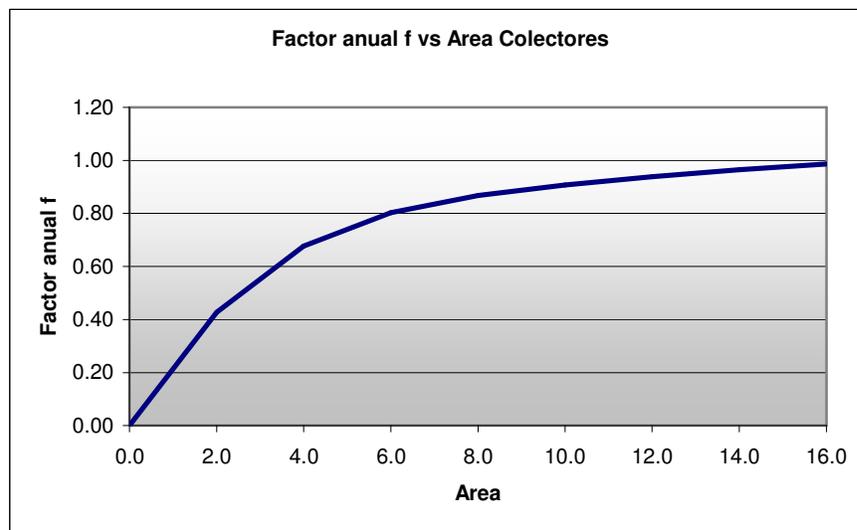


Gráfico 7.3: Factor anual (f) v/s área cubierta por colectores, para modelo colector 2.

La captación de energía solar para solventar el consumo de A.C.S. tiene que ser apoyado mediante otro sistema, ya que como se vio, la energía proveniente del sol no alcanza a satisfacer el 100% de la demanda energética para esta labor. Se proponen 2 sistemas de apoyo: primero mediante calderas de condensación y segundo con bombas de calor.

El objetivo de una instalación de colectores solares es conseguir la sustitución máxima de combustible a través del aporte solar. Esto se obtiene con: una alta cobertura solar y con el menor consumo energético de apoyo en verano. Existe una cobertura solar recomendada para instalaciones solares de calentamiento de aguas sanitarias. Un consenso generalizado entre empresas del sector es tal que los m^2 de captadores recomendado se alcanzan cuando en alguno de los meses de verano se logra una cobertura solar cercana al 100%. El profesor Josef Finger (Ingeniero Civil Mecánico y activo asesor en diversos proyectos de energía solar para calentamiento de aguas sanitarias, Seminario Camchal, 24 al 27 de Noviembre del 2008, "Uso activo y pasivo de la Energía Solar Térmica"), recomienda para la zona sur una cobertura solar anual entre 50-60 % para cumplir los siguientes objetivos: cubrir el mayor porcentaje posible de la demanda, minimizar excedentes de energía (sobrecalentamiento) y minimizar los costos de inversión del sistema solar. En el desarrollo del trabajo se optará por seguir estas recomendaciones.

Siguiendo el criterio de diseño anteriormente expuesto, el diseño de los colectores solares queda de la siguiente forma:

Diseño para colector modelo 1:

Las siguientes coberturas se alcanzan con 4 y 6 m^2 de superficie de colectores solares.

MES	4,0		m^2 f	Fracción energía solar [MJ/mes]
	D1	D2		
E	6,20	1,83	0,86	718
F	6,68	2,04	0,91	667
M	6,89	1,63	0,76	620
A	6,57	1,32	0,63	519
M	6,12	0,89	0,41	365
J	5,58	0,67	0,28	253
J	5,16	0,74	0,35	336
A	4,93	0,97	0,51	502
S	4,88	1,17	0,63	592
O	5,03	1,31	0,69	656
N	5,28	1,44	0,74	657
D	5,74	1,59	0,79	685
total				6571
f anual				0,62

MES	6,0		m^2 f	Fracción energía solar [MJ/mes]
	D1	D2		
E	9,30	2,75	0,98	813
F	10,02	3,06	1,00	734
M	10,34	2,45	0,89	725
A	9,86	1,98	0,78	640
M	9,18	1,34	0,55	487
J	8,36	1,00	0,39	354
J	7,74	1,10	0,47	457
A	7,40	1,46	0,66	651
S	7,32	1,75	0,79	743
O	7,55	1,96	0,85	805
N	7,92	2,16	0,89	790
D	8,61	2,38	0,93	804
total				8004
f anual				0,75

Tabla 7.18: Valores D1, D2 y f mensuales para el colector modelo 1 con 4 y 6 m^2 de superficie.

Se elige la opción de 4 m² de superficie de colector. Las razones son: El distribuidor entrega los colectores individuales con una superficie de 2 m², por lo que son superficies pares, la proporción de cobertura solar anual alcanzada es de 62%, y además la proporción de superficie recomendada en el sur del país es de 0,9-1 con respecto a un habitante de la vivienda (Josef Finger, Seminario Camchal, 24 al 27 de Noviembre del 2008, "Uso activo y pasivo de la Energía Solar Térmica").

Diseño para colector modelo 2:

Las siguientes coberturas se alcanzan con 4 y 6 m² de superficie de colectores solares

MES	área 4,0		m ²	Fracción energía solar [MJ/mes]
	D1	D2	f	
E	6,46	2,04	0,92	765
F	6,96	2,28	0,96	705
M	7,18	1,82	0,82	668
A	6,85	1,47	0,69	568
M	6,38	1,00	0,46	412
J	5,81	0,75	0,32	294
J	5,38	0,82	0,39	382
A	5,14	1,08	0,57	557
S	5,08	1,30	0,69	649
O	5,24	1,46	0,75	714
N	5,50	1,60	0,80	712
D	5,98	1,77	0,85	738
total				7165
f anual				0,68

MES	área 6,0		m ²	Fracción energía solar [MJ/mes]
	D1	D2	f	
E	9,69	3,06	1,00	833
F	10,44	3,41	1,00	734
M	10,77	2,73	0,93	760
A	10,27	2,20	0,83	684
M	9,56	1,49	0,60	540
J	8,71	1,12	0,44	404
J	8,06	1,23	0,53	513
A	7,71	1,62	0,72	710
S	7,62	1,95	0,84	797
O	7,86	2,18	0,90	856
N	8,25	2,40	0,94	833
D	8,97	2,65	0,97	842
total				8505
f anual				0,80

Tabla 7.19: Valores D1, D2 y f mensuales para el colector modelo 2 con 4 y 6 m² de superficie.

Por las mismas razones que para el colector modelo 1, se escoge una superficie de 4 m² de colectores solares.

7.2.2 Sistema de Apoyo 1 mediante Calderas de Condensación. [Ref 17]

Se escoge este sistema de apoyo debido a su bajo impacto ambiental y gran rendimiento. Como combustible ocupan ya sea gas natural o GLP, como se mencionó anteriormente, en la zona de Puerto Montt no existen redes de distribución de gas natural, así que sólo resta ocupar

GLP como combustible. Los rendimientos de las calderas de condensación, andan en el rango 100 a 110 %, además reducen las emisiones de gases nocivos y reducen la temperatura final de los gases de combustión.

Como alternativa se escoge el modelo BAXI HT330, con funciones para A.C.S. y calefacción de la vivienda, modelo comercializado por la empresa ANWO.

Caldera de Condensación BAXI HT330		
Descripción	Unidad	Valor
Potencia Máxima A.C.S.	kW	33
Potencia máxima calefacción 80/60 °C	kW	28
Potencia máxima calefacción 50/30 °C	kW	30.3
Potencia reducida calefacción 80/60 °C	kW	9.4
Potencia reducida calefacción 50/30 °C	kW	10.2
Eficiencia Promedio (Din 4702-TB)	%	109.8
Eficiencia nominal 80/60 °C	%	97.6
Eficiencia nominal 50/30 °C	%	105
Eficiencia a 30%	%	107.3
Mínima temperatura de operación	°C	-5
Rango temperatura agua calefaccion	°C	25-80
Rango temperatura A.C.S.	°C	35-60
Producción continua A.C.S.	l/min	18.9
Tipo de gas		GN/GLP

Tabla 7.20: Características Caldera de Condensación modelo BAXI HT330.

7.2.3 Sistema de Apoyo 2 mediante Bombas de Calor. [Ref 18]

Para esta función se escogerá una bomba de calor interior aire-agua modelo LIK 8ME, producto comercializado por la empresa ENERFICAZ. Al igual que la caldera de condensación cumple la función de calentamiento de aguas sanitarias y de calefacción de la vivienda.

Bomba de Calor aire/agua LIK 8ME		
Descripción	Unidad	Valor
Temperatura de ida max para calentar	°C	58
Potencia calorífica / coef de rendimiento para A-7/W35*	kW/-	5.80 / 2.70
Potencia calorífica / coef de rendimiento para A+2/W35*	kW/-	7.50 / 3.30
Potencia calorífica / coef de rendimiento para A+7/W35*	kW/-	9.30 / 3.90
Potencia calorífica / coef de rendimiento para A+10/W35*	kW/-	9.80 / 4.10
Temperaturas límites de funcionamiento de aire	°C	-25 hasta 30
Caudal de aire	m ³ /h	2500
Temperatura ida/retorno agua de caldeo	°C	hasta 58 / desde 18

Tabla 7.21: Características Bomba de Calor aire/agua modelo LIK 8ME.

* Características de tamaño y capacidad de rendimiento de la instalación según Norma EN255 o EN14511. Significa, por ejemplo: A2/W35: temperatura exterior 2 °C y temperatura agua de caldeo 35 °C. También se considera la bomba de circulación de calentamiento integrada. El coeficiente de rendimiento es la relación entre la potencia térmica cedida por la bomba de calor y la potencia eléctrica absorbida.

Se considera una bomba de calor de baja temperatura, esto depende de la temperatura de agua de ida. Si la temperatura de ida requerida es inferior a 55 °C, no hacen falta medidas adicionales y se consideran bombas de calor de baja temperatura [página 12, Ref. 23].

7.3 CUANTIFICACIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA CON LAS MEJORAS PROPUESTAS DE AISLACIÓN TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE.

Teniendo presente todos los datos y soluciones especificados en el punto 6.1.2., se escogieron las siguientes alternativas para mejorar el consumo energético de las viviendas.

- **Alternativa 1:** Reemplazo de los muros originales (Caso Base) por muros flat.

Se reemplazan los muros originales por muros flat, especificados en el punto 6.2.1.1 y que aportan el siguiente valor de transmitancia térmica al elemento muro de los modelos.

Muro Flat				
Material	Espesor (cm)	Conductividad [W / m °K]	e/K [m ² °K / W]	U [W / m ² °K]
Poliestireno exp	5.5	0.037	1.49	0.31
Hormigón	14	1.63	0.09	
Poliestireno exp	5.5	0.037	1.49	
Total			3.06	

Tabla 7.22: Transmitancia térmica de elemento muro usando la primera propuesta de solución.

- **Alternativa 2:** Reemplazo de los muros originales (Caso Base) por muros de hormigón celular más aplicación de sistema EIFS en ellos.

Se reemplazan los muros originales por muros de hormigón celular que además poseen instalados sistema EIFS. Aportan el siguiente valor de transmitancia térmica al elemento muro de los modelos.

Muro Hormigón Celular más sistema EIFS				
Material	Espesor (cm)	Conductividad [W / m °K]	e/K [m ² °K / W]	U [W / m ² °K]
Hormigón Celular	20	0.16	1.25	0.36
Poliestireno Exp	5	0.036	1.39	
Total			2.64	

Tabla 7.23: Transmitancia térmica de elemento muro usando la segunda propuesta de solución.

- **Alternativa 3:** Aplicación de sistema EIFS en muros originales (Caso Base).

Se le aplica EIFS a los muros del caso base, entregando la siguiente transmitancia térmica al elemento muro de los modelos.

Muro 1				
Material	Espesor (cm)	Conductividad [W / m °K]	e/K [m ² °K / W]	U [W / m ² °K]
Volcanita	1.3	0.24	0.05	0.32
Lana de vidrio	4	0.039	1.03	
Aislapol	1.5	0.038	0.39	
OSB	1.1	0.106	0.10	
Siding	0.2	0.16	0.01	
Poliestireno Exp	5	0.036	1.39	
Total			2.98	

Tabla 7.24: Transmitancia térmica de elemento muro usando la tercera propuesta de solución.

- **Alternativa 4:** Aplicación de sistema EIFS en techumbre original (Caso Base).

Se le aplica EIFS (pero con una capa de poliestireno expandido de 6cm de espesor) a la techumbre del caso base, entregando la siguiente transmitancia térmica al elemento techumbre de los modelos.

