



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL.

USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN VIVIENDAS. APLICACIONES EN
CALEFACCIÓN, CALENTAMIENTO DE AGUAS SANITARIAS Y
AISLACIÓN DE LA ENVOLVENTE.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

SEBASTIÁN OSCAR SILVA VARGAS

PROFESOR GUÍA:
GABRIEL RODRÍGUEZ JAQUE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ROLF SIELFELD CORVALAN
ROBERTO ROMÁN LATORRE

SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2009

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor guía don Gabriel Rodríguez Jaque, por su cooperación y buena voluntad para resolver dudas y guiarme durante la elaboración de este trabajo.

A los profesores co – guía don Rolf Sielfeld Corvalán e integrante don Roberto Román Latorre por su buena disposición y colaboración para el desarrollo de esta memoria.

A la empresa inmobiliaria y constructora SAE, por permitir realizar el estudio en uno de sus proyectos de viviendas y por su cooperación para facilitar información sobre éste.

A la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción, por fomentar este tipo de memorias a través de su programa de becas. Y por toda la colaboración del gerente del área de Eficiencia Energética don Cristián Yáñez.

A mi familia, polola y amigos por su constante apoyo y consejos durante el tiempo que trabajé en esta memoria.

INDICE DE TEMAS

CAPITULO 1	INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 2	ANTECEDENTES	3
2.1	Reglamentación térmica	3
2.2	Situación energética nacional	4
2.3	Marco teórico	10
2.3.1	Determinación de la demanda energética en calefacción	10
2.3.2	Determinación de la demanda energética para agua caliente sanitaria y servicios	20
2.3.3	Dimensionamiento de la instalación de energía solar térmica	23
2.4	Tecnologías y materiales para la aislación de la envolvente de la vivienda	32
2.4.1	Muros	32
2.4.2	Ventanas	39
2.4.3	Puertas	40
2.4.4	Techo	41
2.4.5	Piso	44
2.5	Tecnologías para el calentamiento de agua sanitaria y calefacción	45
2.5.1	Tecnologías basadas en el uso de energía solar	45
2.5.1.1	Tipos de colectores solares	46
2.5.1.2	Tipos de sistemas térmicos solares	50
2.5.2	Tecnologías basadas en el uso de energía geotérmica	53
2.5.3	Otros sistemas para la generación de agua caliente	56
CAPITULO 3	ANÁLISIS DE LAS VIVIENDAS	61
3.1	Descripción general del proyecto	61
3.2	Condiciones climáticas	62
3.3	Arquitectura de diseño	70
3.4	Caracterización de los componentes de la envolvente de las viviendas	73
3.5	Caracterización del sistema de calefacción	85
3.6	Caracterización del sistema de calentamiento de aguas sanitarias y servicios	86
3.7	Cuantificación teórica de la demanda energética mensual	87
3.7.1	Cuantificación de la demanda energética en calefacción	87
3.7.2	Cuantificación de la demanda energética en A.C.S.	99
3.7.3	Cuantificación de la demanda energética en agua caliente para servicios	100
CAPITULO 4	PROPUESTAS FACTIBLES	101
4.1	Aislación de la envolvente	101
4.1.1	Caracterización de las proposiciones	107
4.1.2	Cuantificación de la demanda mensual en combustible	111
4.2	Calefacción	117
4.2.1	Caracterización de las proposiciones	119
4.2.2	Cuantificación de la demanda mensual en combustible	123
4.3	Calentamiento de agua sanitaria	126
4.3.1	Caracterización de las proposiciones	126
4.3.2	Cuantificación de la demanda mensual en combustible	129

CAPITULO 5	EVALUACIÓN ECONÓMICA.	131
5.1	Tecnología de Aislación de la envolvente.	132
5.1.1	Resultados.	133
5.1.2	Análisis de los resultados.	142
5.1.3	Sensibilidad al precio del combustible.	143
5.2	Tecnología de Calefacción.	145
5.2.1	Resultados	146
5.2.2	Análisis de los resultados.	155
5.2.3	Sensibilidad al precio del combustible.	156
5.3	Tecnología de calentamiento de agua sanitaria.	158
5.3.1	Resultados	160
5.3.2	Análisis de los resultados.	168
5.3.3	Sensibilidad al precio del combustible.	169
CAPITULO 6	DISCUSIONES, RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.	171
6.1	Discusiones	171
6.2	Recomendaciones.	174
6.3	Conclusiones.	177
6.4	Análisis FODA.	183
CAPITULO 7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	187
CAPITULO 8	ANEXOS	189
A.	Zonificación térmica y exigencias de la OGUC.	189
B.	Consideraciones para el cálculo del gasto energético.	191
C.	Consideraciones para el dimensionamiento del sistema de energía solar.	195
D.	Detalle de precios para las diferentes proposiciones a evaluar.	197
E.	Evaluación económica.	200