Techo 1				
Material	Espesor (cm)	Conductividad [W / m °K]	e/K [m ² °K / W]	U [W / m ² °K]
Volcanita	1	0.24	0.04	0.17
Lana de vidrio	14	0.039	3.59	
Aislapol	1.5	0.038	0.39	
OSB	1.1	0.106	0.10	
Cubierta metálica	0.06	58	0.00	
Poliestireno Exp	6	0.036	1.67	
Total			5.80	

Tabla 7.25: Transmitancia térmica de elemento techumbre usando la cuarta propuesta de solución.

- **Alternativa 5:** Reemplazo de elementos de piso por piso losa monoplac.

Se reemplaza el sistema de piso (incluido el aislamiento perimetral) del caso base por un piso losa Monoplac sobre terreno, especificado en el punto X, entregando la siguiente transmitancia térmica lineal al elemento piso de los modelos.

Piso contra terreno Monoplac	
Seleccione aislacion del piso	Ψ (W/mK)
Piso aislado	1.0

Tabla 7.26: Transmitancia térmica lineal de elemento piso usando la quinta propuesta de solución.

- **Alternativa 6:** Reemplazo de ventanas y cristales originales (Caso Base) por sistema DVH con una cara de cristal Low-E.

Todas las ventanas de las viviendas se reemplazan por ventanas DVH con una cara con cristal Low-E, cambiando su respectivo factor solar y valor de transmitancia térmica.

- **Alternativa 7:** Reemplazo de ventanas y cristales originales (Caso Base) por sistema DVH con una cara de cristal Solar-E.

Todas las ventanas de las viviendas se reemplazan por ventanas DVH con una cara con cristal Solar-E, cambiando su respectivo coeficiente de sombra y valor de transmitancia térmica.

En las siguientes tablas se resumen los resultados obtenidos usando las alternativas en cada vivienda, en negrita se muestra el mayor valor de demanda energética de calefacción entre los resultados obtenidos a través de planillas con cálculos manuales y del software CCTE.

Demanda energética anual de calefacción Vivienda 1 [kWh/m2 anual]					
Alternativa	Permanente	% de ahorro c/r al Caso Base	Dinámico	% de ahorro c/r al Caso Base	Diferencia entre permanente y dinámico [%]
Caso Base	106		95,3		11,23%
1	90	15,1%	81,7	14,3%	10,16%
2	93	12,3%	84,1	11,8%	10,58%
3	90	15,1%	82,7	13,2%	8,83%
4	105	0,9%	93,4	2,0%	12,42%
5	103	2,8%	96,3	-1,0%	6,96%
6	97	8,5%	87,2	8,5%	11,24%
7	103	2,8%	90,8	4,7%	13,44%

Tabla 7.27: Demanda energética anual de calefacción de la vivienda 1 aplicando en ella las diferentes alternativas propuestas de mejoramiento de aislación térmica.

Demanda energética anual de calefacción Vivienda 2 [kWh/m2 anual]					
Alternativa	Permanente	% de ahorro c/r al Caso Base	Dinámico	% de ahorro c/r al Caso Base	Diferencia entre permanente y dinámico [%]
Caso Base	122		107,9		13,07%
1	101	17,2%	88,6	17,9%	14,00%
2	104	14,8%	90,3	16,3%	15,17%
3	101	17,2%	89,9	16,7%	12,35%
4	119	2,5%	106,3	1,5%	11,95%
5	117	4,1%	106,4	1,4%	9,96%
6	111	9,0%	97	10,1%	14,43%
7	119	2,5%	101,1	6,3%	17,71%

Tabla 7.28: Demanda energética anual de calefacción de la vivienda 2 aplicando en ella las diferentes alternativas propuestas de mejoramiento de aislación térmica.

Demanda energética anual de calefacción Vivienda 3 [kWh/m2 anual]					
Alternativa	Permanente	% de ahorro c/r al Caso Base	Dinámico	% de ahorro c/r al Caso Base	Diferencia entre permanente y dinámico [%]
Caso Base	130		112,6		15,45%
1	111	14,6%	97,6	13,3%	13,73%
2	114	12,3%	100,5	10,7%	13,43%
3	111	14,6%	98,8	12,3%	12,35%
4	128	1,5%	111,1	1,3%	15,21%
5	126	3,1%	114,6	-1,8%	9,95%
6	100	23,1%	91,3	18,9%	9,53%
7	107	17,7%	94,5	16,1%	13,23%

Tabla 7.29: Demanda energética anual de calefacción de la vivienda 3 aplicando en ella las diferentes alternativas propuestas de mejoramiento de aislación térmica.

Viendo los resultados, es conveniente confeccionar una solución combinada, esto se va a hacer utilizando las 2 que aportan mayor porcentaje de ahorro con respecto al caso base, que son la alternativa 1 y la 6. O sea, se le reemplazarán los muros del caso base por muros flat y además se reemplazarán las ventanas por un sistema de ventanas DVH con una cara con cristal Low-E. Se obtienen los siguientes resultados de demanda energética anual de calefacción para cada vivienda.

Demanda energética anual de calefacción [kWh/m2 anual]						
Vivienda	Alternativa	Permanente	% de ahorro c/r al Caso Base	Dinámico	% de ahorro c/r al Caso Base	Diferencia entre permanente y dinámico [%]
1	8	80	24,5%	73,4	23,0%	8,99%
2	8	90	26,2%	80,2	25,7%	12,22%
3	8	82	36,9%	75,4	33,0%	8,75%

Tabla 7.30: Demanda energética anual de calefacción para cada vivienda aplicando solución combinada.

Se pueden estimar como aceptables los rangos de los valores indicados en las tablas. El porcentaje de diferencia entre los regímenes permanente y dinámico fluctúa alrededor del 10 al 14% más o menos, lo cual es aceptable y esperable. También importante era el porcentaje de variación entre las alternativas y el caso base para cada régimen, estos sí se esperaban cercanos, y

así es como resultaron, bastante parecidos, por lo que para la posterior evaluación económica se tomará en cuenta el valor menor entre ambos, para realizar un examen más conservador.

Una diferencia entre los métodos ocupados, aparte de todas las que conllevan por naturaleza, es que el software no pregunta por números de habitantes, sino que aplica calor latente y sensible por m², entonces ve el aporte de las personas por superficie y no por personas. Para una vivienda grande, estima que viven muchas personas y para una pequeña estima que viven pocas personas, algo que no sucede siempre en la realidad, es el caso de las viviendas en los extremos de la sociedad, las sociales y las de las personas con altos recursos económicos.

7.4 PRUEBAS HIGROTÉRMICAS.

7.4.1 Determinación de la Permeabilidad al Vapor de agua de algunos materiales.

[Ref 30]

El ensayo consistió en ensayar 3 materiales diferentes para lograr determinar su permeabilidad al vapor de agua, según la norma chilena NCh 2457.Of2001. La cual es la norma chilena vigente para lograr diagnosticar como se comporta el material de construcción frente al paso de vapor de agua a través de él. Los materiales ensayados corresponde a: I – Lámina de policarbonato, II – Placa de yeso cartón y III – Película de polietileno. Las 3 muestras representan a materiales homogéneos en término de distribución de masa, ya que su densidad es la misma en toda el área.

La norma establece 2 métodos de ensayo: que son el método húmedo y el método seco. Por disponibilidad de materiales y elementos, se realizaron las pruebas siguiendo el método seco establecido en la norma. Éste procedimiento consiste en colocar un desecante dentro de un recipiente, y sobre su boca la muestra del material, sellándolo por los bordes. Luego, se coloca el conjunto dentro de una cámara de ensayo especial, con condiciones ambientales definidas y controladas. Existen 4 tipos de condiciones ambientales mencionadas en la norma en que se puede realizar el ensayo, se optó por la primera, ya que es la que generalmente se ocupa.

Símbolo	Temperatura [°C]	Humedad relativa, %, en lado seco	Humedad relativa, %, en lado húmedo
23 - 0/50	23 ± 0.5	0 a 3	47 a 53

Tabla 7.31: Condiciones ambientales para el ensayo de permeabilidad de vapor de agua.

Aparatos

- Recipiente de ensayo: Se usó un recipiente de metal, material inerte e impermeable al vapor o al agua. De forma cuadrada y liviano. Se muestran las dimensiones en la figura.

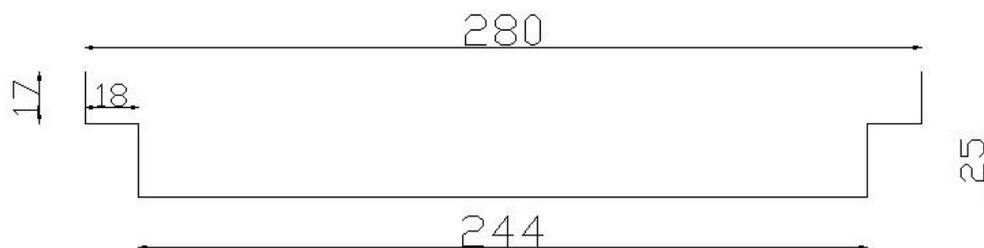


Figura 7.11: Dimensiones del recipiente para ensayos (en milímetros).

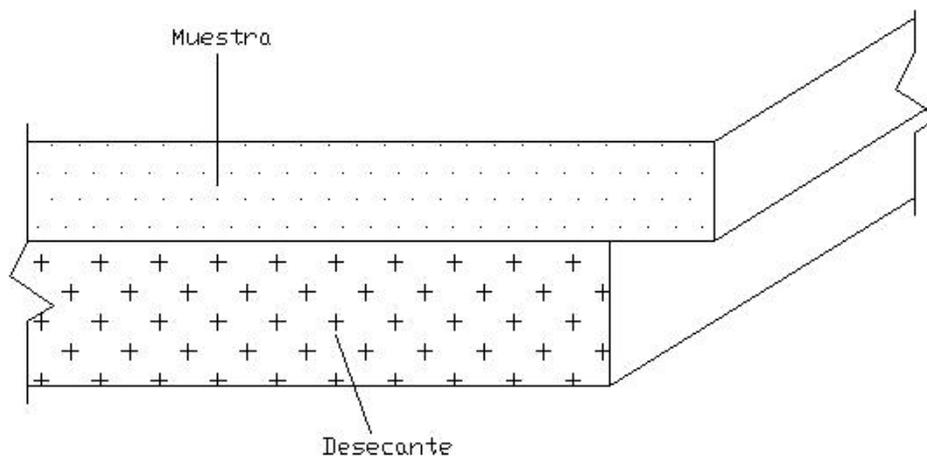


Figura 7.12: Esquema del conjunto recipiente más muestra.

- Cámara de ensayo: La cámara ocupada posee instrumentos de controles de temperatura y humedad relativa, las que se ajustaron a las condiciones ideales mencionadas anteriormente. El aire puede circular para mantener condiciones uniformes en toda el área. Para mantener humedad relativa constante se dispone de vasijas con agua, además de un ventilador a una velocidad adecuada para el mantenimiento de las condiciones. Ésta cámara se encuentra ubicada en las dependencias del departamento de la unidad de incendio, en la sección de habitabilidad y edificación, IDIEM.
- Balanza analítica o de precisión: Es una balanza analítica ubicada en las dependencias del IDIEM, la cual posee una sensibilidad que permite determinar una cantidad inferior al 1% del cambio de peso experimentado por las probetas, durante el período que llega a régimen estacionario, ya que posee una resolución de 0,001 g.

Materiales y Reactivos

- Desecantes: para mantener la humedad requerida es necesario ocupar un desecante el que se coloca dentro del recipiente. Se puede ocupar: cloruro de calcio, sílica gel, cloruro de potasio, nitrato de potasio, entre otros. Para esta prueba se usó cloruro de calcio (CaCl_2).
- Selladores: es necesario para poder sellar el borde de la muestra con la boca del recipiente, y así evitar traspase humedad por zonas que no sean de la muestra. Este es ser altamente resistente al paso de vapor de agua y además no pierde ni gana masa, hacia o desde la atmósfera, es una cantidad que podría afectar en más del 2%. Se ocupó silicona.

Procedimiento

- Se preparan las probetas y se coloca desecante en el interior de él, hasta alcanzar una altura máxima de 6mm respecto del borde superior, registrando su masa en la balanza analítica.
- Se coloca la muestra en la parte superior y se sella, llenando todos los posibles huecos entre la muestra y el recipiente.