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Aporte de ERNC al sistema	9
Figura 2.2	Grafica f-chart. Colectores para líquidos.....	27
Figura 2.3	Grafica f-chart. Colectores para aire.	30
Figura 2.4	Aislamiento interior.....	32
Figura 2.5	Aislamiento al interior.....	34
Figura 2.6	Ejemplo de aislación térmica exterior y acabado. Superficies no absorbentes.....	36
Figura 2.7	Ejemplo de aislación térmica exterior y acabado. Superficies absorbentes.....	37
Figura 2.8	Ejemplo de aislación térmica exterior. Fachada ventilada.....	38
Figura 2.9	Ejemplo ventanas de doble vidrio con marco de PVC.....	39
Figura 2.10	Ejemplo de diferentes tipos de techo.....	41
Figura 2.11	Aislación en techos con desván.....	42
Figura 2.12	Aislación en techos sin entretecho.....	42
Figura 2.13	Aislación exterior en techos planos.....	42
Figura 2.14	Esquema techo con barrera radiante.....	43
Figura 2.15	Piso con vigas y aislante térmico adosado en cara exterior.....	44
Figura 2.16	Piso con losa y aislante térmico adosado en cara interior.....	44
Figura 2.17	Ejemplo de un colector solar de placa plana.....	47
Figura 2.18	Ejemplo de un colector solar de tubos al vacío.....	48
Figura 2.19	Ejemplos de ventilación forzada y aplicaciones.....	49
Figura 2.20	Ejemplo de ventilación natural y aplicación.....	49
Figura 2.21	Ejemplo de un sistema de termosifón.....	51
Figura 2.22	Ejemplo de un sistema mixto de circulación forzada.....	52
Figura 2.23	Captadores geotérmicos horizontales.....	54
Figura 2.24	Captadores geotérmicos verticales.....	55
Figura 2.25	Esquema funcionamiento de una bomba de calor.....	57
Figura 2.26	Ejemplo bomba aerotérmica.....	58
Figura 2.27	Ejemplo de funcionamiento de calderas de condensación.....	60
Figura 3.1	Vista general del proyecto.....	61
Figura 3.2	Vista a una de las viviendas.....	61
Figura 3.3	Planta 1 ^{er} piso.....	70
Figura 3.4	Planta 2 ^{do} piso.....	71
Figura 3.5	Muros perimetrales prefabricados de hormigón con aislación incorporada.....	73
Figura 3.6	Esquema de techo.....	78
Figura 3.7	Esquema piso.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla #2.1. Dependencia energética.....	4
Tabla #2.2. Consumo neto de energía primaria.....	5
Tabla #2.3. Distribución sectorial del consumo.....	6
Tabla #2.4. Consumo sectorial.....	7
Tabla #2.5 Factor de ocupación diario.....	14
Tabla #3.1. Temperatura media mensual Quinta Normal.....	63
Tabla #3.2. Temperatura media mensual para el proyecto.....	64
Tabla #3.3. Insolación Santiago.....	65
Tabla #3.4. Radiación solar.....	65
Tabla #3.5. Radiación solar mensual y anual en plano horizontal.....	66
Tabla #3.6. Radiación solar mensual y anual en plano horizontal.....	66
Tabla #3.7. Radiación horizontal e índice de transparencia.....	67
Tabla #3.8. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Parte Aislada.....	74
Tabla #3.9. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Nervadura.....	74
Tabla #3.10. Muros con mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Parte aislada.....	75
Tabla #3.11. Muros con mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Nervadura.....	75
Tabla #3.12. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 16 cm. Nervadura.....	75
Tabla #3.13. Ventanas doble vidrio. Vidrio.....	76
Tabla #3.14. Ventanas simples. Vidrio.....	76
Tabla #3.15. Ventanas simple y doble vidrio. Marco.....	76
Tabla #3.16. Factor solar.....	76
Tabla #3.17. Acceso principal. Puerta.....	77
Tabla #3.18. Acceso principal. Marco.....	77
Tabla #3.19. Puerta cocina.....	77
Tabla #3.20. Techo. Cámara de aire no ventilada.....	79
Tabla #3.21. Techo. Cámara de aire muy ventilada.....	79
Tabla #3.22. Terrazas. Nervadura.....	80
Tabla #3.23. Terrazas. Parte aislada.....	80
Tabla #3.24. Jardineras. Nervadura.....	81
Tabla #3.25. Jardineras. Parte aislada.....	81
Tabla #3.26. Techos. Nervadura.....	82
Tabla #3.27. Techos. Parte aislada.....	82
Tabla #3.28. Losa. Alfombrada.....	84
Tabla #3.29. Losa. Piso flotante.....	84
Tabla #3.30. Losa. Cerámica.....	84
Tabla #3.31. Losa. Piedra pizarra.....	84

Tabla #3.32. Caldera mural Rinnai modelo RB-30/36.....	85
Tabla #3.33. Superficies y transmitancias. Casa A y C.....	87
Tabla #3.34. Superficies y transmitancias. Casa tipo B.....	88
Tabla #3.35. Transmitancia lineal piso y perímetro total.....	88
Tabla #3.36. Área efectiva de fugas. Casa A y C.....	89
Tabla #3.37. Área efectiva de fugas. Casa tipo B.....	90
Tabla #3.38. Renovaciones de aire por hora para cada mes. Casa A y C.....	91
Tabla #3.39. Renovaciones de aire por hora para cada mes. Casa B.....	91
Tabla #3.40. Radiación incidente en ventanas.....	93
Tabla #3.41. Superficie de ventanas según orientación.....	93
Tabla #3.42. Ganancias térmicas por radiación.....	95
Tabla #3.43. Ganancias térmicas por persona. Casa A y C.....	95
Tabla #3.44. Ganancias térmicas por persona. Casa B.....	95
Tabla #3.45. Ganancias térmicas.....	96
Tabla #3.46. Demanda energética mensual en calefacción.....	98
Tabla #3.47. Demanda energética para A.C.S.....	99
Tabla #3.48. Gasto servicios.....	100
Tabla #4.1 Porcentaje de pérdidas por elemento. Casa A y C.....	101
Tabla #4.2 Porcentaje de pérdidas por elemento. Casa B.....	102
Tabla #4.3. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Parte Aislada.....	107
Tabla #4.4. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Nervadura.....	107
Tabla #4.5. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 16 cm. Nervadura.....	108
Tabla #4.6. Muros con mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Parte aislada.....	108
Tabla #4.7. Muros con mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Nervadura.....	108
Tabla #4.8. Ventanas doble vidrio. Vidrio.....	109
Tabla #4.9. Marco PVC.....	109
Tabla #4.10. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Parte Aislada.....	110
Tabla #4.11. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Nervadura.....	110
Tabla #4.12. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 16 cm. Nervadura.....	110
Tabla #4.13. Superficies y transmitancias. Casa A y C.....	111
Tabla #4.14. Superficies y transmitancias. Casa B.....	112
Tabla #4.15. Transmitancia lineal piso y perímetro total.....	112
Tabla #4.16. Coeficiente de pérdidas térmicas por transmisión y ventilación. Gv2.....	112
Tabla #4.17. Demanda energética calefacción. Casa A.....	113
Tabla #4.18. Demanda energética calefacción. Casa B.....	114
Tabla #4.19. Demanda energética calefacción. Casa C.....	115
Tabla #4.20. Demanda de GLP caldera Rinnai.....	116
Tabla #4.21. Consumo mensual en pesos.....	116
Tabla #4.22. Bomba aerotérmica Rupanco.....	122