- Se pesa el conjunto, se registra la hora en que se realiza y las condiciones de la cámara: temperatura y humedad.
- Se pesan con una frecuencia de 24 h, hasta que la masa se mantenga constante en el tiempo (al menos durante 3 mediciones).
- Se registra la hora en que se hacen las pesadas y se trata de mantener el menos tiempo posible fuera de la cámara.

Normas extranjeras

La norma chilena hace referencia a la norma ASTM E96-95 "*Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*", entre otras. En esta norma estadounidense se establecen los mismos 2 métodos: seco y húmedo, con condiciones ambientales similares. La humedad en la cámara de ensayo debe ser de $50 \pm 2\%$ (caso chileno $50 \pm 3\%$) y la temperatura puede ser de 23 ± 1 °C, pero la recomendada es de 32 °C.

En cuanto a aparatos y materiales las normas presentan las mismas características, pidiendo propiedades iguales para: el recipiente, el sellador, el desecante (en la norma ASTM sale sólo el cloruro de calcio, no así en la chilena que aparecen varios más), la balanza y la cámara de ensayo, en el caso del método seco. La manera de colocar la muestra en el recipiente y sellar las juntas, para evitar el paso de vapor hacia dentro o hacia fuera, también es la misma en las 2 normas.

Procedimiento para el método seco, según ASTM E96-00.

- Se coloca desecante en el interior de él (previamente secado a 200°C), hasta alcanzar una altura máxima de 6mm respecto del borde superior.
- Se coloca la muestra al recipiente y se sella, luego se coloca en la cámara de ensayo, pesando el conjunto antes de introducirlo.

- Se pesa el conjunto periódicamente, de manera de obtener al menos 8 ó 10 datos. Si se efectúan las pesadas cada 24 horas, los registros se permiten que estén dentro un rango de 15 minutos (al igual que la norma chilena).
- Se termina el ensayo o se cambia el desecante antes que el agua adherida al desecante exceda el 10% de su peso inicial.

Cálculos

Las 2 normas definen procedimientos de análisis numérico iguales, para calcular el grado de transmisión de vapor de agua (TVA), la permeancia (PR), la permeabilidad al vapor de agua (P) y la resistencia al vapor de agua (R), definidos anteriormente en el punto 2.11.

Resultados del ensayo

El ensayo se realizó de la siguiente forma, para mantener las restricciones y exigencias que dicta la norma NCh 2457. La balanza electrónica se encuentra en otro sector del edificio IDIEM, por lo que fue necesario transportar las probetas desde una habitación a otra para poder medir su peso. El transporte fue hecho usando una probeta especial, la cual mantenía las muestras lo más alejado posible de las condiciones ambientales. Luego se pesaban y se devolvían lo más rápido posible a la cámara de ensayo.

La norma hace hincapié en presentar en el informe un gráfico que muestre el cambio de masa en función del tiempo transcurrido e indicar el coeficiente de transmisión de vapor de agua. Se muestran a continuación los resultados y gráficos obtenidos para cada material. El primer material corresponde a policarbonato, el segundo material yeso-cartón y el tercero es polietileno. La hora de la primera medición fue a las 17:40 del día 7 de julio, la cámara en el momento de colocar las probetas se encontraba con un 50% de humedad y una temperatura de 23°C.

Dimensiones Muestra 1	
Largo [m]	0,276
Ancho [m]	0,276
Espesor [m]	0,0042
Material	Polycarbonato
Peso [kg]	0,0474

Original Muestra 1	[kg]
Muestra + Recipiente + Sello	1,7951
Recipiente	0,8990
Desecante	0,7805

Tabla 7.32: Dimensiones y pesos originales de la muestra 1 (Polycarbonato).

Dimensiones muestra 2	
Largo [m]	0,276
Ancho [m]	0,276
Espesor [m]	0,0142
Material	Yeso Cartón
Peso [kg]	0,8294

Original	[kg]
Muestra + Recipiente + Sello	2,4440
Recipiente	0,9066
Desecante	0,6747

Tabla 7.33: Dimensiones y pesos originales de la muestra 2 (Yeso-cartón).

Dimensiones muestra 3	
Largo [m]	0,276
Ancho [m]	0,276
Espesor [m]	0,0003
Material	Polietileno
Peso [kg]	0,0219

Original	[kg]
Muestra + Recipiente + Sello	1,7702
Recipiente	0,9001
Desecante	0,8143

Tabla 7.34: Dimensiones y pesos originales de la muestra (Polietileno).

Los valores obtenidos para cada muestra son los siguientes, antes hay que decir que el ensayo duró desde el 7 de julio del 2009 al 14 de agosto del mismo año.

Datos	Valor
Período [hrs]	888
Area de la muestra [m ²]	0,0762
Cambio de masa total [g]	5,2800
Presión de Saturación [mmHg]	21,0680
Cálculos	
TVA [g / m ² *h]	0,0781
ΔP [mmHg]	10,5340
PR [g / m ² *h*mmHg]	0,0074
Permeabilidad [g / m*h*mmHg]	0,0000
Resistencia al Vapor de Agua [m ² *h*mmHg / g]	134,9555
Resistencia al Vapor de Agua [m ² *día*mmHg / g]	5,6231

Tabla 7.35: Resultados para muestra 1.

Datos	Valor
Período [hrs]	888
Area de la muestra [m ²]	0,0762
Cambio de masa total [g]	264,8100
Presión de Saturación [mmHg]	21,0680
Cálculos	
TVA [g / m ² *h]	3,9147
ΔP [mmHg]	10,5340
PR [g / m ² *h*mmHg]	0,3716
Permeabilidad [g / m*h*mmHg]	0,0053
Resistencia al Vapor de Agua [m ² *h*mmHg / g]	2,6909
Resistencia al Vapor de Agua [m ² *día*mmHg / g]	0,1121

Tabla 7.36: Resultados para muestra 2.

Datos	Valor
Período [hrs]	888
Area de la muestra [m ²]	0,0762
Cambio de masa total [g]	8,8900
Presión de Saturación [mmHg]	21,0680
Cálculos	
TVA [g / m ² *h]	0,1314
ΔP [mmHg]	10,5340
PR [g / m ² *h*mmHg]	0,0125
Permeabilidad [g / m*h*mmHg]	0,0000
Resistencia al Vapor de Agua [m ² *h*mmHg / g]	80,1535
Resistencia al Vapor de Agua [m ² *día*mmHg / g]	3,3397

Tabla 7.37: Resultados para muestra 3.

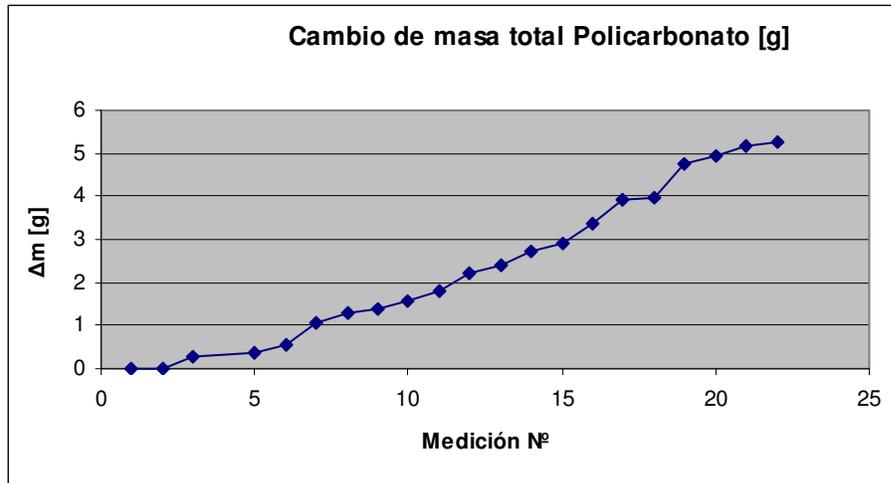


Gráfico 7.4: Cambio de masa total v/s número de mediciones para muestra 1.

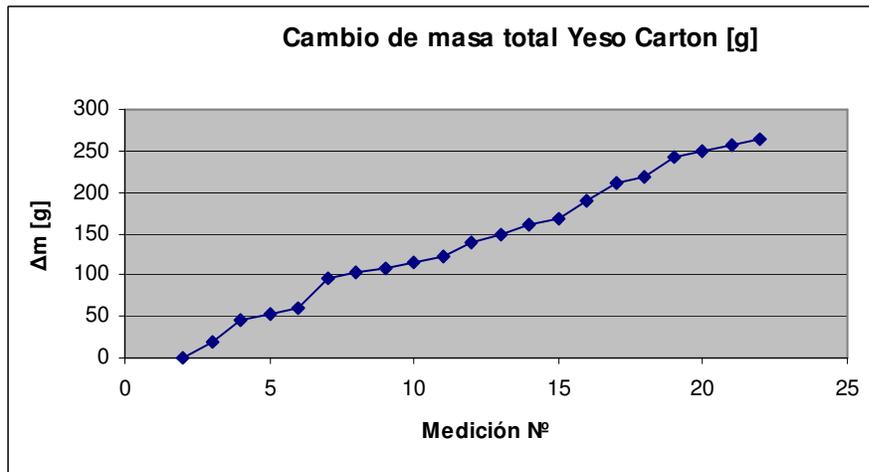


Gráfico 7.5: Cambio de masa total v/s número de mediciones para muestra 2.

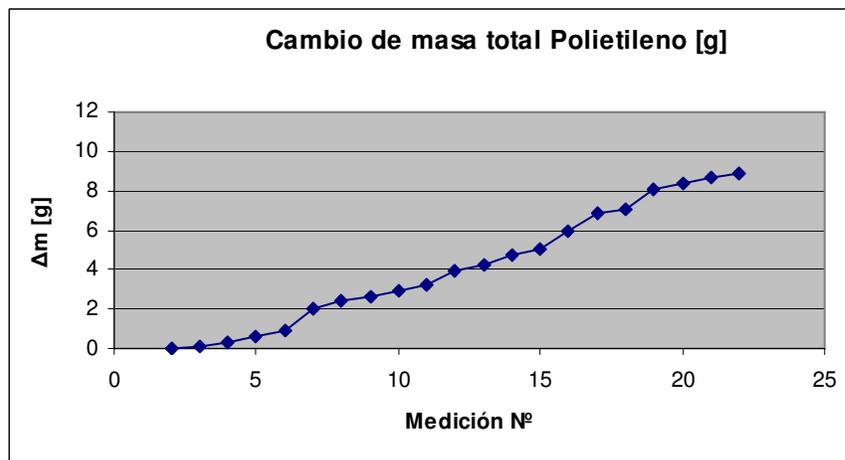


Gráfico 7.6: Cambio de masa total v/s número de mediciones para muestra 3

La norma, lo que hace, es medir la resistencia al paso de vapor de agua de los materiales, pero bajo ciertas condiciones específicas del ambiente (flujo de vapor de agua normal a las superficies paralelas de la muestra, temperatura y humedad específica en cada superficie). Lo que sucede en las viviendas, donde existen otras condiciones ambientales, es otra cosa, ya que el material se va a comportar diferente y no va a entregar los mismos resultados que en laboratorio. Los números aquí entregados sólo sirven de referencia para poder comparar los materiales y ver cual se comporta mejor bajo las mismas condiciones.

Hay que decir que la permeancia es una evaluación del comportamiento y no una propiedad del material, según la norma ASTM E96-00 "*Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*". Norma que reemplaza a la ASTM E96-95.

Se esperó hasta que los últimos 3 puntos en los gráficos 7.4, 7.5 y 7.6 fueran relativamente parecidos y formaran una línea de pendiente 0 (ese es el idea teórico) para detener el ensayo. Como era de esperar el yeso-cartón fue el que entregó los peores resultados en cuanto a resistencia al vapor de agua, no así con el que entregó mejores resultados, donde podía ser más difícil apreciar cual se comportaría mejor entre el policarbonato y el polietileno. Pero se comportó mejor el policarbonato, ya que entregó un valor de resistencia al vapor de agua mayor, esto se puede deber a las características del material (densidad, naturaleza, por ejemplo).

El espesor también juega un papel importante, como se muestra en la tabla 2.5, entre dos láminas de polietileno (mismo material) la que posee valor mayor de resistencia al vapor de agua (poco más del doble), fue la con mayor espesor (tiene el doble de espesor que la otra). En nuestro caso, la muestra de policarbonato tiene un espesor mucho mayor que la lámina de polietileno. Pero si nos fijamos en la muestra de yeso-cartón, tiene un espesor aún mayor, pero debido a su naturaleza deja pasar una cantidad de vapor de agua mucho mayor que la que permiten los otros materiales.

Finalmente, si queremos un material que permita lo menos posible el paso del vapor de agua hacia nuestra aislación (que es lo que se quiere colocando este elemento en el muro y viendo también en que tipo de ambiente se encuentra la vivienda), entre los tres ensayados, debiera ser con una capa de policarbonato de 4,2mm. Eso sí, si nos fijamos en los costos entre el

policarbonato y el polietileno, tendríamos que ver cual resulta económicamente más rentable, ya que poseen valores similares de resistencia al vapor de agua.

8.1 COSTOS DE LOS PRODUCTOS PROPUESTOS PARA LAS DISTINTAS SOLUCIONES.

Todas las cotizaciones de productos fueron obtenidas a través de información directa proporcionada por personal especializado de cada empresa, además todas las empresas son especialistas de la materia y como se mostró en el capítulo 6 presentan condiciones idóneas para cumplir el objetivo buscado.

8.1.1 Costos de equipos para A.C.S.

Los 2 primeros modelos pertenecen a la empresa Energía Solar Transsen Chile Ltda. y fueron obtenidos a través de información proporcionada por gente especializada. En la siguiente tabla se muestran los precios y también se incluyen los costos de los acumuladores, todos sin iva.

Colectores Planos	Precio \$	Termos Intercambio directo	Precio \$	Termos Doble chaqueta	Precio \$
Itapuá 2 mt2	246.960	100 Lts.	316.924	150 Lts.	384.727
Magnum 2 mt2	376.904	200 Lts.	389.000	200 Lts.	429.827

Tabla 8.1: Costos de Colectores modelo 1 y 2 y precios de acumuladores de agua.

[Ref 14, 10/07/2009]

Si se quiere utilizar un sistema indirecto, es preciso hacerlo con los termo-acumuladores doble chaqueta, por el contrario si se desea hacerlo a través de un sistema directo, habría que utilizar los termos de intercambio directo. Como se aprecia en la tabla, los sistemas indirectos son más caros, ya que se integra un intercambiador de calor, el que no es necesario para un sistema directo.

A estos precios hay que sumarle un 25% (del costo de colector más acumulador) extra para poder cubrir los precios de otros elementos (por ejemplo: válvulas reductoras de presión,

sistemas de sujeción de colectores, sistema de sujeción de termo tanque, válvulas, acuastato), además cubre los materiales necesarios de instalación. El sistema de cañería no viene incluido en los precios y la mano de obra tampoco.

8.1.2 Costos de soluciones de aislamiento térmico de la envolvente.

Ninguna de los siguientes precios posee costo por mano de obra, incluye sólo los insumos necesarios para la instalación del sistema.

Costos de soluciones para muros.

Para muro se mostraron 3 alternativas diferentes, la primera que consistía en muros Flat, perteneciente a la empresa Exacta. La segunda son muros de hormigón celular, como son muchas las empresas que fabrican hormigón celular se optó por utilizar el precio de una sola, la empresa Celcon S.A. Y la tercera se basa en sistema EIFS, que al igual que en el caso anterior se eligió el precio de una empresa, este caso es DrywallSystems LTDA.

- Muros Flat: El costo es de 2.28 [UF / m²] + IVA. [Ref 13, 02/07/2009]
- Muro de Hormigón Celular: 29.000 [\$ / m²] + IVA. [Ref 15, 02/07/2009]
- Fachada de muro con sistema EIFS: 1.10 [UF / m²] + IVA. [Ref 16, 14/07/2009]

Costos de soluciones para piso.

Como se mencionó en el capítulo 7, la alternativa escogida se basa en un sistema de piso de losa nervado, perteneciente a la empresa Monoplac Ltda.

El precio es de 1.4 [UF\m²] + IVA. [Ref 12, 20/07/2009]

Costos de soluciones para ventanas.

La alternativa radica en una ventana DVH con una cara con cristal Low-E o Solar-E, ambos con un espesor de 6mm. Son productos de la empresa Vidrios Lirquen S.A. y sus costos son:

Vidrio	Espesor [mm]	[\$m ²] + IVA
Low-e	6	13000
Solar-E	6	15800

Tabla 8.2: Precios de cristales Low-E y Solar-E.

[Ref 11, 15/07/2009]

A estos cristales hay que agregarle el costo por instalarlos en un DVH. Para esto se consultó a la empresa especializada en termopaneles de aluminio BASTRO Ltda. Por lo que hay que agregarle \$100.000 por m² para obtener el costo de un termopanel con la cara exterior con cristal Low-E o Solar-E.

8.2 EVALUACIONES ECONÓMICAS.

Para poder realizar la evaluación económica es necesario, en este caso, primero conocer el valor del combustible a comparar. Los sistemas de calefacción de las viviendas funcionan o con GLP o con leña, para efectos de la evaluación se ocupará como combustible GLP.

Con el fin de poder realizar esto, veamos el precio del GLP en los últimos 13 meses para la X región:

Mes	Precio [\$/kg]
mayo-08	884,2
junio-08	948,9
julio-08	1015,7
agosto-08	980,9
septiembre-08	986,3
octubre-08	994,2
noviembre-08	948,7
diciembre-08	863,8
enero-09	736,4
febrero-09	788,2
marzo-09	761,8
abril-09	741,8
mayo-09	741,8

Tabla 8.3: Precio del GLP en los últimos 13 meses para la X región en Puerto Montt.

[Ref 36]

Como referencia de precio por kg del GLP se usará un promedio de los meses transcurridos del presente año 2009.

Mes	Precio [\$/kg]
enero-09	736,4
febrero-09	788,2
marzo-09	761,8
abril-09	741,8
mayo-09	741,8
Promedio	754

Tabla 8.4: Promedio por Kg del GLP en los meses transcurridos del año 2009.

[Ref 36]

Ahora, es preciso conocer como se comportará a futuro el precio de este combustible. Se puede realizar una correlación entre el precio del GLP en Chile y el barril de petróleo (159 lts) en el mercado Norteamericano. Entre estos 2 factores existe una correlación de 0.88 [%], tomando como primer dato los precios de enero del año 2000. Con esto, se puede decir que las futuras fluctuaciones del precio del GLP estarán relacionadas con el comportamiento del precio del barril

de petróleo. Según la EIA (Energy Information Administration, Official Energy Statistics from the U.S. Government, www.eia.com) el barril de petróleo tendrá un alza por año (desde del 2007 al 2030) de 4,5%.

Año	US\$/barril
2010	91,08
2011	104,74
2012	118,35
2013	131,38
2014	145,80
2015	157,23
2016	166,33
2017	173,40
2018	178,69
2019	181,86
2020	184,60
2021	185,80
2022	187,20
2023	189,29
2024	190,84
2025	192,83
2026	194,41
2027	195,58
2028	197,20
2029	198,89
2030	200,42

Tabla 8.5: Precio del barril de petróleo proyectado hacia el futuro (www.eia.com, 3/7/2009).

Ya se conoce el futuro comportamiento del combustible y el precio actual, falta conocer la tasa de descuento a utilizar. Como se trata de viviendas privadas, hay que hacerse la pregunta ¿Qué haría una persona en vez de invertir ese dinero en mejoras de eficiencia energética (ya sea aislamiento de la envolvente o alternativas para A.C.S.) y recuperarlo en varios años, para poder obtener esas mismas ganancias que se obtienen con los ahorros energéticos, pero en la forma más segura posible? Como respuesta se puede citar, el costo de oportunidad de invertirlo en fondos mutuos. La tasa promedio de rentabilidad de los fondos mutuos más seguros es un 6,0%, se puede decir ahora que la tasa de descuento a usar sería de un 6,0%, pero la castigamos en un 2,0%, lo que resulta una tasa de descuento de 8,0%. Se está en condiciones, por lo tanto, de efectuar las evaluaciones para cada caso.

Se reproducirán 2 escenarios: uno pesimista con un aumento del combustible GLP de 4,5% y uno más optimista (desde el punto de vista del aumento del precio del combustible) con 0% de aumento del costo de combustible GLP.

Para la electricidad, que es el combustible de las bombas de calor se recreará el mejor escenario posible. Es demasiado complejo estimar valores futuros de la electricidad, ya que sufren variaciones debido al precio del dólar, a la cota de embalses (sequías por ejemplo los años 90-91, cuando aumenta considerablemente y luego vuelven a bajar), etc.

El precio real, finalmente el que se paga en viviendas (tarifa BT1, potencia < 10kW) sufre varios cargos, por distancia, energía adicional de invierno, etc. y por lo tanto es un valor aumentado con respecto al precio nudo. Para estimar el precio del kWh en Puerto Montt, se utilizará los precios que estipula la empresa SAESA, que es la encargada de distribuir la electricidad en la zona. En la siguiente tabla se muestran los precios de los últimos 12 meses. (www.sts.cl).

Mes	(\$/kWh)
Sep-08	144,81
Oct-08	145,535
Nov-08	146,048
Dic-08	148,099
Ene-09	148,357
Feb-09	146,821
Mar-09	146,058
Abr-09	145,497
May-09	144,705
Jun-09	151,547
Jul-09	136,163
Ago-09	135,997

Tabla 8.6: Precio del kWh del últimos 12 meses para Puerto Montt, según SAESA.

El promedio de estos valores es de 145 [\$/kWh], que es el valor que se utilizará como referencia en el desarrollo de las respectivas evaluaciones.

El porcentaje de aumento es lo más complicado de estimar, es un valor que sufre muchas variaciones, lo que lo hace muy complicado. Para esto, después de varios análisis se consultó a un experto en la materia para estimar el comportamiento futuro de la electricidad. *. El resultado del juicio de experto es que el precio de la tarifa de electricidad se va a mantener constante por lo menos los próximos 10 años y ahí en adelante pueda sufrir pequeños cambios. Esto debido a que entra en vigencia un nuevo sistema de licitación para la electricidad, donde se va a vender en grandes paquetes a las distribuidoras desde el 01/01/2010. Por lo que se recreará un escenario sin aumento del precio tarifa de la electricidad.

8.2.1 Evaluación económica de los sistemas para proporcionar A.C.S.

Ambos casos de colectores, se realizarán con un plazo a futuro de 20 años. Suficiente para cumplir con los requisitos de los métodos de dimensionado (f-chart). Se considerarán los costos de los productos con iva incluido. Las evaluaciones se efectuarán considerando implementar energía solar con respecto a dos sistemas de apoyo, caldera de condensación y bomba de calor, por lo que interesa la inversión del sistema solar. Igual se entregan los precios de los sistemas de apoyo de modo de referencia.

Sistema de apoyo 1: Considera una caldera de condensación que ocupa combustible GLP, con un rendimiento del 100% con respecto al PCI (según punto 7.2.2 y estado conservador). El precio de la bomba BAXI HT330 es de \$2.162.000 [Ref 17, 17/08/2009]. Para ambos modelos se usará un PCI del GLP de 11405 [kcal/kg]**. Los dimensionados de superficie de colectores solares están de acuerdo al punto 7.2.1.

- Colector Modelo 1, Itapúa.

Se supondrá para cada vivienda un consumo de 200 [lts/día] como se vio en el punto 6.7. Para el dimensionado efectuado se obtienen los siguientes resultados:

* El juicio experto se realizó con don Andrés Guzmán Clericus, Ingeniero Civil Electricista USACH, mención en sistemas eléctricos de potencia y Jefe de Proyectos de KAS Ingeniería, empresa enfocada en el sector eléctrico, cuyo objetivo es: actuar en las áreas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica; evaluaciones económicas y administraciones de proyectos. Activa asesora de empresas privadas y gubernamentales.

** Ministerios de Salud, RES 2063 promulgada el 26/01/2005

a) Caso pesimista, con un aumento de combustible de 4,5% anual.

Inversión inicial instalación solar	
Costo fijo	\$ 640.000
Costo de colector por m ²	\$ 220.412

Tabla 8.7: Inversión colector 1, modelo Itapúa.

Area colectores [m ²]	Fracción anual	Carga térmica [kWh/año]	Inversión	Año de recuperación	VAN	TIR
4,0	0,62	2947,11	\$ 1.521.648	12	-\$ 91.009	7.25%

Tabla 8.8: Evaluación económica de colector 1, modelo Itapúa con sistema de apoyo 1 y escenario pesimista.

Area colectores [m ²]	Fracción anual	Carga térmica [kWh/año]	Inversión	Costo Total GLP	Costo Total E. combinada
4,0	0,62	2947,11	\$ 1.521.648	\$ 1.990.125	\$ 3.511.773

Tabla 8.9: Resultados de colector 1 modelo Itapúa combinado con caldera de condensación y escenario pesimista.

b) Caso optimista, con 0% de aumento anual de combustible.