Tabla #4.23. Demanda de GLP caldera condensación.....	123
Tabla #4.24. Consumo calefacción caldera condensación en pesos.	124
Tabla #4.25. Consumo eléctrico bomba de calor. Casa A.....	124
Tabla #4.26. Consumo eléctrico bomba de calor. Casa B.....	125
Tabla #4.27. Consumo eléctrico bomba de calor. Casa C.....	125
Tabla #4.28. Bomba aerotérmica Ranco.....	128
Tabla #4.29. Demanda eléctrica paneles solares térmicos.....	129
Tabla #4.30. Demanda eléctrica bomba de calor. Casa A y C.....	130
Tabla #4.31. Demanda eléctrica bomba de calor. Casa B.....	130
Tabla #5.1. Tasa inflación anual combustibles.....	131
Tabla #5.2. Características combustible calefacción. Caldera Rinnai.....	132
Tabla #5.3. Características de las proposiciones casa A.....	133
Tabla #5.4. Resultados escenario neutral.....	133
Tabla #5.5. Resultados escenario optimista.....	134
Tabla #5.6. Resultados escenario pesimista.....	135
Tabla #5.7. Características de las proposiciones casa B.....	136
Tabla #5.8. Resultados escenario neutral.....	136
Tabla #5.9. Resultados escenario optimista.....	137
Tabla #5.10. Resultados escenario pesimista.....	138
Tabla #5.11. Características de las proposiciones casa C.....	139
Tabla #5.12. Resultados escenario neutral.....	139
Tabla #5.13. Resultados escenario optimista.....	140
Tabla #5.14. Resultados escenario pesimista.....	141
Tabla #5.15. Características combustible y equipos de calefacción.....	145
Tabla #5.16. Tarifación eléctrica BT-1.....	145
Tabla #5.17. Resultados escenario neutral.....	146
Tabla #5.18. Resultados escenario optimista.....	147
Tabla #5.19. Resultados escenario pesimista.....	148
Tabla #5.20. Resultados escenario neutral.....	149
Tabla #5.21. Resultados escenario optimista.....	150
Tabla #5.22. Resultados escenario pesimista.....	151
Tabla #5.23. Resultados escenario neutral.....	152
Tabla #5.24. Resultados escenario optimista.....	153
Tabla #5.25. Resultados escenario pesimista.....	154
Tabla #5.26. Características combustible A.C.S.....	159
Tabla #5.27. Tarifación eléctrica BT-1.....	159
Tabla #5.28. Inversión Instalación solar Transsen.....	159
Tabla #5.29. Calefón Trotter.....	159
Tabla #5.30. Inversión bomba de calor.....	159

Tabla #5.31. Resultados escenario neutral	161
Tabla #5.32. Resultados escenario optimista.....	162
Tabla #5.33. Resultados escenario pesimista.....	163
Tabla #5.34. Resultados escenario neutral	165
Tabla #5.35. Resultados escenario optimista.....	166
Tabla #5.36. Resultados escenario pesimista.....	167
Tabla #6.1. Ahorro en calefacción durante el primer año.	178
Tabla #6.2. Ahorro en calefacción durante el primer año.	178
Tabla #6.3. Ahorros en calefacción durante el primer año. Bomba de calor	180
Tabla #6.4. Ahorros en calefacción durante el primer año. Caldera condensación.....	180
Tabla #6.5. Ahorros en calentamiento de agua sanitaria durante el primer año.	182

RESUMEN DE LA MEMORIA

PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

POR: SEBASTIÁN SILVA V.

FECHA: 06/10/2009

PROF. GUÍA: Sr. GABRIEL RODRÍGUEZ JAQUE

“USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN VIVIENDAS. APLICACIONES EN CALEFACCIÓN, CALENTAMIENTO DE AGUAS SANITARIAS Y AISLACIÓN DE LA ENVOLVENTE.”

El objetivo general del presente trabajo de título es cuantificar los costos y beneficios que se obtienen al implementar el uso de energías renovables no convencionales en calefacción y calentamiento de agua sanitaria, además de una optimización térmica de la envolvente de las viviendas.

Actualmente existen diversas tecnologías que permiten reducir el consumo energético en calefacción y calentamiento de aguas sanitarias, sin embargo, las inmobiliarias que generan los proyectos de viviendas aún no las implementan ya que éstas conllevan una inversión mayor a la habitual. En este sentido, las inmobiliarias se enfocan en generar sus proyectos con la menor inversión posible y necesaria para cumplir con los requisitos mínimos de la reglamentación vigente.

El estudio se realizó en un condominio de casas de la Inmobiliaria y Constructora SAE que tiene casas 250 m² y 235 m² construidos, y se hizo en dos fases. En la primera, las viviendas fueron analizadas térmicamente para proponer mejoras constructivas que permitan reducir la demanda energética en calefacción y paralelamente se cuantificó la demanda energética en agua caliente sanitaria. En la segunda fase, se realizaron diferentes propuestas para reducir las demandas relacionados con el calentamiento de agua sanitaria, servicios y calefacción.