Area colectores [m ²]	Fracción anual	Carga térmica [kWh/año]	Inversión	Año de recuperación	VAN	TIR
4,0	0,62	2947,11	\$ 1.521.648	15	-\$ 470.450	3.10%

Tabla 8.10: Evaluación económica de colector 1, modelo Itapúa con sistema de apoyo 1 y escenario optimista.

Area colectores [m ²]	Fracción anual	Carga térmica [kWh/año]	Inversión	Costo Total GLP	Costo Total E. combinada
4,0	0,62	2947,11	\$ 1.521.648	\$ 1.268.750	\$ 2.790.398

Tabla 8.11: Resultados de colector 1 modelo Itapúa combinado con caldera de condensación y escenario optimista.

- **Colector Modelo 2, Magnum.**

Se supondrá para cada vivienda un consumo de 200 [lts/día] como se vio en el punto 6.7. Para el dimensionado efectuado se obtienen los siguientes resultados:

a) Caso pesimista, con un aumento de combustible de 4,5% anual.

Inversión inicial instalación solar	
Costo fijo	\$ 640.000
Costo de colector por m ²	\$ 188.452

Tabla 8.12: Inversión colector 2, modelo Magnum.

Area colectores [m ²]	Fracción anual	Carga térmica [kWh/año]	Inversión	Año de recuperación	VAN	TIR
4,0	0,68	2947,11	\$ 1.393.808	11	\$ 146.365	9.27%

Tabla 8.13: Evaluación económica de colector 2, modelo Magnum con sistema de apoyo y escenario pesimista.

Area colectores [m ²]	Fracción anual	Carga térmica [kWh/año]	Inversión	Costo Total GLP	Costo Total E. combinada
4,0	0,68	2947,11	\$ 1.393.808	\$ 3.301.451	\$ 4.695.259

Tabla 8.14: Resultados de colector 2 modelo Magnum combinado con caldera de condensación y escenario pesimista.

b) Caso optimista, con 0% de aumento anual de combustible.

Area colectores [m ²]	Fracción anual	Carga térmica [kWh/año]	Inversión	Año de recuperación	VAN	TIR
4,0	0,68	2947,11	\$ 1.393.808	13	-\$ 267.367	5.08%

Tabla 8.15: Evaluación económica de colector 2, modelo Magnum con sistema de apoyo 1 y escenario optimista.

Area colectores [m ²]	Fracción anual	Carga térmica [kWh/año]	Inversión	Costo Total GLP	Costo Total E. combinada
4,0	0,68	2947,11	\$ 1.393.808	\$ 1.082.318	\$ 2.476.126

Tabla 8.16: Resultados de colector 2 modelo Magnum combinado con caldera de condensación y escenario optimista.

Sistema de apoyo 2: Se considera una bomba de calor detallada en el punto 7.2.3. Se usará un potencia calorífica de 5,7 [kW] y un coeficiente de rendimiento de 2,70, por lo que la potencia eléctrica absorbida es de 2,15 [kW]. El precio de la bomba de calor aire/agua LIK 8ME es de \$5.497.440 [Ref 18, 22/07/2009].

- **Colector Modelo 1, Itapúa.**

a) Aumento del precio de la electricidad de 0,0% anual.

Area colectores [m ²]	Fracción anual	Carga térmica [kWh/año]	Inversión	Año de recuperación	VAN	TIR
4,0	0,62	2947,11	\$ 1.521.648	16	-\$ 517.571	2,55%

Tabla 8.17: Evaluación económica de colector 1, modelo Itapúa con sistema de apoyo 2.

Area colectores [m ²]	Fracción anual	Carga térmica [kWh/año]	Inversión	Costo Total Electricidad	Costo Total E. combinada
4,0	0,62	2947,11	\$ 1.521.648	\$ 3.252.968	\$ 4.774.616

Tabla 8.18: Resultados de colector 1 modelo Itapúa combinado con bomba de calor y escenario pesimista.

- **Colectores Modelo 2, Magnum.**

a) Aumento del precio de la electricidad de 0,0%% anual.

Area colectores [m ²]	Fracción anual	Carga térmica [kWh/año]	Inversión	Año de recuperación	VAN	TIR
4,0	0,68	2947,11	\$ 1.393.808	13	-\$ 318.910	4,47%

Tabla 8.19: Evaluación económica de colector 2, modelo Magnum con sistema de apoyo 2

Area colectores [m ²]	Fracción anual	Carga térmica [kWh/año]	Inversión	Costo Total Electricidad	Costo Total E. combinada
4,0	0,68	2947,11	\$ 1.393.808	\$ 2.774.970	\$ 4.168.778

Tabla 8.20: Resultados de colector 2 modelo Magnum combinado con bomba de calor.

8.2.2 Evaluación económica de las alternativas de aislamiento térmico de la envolvente de la vivienda.

Las inversiones que se realizarán para cada caso se considerarán con iva incluido (19%). Se recrean las viviendas con un sistema de calefacción basado en calderas de condensación con GLP como combustible y un rendimiento del 100% (según punto 7.2.2). Se considerará el porcentaje de ahorro menor de combustible (método más conservador) entre los regímenes permanente y dinámico obtenido en las tablas 7.25, 7.26 y 7.27 para la vivienda 1, 2 y 3, respectivamente. Con el caso base se hace lo mismo, la demanda [kWh] anual se hace con el valor mayor entre los regímenes permanente y dinámico.

Modelo de Vivienda	Demanda Térmica Base [kWh/año]
Modelo 1 Osorno	9546,20
Modelo 2 Chilco	8526,30
Modelo 3 Tenglo	9765,80

Tabla 8.21: Demanda térmica anual para calefacción del caso base para cada vivienda.

- **Alternativa 1:** Se analizará en un plazo de 20 años, con todos los demás datos previamente indicados.

Pesimista, aumento del combustible en un 4,5%				
Vivienda	Inversión [\$]	Año de recuperación	VAN	TIR
1	\$ 7.580.412	~	-\$ 6.033.300	Negativa
2	\$ 6.809.851	~	-\$ 5.319.818	Negativa
3	\$ 6.455.870	~	-\$ 4.992.058	Negativa
Optimista, 0% de aumento del combustible				
1	\$ 7.580.412	~	-\$ 6.317.062	Negativa
2	\$ 6.809.851	~	-\$ 5.603.579	Negativa
3	\$ 6.455.870	~	-\$ 5.275.820	Negativa

Tabla 8.22: Evaluación económica para alternativa 1 de aislamiento térmico.

- **Alternativa 2:**

Pesimista, aumento del combustible en un 4,5%				
Vivienda	Inversión [\$]	Año de recuperación	VAN	TIR
1	\$ 8.275.330	~	-\$ 6.849.051	Negativa
2	\$ 7.434.129	~	-\$ 6.070.161	Negativa
3	\$ 7.047.698	~	-\$ 5.712.354	Negativa
Optimista, 0% de aumento del combustible				
1	\$ 8.275.330	~	-\$ 7.083.204	Negativa
2	\$ 7.434.129	~	-\$ 6.304.314	Negativa
3	\$ 7.047.698	~	-\$ 5.946.507	Negativa

Tabla 8.23: Evaluación económica para alternativa 2 de aislamiento térmico.

- **Alternativa 3:**

Pesimista, aumento del combustible en un 4,5%				
Vivienda	Inversión [\$]	Año de recuperación	VAN	TIR
1	\$ 3.664.332	~	-\$ 2.579.608	Negativa
2	\$ 3.291.847	~	-\$ 2.234.714	Negativa
3	\$ 3.120.734	~	-\$ 2.076.277	Negativa
Optimista, 0% de aumento del combustible				
1	\$ 3.664.332	~	-\$ 2.813.761	Negativa
2	\$ 3.291.847	~	-\$ 2.468.867	Negativa
3	\$ 3.120.734	~	-\$ 2.310.430	Negativa

Tabla 8.24: Evaluación económica para alternativa 3 de aislamiento térmico.

No se realizó evaluación económica para las alternativas 4 y 5, ya que su porcentaje de ahorro es insignificante y no resulta útil desarrollarlas.

- **Alternativa 6:** Entre la alternativa 6 y 7, se elige la que represente un ahorro energético mayor, ésta resultó ser la alternativa 6, por lo que se efectúa la evaluación económica sólo para la alternativa 6 (cristales Low-E).

Pesimista, aumento del combustible en un 4,5%				
Vivienda	Inversión [\$]	Año de recuperación	VAN	TIR
1	\$ 2.293.900	~	-\$ 1.538.136	Negativa
2	\$ 1.942.470	~	-\$ 1.212.737	Negativa
3	\$ 1.561.660	~	-\$ 860.136	Negativa
Optimista, 0% de aumento del combustible				
1	\$ 2.293.900	~	-\$ 1.706.805	Negativa
2	\$ 1.942.470	~	-\$ 1.381.407	Negativa
3	\$ 1.561.660	~	-\$ 1.028.805	Negativa

Tabla 8.25: Evaluación económica para alternativa 6 de aislamiento térmico.

- **Alternativa Combinada:** De entre las alternativas de solución de muros y de ventanas, se escoge a las que produzcan un mayor ahorro energético y se analizan económicamente. Esta alternativa combinada es la suma de los ahorros producidos por las alternativa 1 (muros Flat) y alternativa 6 (ventanas DVH con cristal Low-E).

Pesimista, aumento del combustible en un 4,5%				
Vivienda	Inversión [\$]	Año de recuperación	VAN	TIR
1	\$ 9.931.152	~	-\$ 6.868.729	Negativa
2	\$ 8.800.453	~	-\$ 5.821.785	Negativa
3	\$ 8.056.226	~	-\$ 5.132.687	Negativa
Optimista, 0% de aumento del combustible				
1	\$ 9.931.152	~	-\$ 7.538.628	Negativa
2	\$ 8.800.453	~	-\$ 6.491.684	Negativa
3	\$ 8.056.226	~	-\$ 5.802.585	Negativa

Tabla 8.26: Evaluación económica para alternativa combinada de aislamiento térmico.

Para realizar una comparación, se muestra en la siguiente tabla los resultados de una evaluación económica en la implementación de algunas alternativas de mejoras de resistencia térmica de los elementos de la envolvente de las viviendas, con respecto a la vivienda que cumpla con los requisitos justos de la reglamentación térmica, valores entregados en las tablas 6.28, 6.30 y 6.32.

Aumento del GLP anual	Alternativa	Vivienda	Año Recuperación	VAN	TIR
4,50%	3	3	14	-695.413	5,03%
		2	14	-772.776	4,77%
		1	10	110.387	8,37%
0,00%		3	19	-1.327.127	0,94%
		2	19	-1.404.490	0,70%
		1	13	-898.236	4,20%
4,50%	6	3	6	1.433.847	17,58%
		2	7	1.078.100	14,09%
		1	8	868.827	12,30%
0,00%		3	7	604.722	13,24%
		2	8	218.768	9,60%
		1	9	7.174	8,05%
4,50%	Combinada	3	~	-4.371.195	Negativa
		2	~	-5.439.953	Negativa
		1	19	-4.971.548	0,37%
0,00%		3	~	-5.260.333	Negativa
		2	~	-6.219.784	Negativa
		1	~	-6.187.659	Negativa

Tabla 8.27: Evaluación económica de alternativas de mejoras de aislamiento térmico con respecto a una vivienda que cumpla justo con la reglamentación térmica en la zona.

Como las viviendas analizadas presentan una buena aislación para el sector donde se encuentran, no es rentable económicamente el aumento de resistencia térmica en su envolvente, ya que el ahorro alcanzado no es suficiente como para poder recuperar la inversión en el plazo de tiempo definido. Las razones son: alta inversión y ahorro energético no suficiente. No sucede esto con una vivienda que cumpla en forma precisa con los requisitos de la reglamentación térmica, donde se observa que las inversiones se recuperan en el plazo destinado con algunas alternativas. Por lo que para una vivienda sin aislación térmica de la envolvente, una inversión en este sentido se recuperará en menos tiempo, lo que la hace muy rentable desde el punto de vista económico.

El porcentaje de aumento de combustible es un factor demasiado importante para las evaluaciones realizadas, tanto para aislación de la envolvente como para sistemas de A.C.S. Es un factor difícil de estimar, pero se trató de obtener uno lo más cercano a la realidad. Los cambios producidos por la variación de este factor (entre 4,5 y 0,0%, para el caso del GLP) son tan grandes, que desde a poseer un proyecto realizable económicamente, con un aumento de combustible diferente se vuelve impracticable, condicionando el mejoramiento de la vivienda.

Por eso se recrean 2 escenarios, para poder tener una comparación de los efectos producidos por este factor.

La mayoría de las inversiones no se alcanzan a recuperar en el plazo de tiempo analizado, hay que otorgarles un tiempo futuro mayor, pero no es recomendable para una evaluación económica de una vivienda. Las mejoras de eficiencia energética requieren de una inversión alta, ya sea para aislamiento de la envolvente como para sistemas de calentamiento de aguas sanitarias, y eso se aprecia en las tablas anteriores.

Para optar por una de las alternativas estudiadas, es recomendable económicamente escoger una alternativa de A.C.S., ya que se alcanzan a recuperar en un período de tiempo razonable, siempre dependiendo de cómo se vaya a comportar el mercado de los combustibles a futuro. Pero viendo las tablas, se aprecia que sólo una alternativa es rentable económicamente con los supuestos hechos. Las otras no cumplen y aunque se recupera la inversión, son peores alternativas de negocios que el costo de oportunidad de invertir el dinero en fondos mutuos, como se especifica.

El principal objetivo que se pretende cumplir para alcanzar un confort climático en la vivienda es lograr aumentar la diferencia entre la temperatura interior y exterior, ya que las viviendas se encuentran en un ambiente frío (recordar que se encuentra en la Zona Sur Litoral clasificada por la NCh 1079 Of.2008 y que posee 2712 GD al año [°C] en base 18,3°C).

Esto se puede hacer, por ejemplo, aumentando la resistencia térmica de los elementos que forman la envolvente, ya sea: techumbre, piso, muros, ventanas y puertas. Se logra colocando más aislamiento térmico y evitando elementos que produzcan sombra sobre las viviendas en general.

También se recomienda, para reducir las pérdidas en invierno y las ganancias en verano, construir espacios tampones (espacios de temperatura intermedia) en la fachada sur y también invernaderos en la fachada norte. Las viviendas ya traen incorporado un entretecho, el que actúa como espacio tampón entre el exterior y el interior de la vivienda y se recomienda de igual manera, la construcción de sótanos como espacio tampón entre el interior y el suelo (aunque el costo de esto es elevado). Para poder proteger los materiales aislantes de la envolvente de la humedad, es útil la instalación de barreras de vapor de agua correctamente instaladas y con materiales que aseguren una buena labor.

Las superficies de ventanas comunes es aconsejable instalarlas mirando principalmente hacia el norte, luego al este y oeste y en último lugar hacia el sur, debido a la radiación solar que llega desde cada dirección (Tabla 6.14). Ojalá no tengan sombra, para poder aprovechar el soleamiento de las mañanas por el Este, del atardecer por el Oeste y durante todo el día por el Norte. Resulta ventajoso aumentar las ventanas (hacia el Norte, Este y Oeste) para recibir mayor radiación solar, pero hasta el límite de no perder más energía debido a la conductividad de los elementos.

Las pérdidas por ventilación, con respecto a la suma de las pérdidas totales son las segundas en magnitud, sin embargo son pérdidas que pueden evitarse. Los valores usados para estimar estas pérdidas son basándose en la recomendación de la Norma NCh 1960 (para el caso permanente) y de 1 renovación de aire por hora (para el caso dinámico), por lo que se pueden

disminuir de forma totalmente voluntaria. Como los vientos predominantes de la zona son del Norte y del Sur, es recomendable abrir las ventanas y puertas de esas direcciones para lograr una ventilación natural de la vivienda. Teniendo la superficie de ventana en esas direcciones y la velocidad del viento se puede estimar el caudal entrante y saliente de un espacio, luego con el volumen del espacio se puede lograr el valor de ACH/h deseado.

Uno de los valores más bajo de pérdidas térmicas se debe a pérdidas por infiltración de aire a través de ventanas y puertas de las viviendas. Las infiltraciones de aire por los muros y techumbre se consideran por lo escapes de aire que existen debido a las instalaciones eléctricas, cañerías de agua, escapes a través del ático y entradas de luz, que tienen las viviendas, entre otras. Los valores ocupados son estimados por la ASHRAE y el método de cálculo es proporcionado por ellos también. Para medirlos realmente es necesario realizar experimentos en las viviendas y medir el verdadero caudal de aire infiltrado por los diferentes lugares de las casas. Estos se hacen midiendo el flujo de aire que atraviesa una superficie el que tiene relación con diferencia de presión existente entre ambas caras.

Como para tenerlo presente, se pueden proponer las construcciones bajo el suelo, como subterráneos, y evitar con esto todas las agresiones climatológicas que afectan a las edificaciones sobre la superficie del suelo, como: las oscilaciones de temperatura, cambios en el grado de humedad, las lluvias, las rápidas dilataciones o contracciones térmicas debidas a la radiación solar, entre otras. La particularidad del suelo es que posee una inercia térmica alta, por lo que amortigua y desfasa las variaciones de temperatura, pero no es un buen aislante térmico, así que para la zona donde se ubican estas viviendas donde la temperatura media del suelo es inferior a la de los interiores habitados, las construcciones bajo el nivel del suelo son fuentes de pérdidas térmicas. Por todo lo dicho anteriormente, hay que ser cuidadoso sobretodo con la aislación térmica al momento de construir bajo el nivel del suelo.

Finalmente, mirando las descripciones y resultados que se obtienen con colectores solares sólo para el calentamiento de agua sanitaria, resultaría útil implementar este sistema en algunas viviendas y ver si se acercan a la teoría expuesta en esta memoria. Son tecnologías que producen un gran ahorro de energía a lo largo del tiempo, además de ser un sistema limpio que no ocupa recursos del planeta ni contamina al medio ambiente, el problema radica en que la instalación es costosa, por lo que la recuperación de la inversión se realiza en un período largo de tiempo. Los

sistemas de apoyo también poseen una gran eficiencia energética, comparado a los usos convencionalmente, reduciendo con esto el uso de energía no renovable.

De acuerdo a los cálculos efectuados en el presente trabajo y a la lectura y material bibliográfico, se puede concluir lo siguiente.

Se realizó un examen comparativo entre 3 viviendas ubicadas en una zona fría del país, midiendo su demanda térmica de calefacción aplicando régimen permanente y dinámico. El estudio consistió en obtener el ahorro energético que es posible alcanzar aplicando en las viviendas diferentes alternativas de aislamiento térmico en las envolventes, soluciones comercializadas por diferentes empresas del medio y que resultan factibles técnicamente. Durante el desarrollo del trabajo se pudo apreciar que el valor de transmitancia térmica del piso original es bajo, por lo que no resulta conveniente en cuanto a ahorro energético optar por la alternativa propuesta de cambio. Lo mismo sucede con la techumbre de la vivienda, si podría optarse por otra solución siempre y cuando el costo sea razonable y el ahorro energético sea considerable. Todo lo contrario sucede con las ventanas y muros de las viviendas, ya que estos elementos fueron los que mostraron mayor sensibilidad a los cambios propuestos. Para complementar, se escogió analizar una solución combinada entre las dos que aportaban mayores ahorros energéticos a la vivienda y se vio que el porcentaje de ahorro es significativo, como se muestra en la siguiente tabla.

Demanda energética anual de calefacción [kWh/m ² anual]						
Vivienda	Alternativa	Permanente	% de ahorro c/r al Caso Base	Dinámico	% de ahorro c/r al Caso Base	Diferencia entre permanente y dinámico [%]
1	8	80	24,5%	73,4	23,0%	8,99%
2	8	90	26,2%	80,2	25,7%	12,22%
3	8	82	36,9%	75,4	33,0%	8,75%

Tabla 10.1: Porcentaje de ahorro energético de la solución combinada con respecto al caso base.

Se logró un porcentaje de ahorro superior al 20% para las dos primeras viviendas y para la tercera un porcentaje mayor al 30%, alcanzando ahora ésta última valores de demanda energética cercanos a las otras 2 (antes tenía diferencias sustanciales). Teniendo valores de demanda energética anual de calefacción bajo los 80 [kWh/m² anual] se puede decir que se consiguió el objetivo de aumentar efectivamente el ahorro energético de la vivienda.

Para poder observar la viabilidad económica de las propuestas se realizaron las respectivas evaluaciones económicas, recreando lo mejor posible el futuro escenario. Se obtuvo el VAN y el TIR para cada caso, en las siguientes tablas se muestran los valores obtenidos para las soluciones de cambios de aislamiento térmico de muro, con un aumento de combustible del GLP de 4,5%.

	Alternativa	VAN	TIR
Vivienda 1	1	-\$ 4.942.468	-5,55%
	2	-\$ 5.948.923	-6,86%
	3	-\$ 1.476.193	-2,44%

Tabla 10.2: Comparación de VAN y TIR para las soluciones de muro en la vivienda 1.

	Alternativa	VAN	TIR
Vivienda 2	1	-\$ 3.960.283	-4,46%
	2	-\$ 4.918.256	-5,71%
	3	-\$ 860.088	-1,26%

Tabla 10.3: Comparación de VAN y TIR para las soluciones de muro en la vivienda 2.

	Alternativa	VAN	TIR
Vivienda 3	1	-\$ 3.924.804	-4,84%
	2	-\$ 4.874.103	-6,28%
	3	-\$ 991.065	-1,70%

Tabla 10.4: Comparación de VAN y TIR para las soluciones de muro en la vivienda 3.

Desde el punto de vista económico, la instalación de mejoras de aislamiento térmico de la envolvente se vuelve impracticable, ya sea en un escenario positivo como en uno negativo. Los valores del VAN son negativos, por lo que no son proyectos atractivos, lo mismo sucede con la TIR, en todos los casos es negativa y no se alcanza a recuperar la inversión en el plazo destinado. Sí existe un caso donde es rentable realizar mejoras, es en la vivienda 3 y la alternativa de cambiar las ventanas de la vivienda por DVH con cristales Low-E, esto sucede cuando el combustible presente el aumento proyectado y cuando no lo haga.

El trabajo entrega información relevante a la empresa involucrada y a los propios dueños de las viviendas, ya que con los resultados mostrados se ve que puede mejorar el ahorro energético de sus viviendas, convirtiéndolas más eficientes energéticamente y ofrecer con esto productos de mejor calidad. Ahora depende de los objetivos de la empresa y del dueño particular poder ejecutar alguno de los cambios propuestos para la envolvente de sus viviendas.

Los colectores solares cumplen bien la función de calentamiento de aguas sanitarias para esta zona apoyados por algún tipo de sistema. Se nota que, aunque estén ubicados en zonas frías del país la radiación solar alcanza para que la vivienda se abastezca de energía para calentar agua sanitaria en un porcentaje considerable, el resto es suministrado por algún tipo de sistema de apoyo. Los porcentajes de cobertura se muestran en las siguientes figuras.

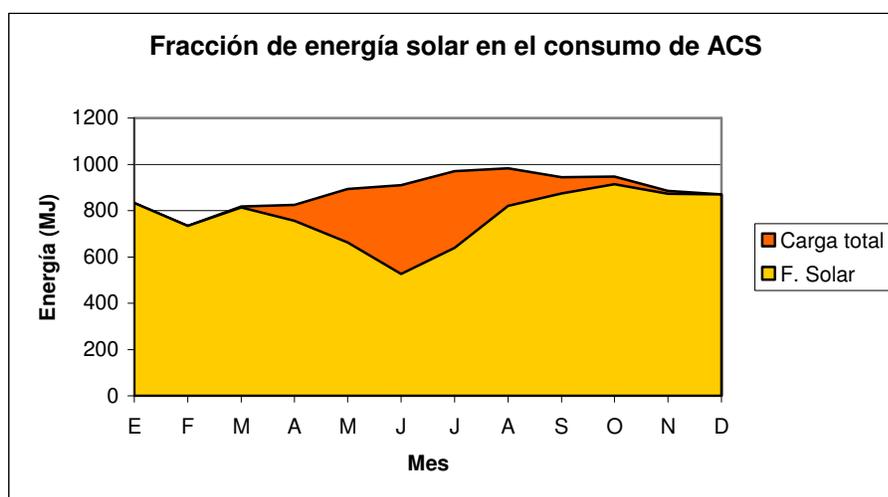


Figura 10.1: Fracción cubierta por colector 1 con superficie instalada de 4m^2 .

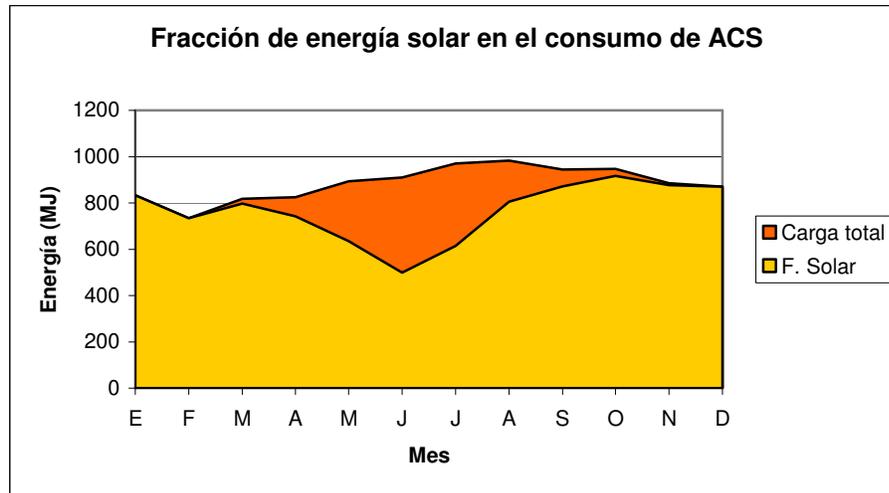


Figura10.2: Fracción cubierta por colector 2 con superficie instalada de 4m².

En los meses de invierno sobre todo, se ve claramente como no se alcanza a cubrir la demanda completa, pero en los meses de verano si existe un mejor comportamiento. Como sistemas de apoyo se estudió la posible implementación las calderas de condensación y bombas de calor, que aunque no consumen combustibles renovables presentan una eficiencia mucho mayor que los productos tradicionales. Todas las soluciones aquí propuestas se espera que empiecen a masificarse, para que sean más conocidas y ocupadas en las viviendas y lograr así un aumento de ahorro energético a nivel nacional.

Se concluye que el uso de energía solar es aplicable para el calentamiento de aguas en esta zona del país fría y con inviernos largos, al contrario de lo que se piensa comúnmente. Es un método limpio, no contaminante, que ocupa recursos renovables (la energía del sol) y que se espera se masifique ampliamente con la nueva ley que establece una franquicia para su instalación. Como las 3 viviendas se encuentran en el rango de precio entre 2000 y 3000 UF, el gobierno les podría otorgar un beneficio del 40% del costo del sistema y su instalación, algo que disminuiría considerablemente la inversión y acortaría el tiempo de recuperación de la misma.

Con todos los resultados expuestos en el trabajo, es de esperar que sea un aporte al uso de envolventes mejores aisladas, que mejoren el aspecto ecológico y el ahorro de energía, algo que se va a ir haciendo más común en el mundo a medida que pasen los años. Que se usen los recursos renovables, como la energía solar para A.C.S., algo esencial en la vida cotidiana de las personas y no se gasten los recursos no renovables que entrega el planeta.

BASES GENERALES PARA NUEVAS EXPERIENCIAS

1. Algo de lo que se habló en el punto 2.12, fue con respecto a las láminas de baja emisividad. Los cristales ocupados en el desarrollo de este trabajo poseen un revestimiento de estas características, pero los mencionados en ese punto son láminas que se pueden aplicar a cualquier vidrio para mejorar el control solar y la temperatura del interior del espacio. Actualmente varios edificios han ido incorporando esta tecnología, puede ser debido a las características que publicitan las empresas, por lo que resultaría interesante poder realizar ensayos con éstas láminas en viviendas experimentales y conocer el verdadero aporte entregado por ellas para la climatización de la vivienda.
2. Un siguiente paso sería poder realizar un trabajo parecido, pero usando productos y tecnologías de países desarrollados en el tema, para así acercarse más a los estándares más bajos internacionales, por ejemplo a los utilizados en Alemania o Suiza. Conocer como se comportarían esos sistemas en zonas frías de nuestro país como la estudiada en la presente memoria. Conocer sus precios referenciales y compararlos con los nacionales, para conocer su aspecto económico.

Las diferentes mejoras de aislamiento térmico en las viviendas, producen un aumento en la resistencia térmica de la envolvente, lo que se traduce en un incremento de ahorro energético y condiciones de confort higrotérmico.

La inversión por aislamiento térmico de una vivienda que presenta baja resistencia térmica en los elementos perimetrales se recupera en corto tiempo, menor a 2 años.

La inclusión de sistemas de energía solar para calentamiento de aguas sanitarias es factible de realizar en la ciudad de Puerto Montt, especialmente en los meses de verano.

Es fundamental considerar en los muros perimetrales la aplicación de barreras contra el vapor. Con esto se mantendrá la resistencia térmica del muro en el tiempo.

Las menores pérdidas de calor determinadas en las viviendas fue por el piso. Cabe hacer presente que si en esa zona se elimina la aislación térmica, las pérdidas aún serán pequeñas.

La eficiencia térmica de una vivienda conlleva a obtener mayores ahorros de energía y confort para las personas.

Para el diseño de las viviendas, es fundamental conocer previamente las características físico-mecánicas de los materiales involucrados.

CAPÍTULO 12

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Rodríguez, Gabriel
Apuntes del curso "Física de la Construcción", CI57a.
- [2] Olgyay, Victor
Arquitectura y Clima – Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas
- [3] Szokolay, Steven V.
Energía Solar y Edificación
- [4] Evans, Martin & de Schillet, Silvia
Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar
- [5] Ing. Sarmiento, Pedro
Energía Solar en Arquitectura y Construcción
- [6] Gauzin – Muller, Dominique
Arquitectura Ecológica
- [7] Holman, J.P.
Transferencia de Calor
- [8] Lunde, Peter J.
Solar Termal Engineering – Space heating and hot water systems.
- [9] AHSRAE HANDBOOK (1997)
Fundamentals
- [10] Riquelme, Igor & Baeza, William
Apuntes del curso "Evaluación de Proyectos", IN42a.

Comunicación Personal

- [11] Budge, Mónica. Departamento de Ventas Vidrios Lirquen S.A.
- [12] Domínguez, Manuel. Departamento de Ventas Monoplac Ltda.
- [13] López, Alejandro. Departamento de Ventas Exacta Ltda.
- [14] Chávez, Rolando. Departamento de Proyectos Energía Solar Transsen Chile Ltda.
- [15] Muñoz, Claudio. Departamento de Ventas Celcon S.A.
- [16] Hurtubia, Marcela. Departamento de Ventas Drywallsystems.
- [17] Geni, Patricio. Unidad de Negocios ANWO S.A.
- [18] Vásquez, Horacio. Departamento de Proyectos Enerficaz CHILE Ltda.

[19] Santibáñez, Daniel. Ingeniero Departamento de Proyectos AXIS DC

Manuales

- [20] Corporación de Desarrollo Tecnológico
Sistemas Solares Térmicos – Manual de diseño para el calentamiento de agua
- [21] Corporación de Desarrollo Tecnológico
Aislación Térmica Exterior – Manual de diseño para soluciones en edificaciones
- [22] MINVU
Manual de Reglamentación Térmica: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones – Artículo 4.1.10.
- [23] Empresa Glen Dimplex Deutschland GmbH, Alemania
Manual de Dimensionamiento e Instalación: Bombas de Calor para calefacción y Preparación de Agua Caliente, www.dimplex.de/downloads/planungs-handbuecher

Memorias para optar al Título de Ingeniero Civil

- [24] Monárdez Sarzosa, Héctor Mauricio
Inercia Térmica en Viviendas
- [25] Donoso Badilla, Marcelo
Ahorro de Energía en Viviendas: Soluciones Constructivas de elementos perimetrales
- [26] Meneses Vega, José Alejandro
Ahorro de Energía en Viviendas: Aporte y Defensa Solar

Normas

- [27] NCh 849.Of1987
Aislamiento térmica – Transmisión térmica – Terminología, magnitudes, unidades y símbolos
- [28] NCh 853.Of1991
Acondicionamiento térmico – Envolverte térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas
- [29] NCh 1079.Of2008
Arquitectura y Construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico
- [30] NCh 2457. Of2001
Material de construcción y aislación – Determinación de la permeabilidad al vapor de agua (humedad)

Internet

- Artículos

- [31] Roca Suárez, Manuel & Carratalá Fuentes, Juan
"Calefacción: conceptos básicos"
https://editorial.cda.ulpgc.es/servicios/3_calefaccion/calefaccion%20tema%201.pdf
- [32] D. R. Wulfinghoff
"Vapor Barriers"
<http://www.energybooks.com/pdf/D1142.pdf>
- [33] Casas Confortable
"Decisiones bioclimáticas para su Vivienda"
https://www.u-cursos.cl/fau/2009/1/AO305/1/material_docente/objeto/4076
- [34] Ramírez F., Claudia
"Confort Térmico"
<http://www.cchc.cl/kwldg/databank/21574.pdf>

- Páginas

- [36] Comisión Nacional de Energía de Chile, CNE. www.cne.cl
- [37] Dirección meteorológica de Chile, www.meteochile.cl
- [38] Energy Information Administration,
http://www.eia.doe.gov/oil_gas/petroleum/info_glance/petroleum.html
- [39] Láminas para ventanas 3M
www.pavimentosonline.com

ANEXOS

A. FOTOGRAFÍAS DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS POR LA EMPRESA DESARROLLOS CONSTRUCTIVOS AXIS SA, EN LA ZONA DE PUERTO MONTT Y PUERTO VARAS.



Figura A.1: Fachada oeste de la vivienda 3.



Figura A.2: Fachada oeste de la vivienda 1



Figura A.3: Fachada sur de la vivienda 2



Figura A.4:
Entrada principal vivienda 2.



Figura A.5: Aislamiento térmico en los muros perimetrales de las viviendas.



Figura A.6:
Sector proyectado para
futuras construcciones.

B. EJEMPLOS DE OBRAS REALIZADAS POR LAS EMPRESAS CONSULTADAS.



Construcción: Vivienda
Tipo de Muro: Muro Flat
Zona: Quillota

Construcción: Vivienda
Tipo de Muro: Hormigón Celular



Construcción: Casino de apuestas
Tipo de muro: Fachada con sistema EIFS
Superficie Instalada: 5000 m²
Zona: Talca



Construcción: Vivienda

Tipo de Piso: Losa Monoplac lista para hormigonar

Construcción: Edificio Corporativo
Tipo de Ventanas: Con Cristal Solar-E
Zona: Providencia, Santiago



C. CÁMARA Y PROBETAS DE ENSAYO, OCUPADAS EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA AL VAPOR DE AGUA DE MATERIALES.

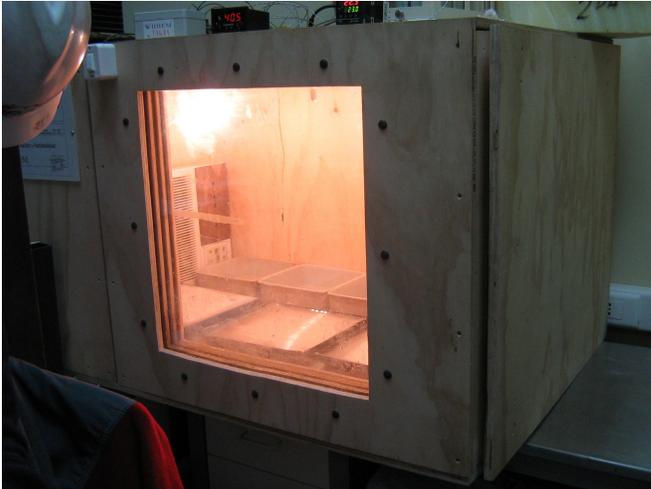


Figura C.1: Cámara de ensayo ocupada para el desarrollo del experimento

Figura C.2: Interior cámara de ensayo con las probetas ya instaladas.



Figura C.3: Características de la Cámara de Ensayo

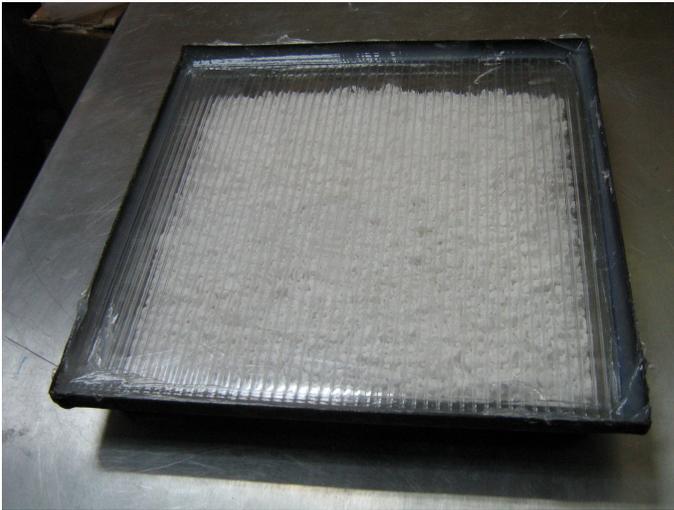


Figura C.4: Recipiente con la muestra de policarbonato ya instaladas.

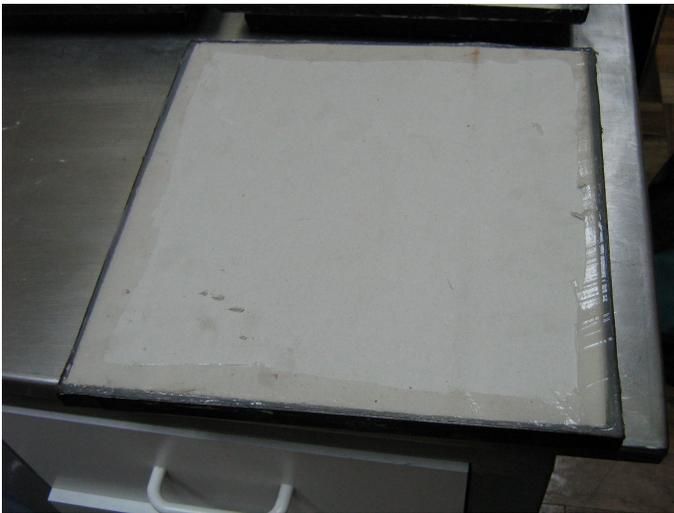


Figura C.5: Recipiente con la muestra de yeso cartón ya instalada.



Figura C.6: Recipiente con la muestra de polietileno ya instalada.

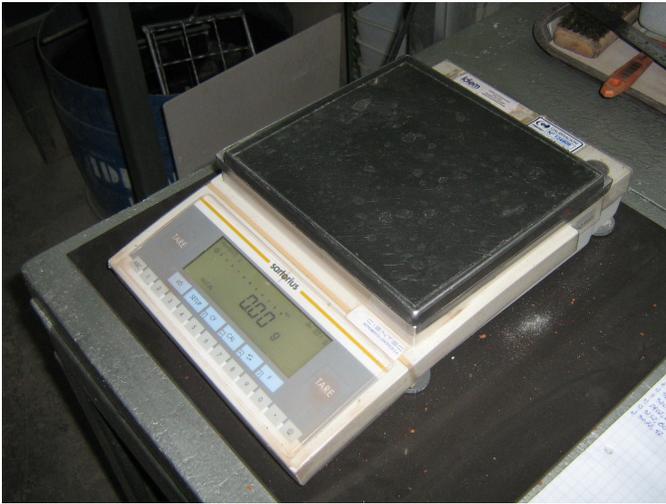


Figura C.7: Balanza electrónica ocupada para obtener el peso de las muestras en cada medición.

Figura C.8: Depósito para traslado de probetas ocupado para transportar las probetas desde la cámara a la balanza electrónica.

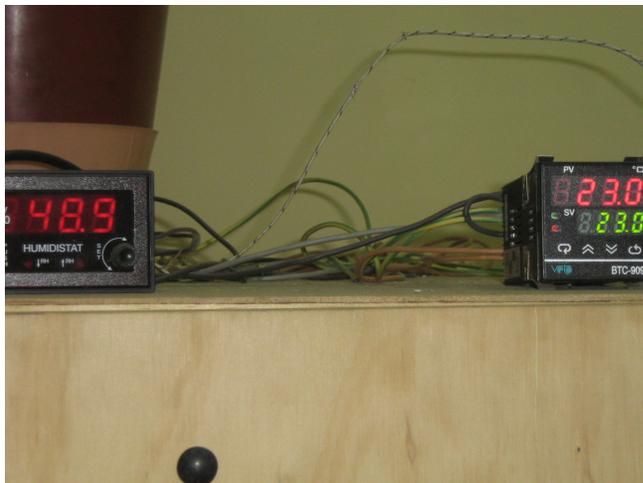


Figura C.9: Sensores de temperatura (izq.) y humedad (der.) instalados en la cámara de ensayo.

D. DATOS EXPERIMENTALES.

Se muestran a continuación los datos experimentales recogidos durante el ensayo de resistencia al vapor de agua de algunos materiales.

Medición	Fecha	Hora	Peso [kg]	Δm por medición [g]	Δm total [g]
1	08-jul	17:25	1,7946	0	0
2	09-jul	17:35	1,7946	0	0
3	10-jul	17:30	1,7949	0,3	0,3
5	14-jul	17:30	1,7950	0,06	0,36
6	15-jul	17:25	1,7952	0,2	0,56
7	20-jul	17:25	1,7957	0,51	1,07
8	21-jul	17:30	1,7959	0,22	1,29
9	22-jul	17:30	1,7960	0,1	1,39
10	23-jul	17:35	1,7962	0,18	1,57
11	24-jul	17:30	1,7964	0,21	1,78
12	27-jul	17:30	1,7968	0,44	2,22
13	28-jul	17:30	1,7970	0,19	2,41
14	30-jul	17:20	1,7973	0,3	2,71
15	31-jul	17:30	1,7975	0,19	2,9
16	03-ago	17:30	1,7980	0,47	3,37
17	06-ago	17:30	1,7985	0,55	3,92
18	07-ago	17:30	1,7986	0,06	3,98
19	11-ago	17:30	1,7994	0,77	4,75
20	12-ago	17:30	1,7996	0,2	4,95
21	13-ago	17:30	1,7998	0,2	5,15
22	14-ago	17:30	1,7999	0,13	5,28

Tabla D.1: Datos experimentales para muestra 1 (policarbonato).

Medición	Fecha	Hora	Peso [kg]	Δm por medición [g]	Δm total [g]
1	08-jul	17:25	2,4531	0	0
2	09-jul	17:35	2,4531	0	0
3	10-jul	17:30	2,4715	18,39	18,39
4	13-jul	17:30	2,4990	27,55	45,94
5	14-jul	17:30	2,5058	6,72	52,66
6	15-jul	17:25	2,5139	8,1	60,76
7	20-jul	17:25	2,5490	35,14	95,9
8	21-jul	17:30	2,5561	7,09	102,99
9	22-jul	17:30	2,5612	5,07	108,06
10	23-jul	17:35	2,5691	7,99	116,05
11	24-jul	17:30	2,5753	6,2	122,25
12	27-jul	17:30	2,5927	17,32	139,57
13	28-jul	17:30	2,6007	8,08	147,65
14	30-jul	17:20	2,6141	13,35	161
15	31-jul	17:30	2,6215	7,45	168,45
16	03-ago	17:30	2,6432	21,67	190,12
17	06-ago	17:30	2,6650	21,76	211,88
18	07-ago	17:30	2,6713	6,33	218,21
19	11-ago	17:30	2,6961	24,82	243,03
20	12-ago	17:30	2,7035	7,35	250,38
21	13-ago	17:30	2,7107	7,21	257,59
22	14-ago	17:30	2,7179	7,22	264,81

Tabla D.2: Datos experimentales para muestra 2 (yeso-cartón).

Medición	Fecha	Hora	Peso [kg]	Δm por medición [g]	Δm total [g]
1	08-jul	17:25	1,7696	0	0,00
2	09-jul	17:35	1,7696	0	0
3	10-jul	17:30	1,7698	0,14	0,14
4	13-jul	17:30	1,7700	0,21	0,35
5	14-jul	17:30	1,7702	0,24	0,59
6	15-jul	17:25	1,7705	0,27	0,86
7	20-jul	17:25	1,7717	1,19	2,05
8	21-jul	17:30	1,7720	0,33	2,38
9	22-jul	17:30	1,7722	0,2	2,58
10	23-jul	17:35	1,7725	0,31	2,89
11	24-jul	17:30	1,7728	0,32	3,21
12	27-jul	17:30	1,7736	0,76	3,97
13	28-jul	17:30	1,7738	0,24	4,21
14	30-jul	17:20	1,7744	0,57	4,78
15	31-jul	17:30	1,7746	0,23	5,01
16	03-ago	17:30	1,7755	0,9	5,91
17	06-ago	17:30	1,7765	0,98	6,89
18	07-ago	17:30	1,7767	0,2	7,09
19	11-ago	17:30	1,7777	1,01	8,1
20	12-ago	17:30	1,7780	0,32	8,42
21	13-ago	17:30	1,7783	0,3	8,72
22	14-ago	17:30	1,7785	0,17	8,89

Tabla D.3: Datos experimentales para muestra 3 (polietileno).

E. FUNDAMENTOS DEL SOFTWARE CCTE.

El objetivo principal del programa es poder entregar con gran precisión la demanda energética para el acondicionamiento térmico de la vivienda. En el programa viene incluido los datos climatológicos para un gran número de ciudades del país (se crearon 107 zonas diferentes).

Muros y cubiertas: Como muros, se consideran cuando la inclinación que tienen es superior a 60° y cubiertas cuando es menor. El calor se transmite a través de las capas del material sólo debido a la conducción y juega un papel importante la inercia térmica (método dinámico) la que dependerá de la capacidad calorífica de los materiales. La inercia térmica caracterizará el almacenamiento de parte de la energía por parte del cerramiento y así resulta que la conducción de calor a través del elemento será diferido en el tiempo, no instantáneo, incluyendo un desfase y amortiguamiento de la respuesta del muro frente a las solicitaciones.

Como hipótesis se tiene: a) las propiedades de los elementos son invariables con el tiempo, la temperatura y la humedad, b) la conducción de calor se supone unidimensional, c) se incluye la absorptividad del cerramiento de su superficie exterior frente a la radiación solar, d) la absorptividad del cerramiento de su cara interior frente a la radiación solar y a la radiación de equipos interiores no se considera y e) se asume un factor de emisividad de 0,9 para las 2 caras del cerramiento.

Puente térmico: Se consideran los efectos negativos de los puentes térmicos lineales (por ejemplo en la intersección de dos cerramientos verticales exteriores) y no se consideran los puentes térmicos puntuales (por ejemplo la intersección de 3 cerramientos, una esquina) ya que los primeros son más importantes. Se trata como un componente que introduce una variación del flujo de calor y se mide su efecto incorporando un factor corrector, llamado transmitancia térmica lineal [$W / m \text{ } ^\circ K$].

El cálculo de la transmitancia térmica lineal y su uso para determinar el flujo de calor se hace a través del método permanente. Como hipótesis: las propiedades de los materiales permanecen invariables con el tiempo, temperatura y humedad. El cálculo de flujo de calor tiene en cuenta la transferencia de calor por convección a través de las resistencias térmicas

superficiales, la absorción de radiación de onda corta en cada uno de los cerramiento que la forman y el intercambio radiante de onda larga con el cielo y el ambiente exterior.

Cerramiento en contacto con el terreno: Se considera el terreno como homogéneo, invariable en el tiempo y se trata la transferencia del calor como bidimensional, con una dimensión longitudinal suficientemente grande. Se ocupan 3 componentes de cálculo: la primera en régimen estacionario (permanente), la segunda considera una oscilación periódica anual de la temperatura interior y exterior y la tercera incluye una fluctuación horaria de la temperatura interior.

Ventanas: el modelo para calcular las pérdidas o ganancias de este elemento tiene las siguientes hipótesis: a) el flujo de calor es unidimensional en la cara transparente de la ventana, b) el flujo de calor a través del conjunto marco y espaciador se calcula como un efecto bidimensional, c) los coeficientes de transferencia convectivos para el marco se suponen idénticos a los del vidrio y d) todo el conjunto se considera permanente.

Las ganancias o pérdidas medidas son: a) ganancias por transmisión de radiación solar directa a través del vidrio, b) ganancias por transmisión de radiación solar difusa a través del vidrio, c) ganancias por conducción por diferencia de temperatura, d) ganancias por conducción debida a la absorción de radiación solar que es cedida al interior y e) ganancias a través del marco.

Las puertas se modelan similares a las ventanas. En régimen permanente.

Las resistencias de las capas superficiales de aire interior y exterior se valoran según la norma NCh 853 (figura 2.3)

Los valores de transmitancia térmica para los marcos son:

Tipo de Marco	Coficiente U W/m^2K
Madera	2.50
Metálico	5.88
Metálico con Rotura de puente térmico	4.00
PVC (2 huecos)	2.20
PVC (3 huecos)	2.00

Figura E.1: Valores de transmitancia térmica para los marcos, según el software CCTE.

Los valores usados para factor solar y transmitancia térmica para las puertas se indican a continuación:

Tipo	<i>Factor Solar</i>	U W/m^2K
Madera Opaca	0.07	3.5
Metálica Opaca	0.12	5.8

Figura E.2: Valores de factor solar y transmitancia térmica para puertas usadas en el software CCTE.