Como resultado final se concluye que para reducir la demanda energética en calefacción mediante mejoras constructivas es conveniente aislar interiormente los muros perimetrales sin intervenir el sistema actual de acristalamiento, lo que se traduce a un ahorro anual del 25% en la demanda energética de calefacción. Por otra parte, para reducir la demanda energética en calefacción mediante el uso de otros equipos se concluye que es conveniente el uso de calderas de condensación con lo que se consiguen ahorros anuales cercanos al 27%. Por último, para reducir la demanda energética de calentamiento de agua sanitaria se concluye que es conviene el uso de bombas de calor lográndose un ahorro anual del 45%.

GLOSARIO

A

Absorbedor: Componente de un captador solar especialmente diseñado para absorber la energía radiante y transferirla en forma de calor a un fluido.

Acumulador solar: Depósito en el que se acumula el agua calentada por energía solar.

Aislación exterior: Sistema de aislación de la envolvente de una edificación, instalada por la cara exterior de esta.

Aislación interior: Sistema de aislación de la envolvente de una edificación, instala por la cara interna de esta.

Aislación al interior: Sistema de aislación de la envolvente de una edificación, instalada adentro de esta.

Albedo: relación, expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma.

B

Barrera de humedad: Capa que impide el traspaso de vapor.

C

Captador solar térmico: Estructura diseñada para absorber la radiación solar y transmitir la energía térmica a un fluido de trabajo que circula por su interior.

Conductividad térmica: Cantidad de calor que, en condiciones estacionarias, pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras.

Confort térmico: Estado de las personas en que se sienten cómodas respecto del ambiente que las rodea.

E

Envolvente: Límites exteriores de un edificio conformado por muros perimetrales, techumbre y piso.

F

Factor solar: Propiedad cualitativa de los vidrios de transmitir la radiación al interior de un recinto.

Fluido de trabajo: Fluido encargado de recoger y transmitir la energía captada por el absorbedor.

Flujo de calor: Cantidad de calor que pasa a través de una superficie unitaria de elemento por unidad de tiempo dada una cierta diferencia de temperatura entre las caras del elemento.

G

Ganancias térmicas: Aportes de calor a la vivienda.

Grados día: Diferencia aritmética entre la temperatura media y una temperatura base de confort térmico.

I

Inercia térmica: Capacidad de los elementos de la envolvente de retener el calor para liberarlo con un cierto retardo.

Irradiancia solar: Potencia radiante incidente por unidad de superficie sobre un plano dado.

Irradiación: Energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se obtiene al integrar la irradiancia durante un lapso de tiempo.

Intercambiador de calor: Dispositivo que permite transferir calor de un circuito a otro sin que los líquidos entren en contacto directo

M

Material aislante: Materiales de baja conductividad térmica que oponen alguna resistencia al paso del calor.

P

Puente térmico: Parte de un elemento de la envolvente con escasa capacidad resistiva al flujo del calor en relación a las demás parte, de tal forma que pasa a ser un punto débil de la misma.

R

Radiación solar: Energía proveniente del Sol en forma de ondas electromagnéticas.

Radiación solar extraterrestre: Radiación solar en ausencia de atmosfera.

Renovaciones de aire por hora: Cantidad de renovaciones de aire que se dan dentro de la vivienda durante el lapso de una hora. Esta depende básicamente de la hermeticidad del recinto.

Resistencia térmica: oposición al paso de calor que presentan los elementos de construcción.

S

Sistema solar directo: Sistema termo solar en que el fluido a calentar es directamente el de uso final.

Sistema solar indirecto: Sistema termo solar en que el fluido a calentar no es el de uso final. El calor es transferido de uno a otro mediante un intercambiador

Soleamiento: Cantidad de radiación solar que recibe un lugar durante un día.

T

Transmitancia térmica: Flujo de calor que pasa por unidad de superficie de elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento.

V

Ventilación: Aportes de aire nuevo desde el exterior para renovar el aire del interior de un recinto.

Z

Zonificación térmica: Caracterización de una zona geográfica según sus condiciones térmicas basadas en los grados días que se registren. En la OGUC se describen 7 zonas térmicas en Chile.

Uno de los principales gastos operacionales que se dan en una vivienda corresponde al consumo energético, tanto para mantener las condiciones térmicas de confort requeridas dentro de sus recintos como para el calentamiento de las aguas sanitarias. Es más, al enfocarse en viviendas residenciales de altos estándares de calidad⁽¹⁾, donde las principales fuentes de energía usadas para calefaccionar corresponden a petróleo, gas o electricidad, notaremos que en términos monetarios este consumo, en algunas épocas del año, puede llegar a ser el más alto dentro de los gastos de la vivienda.

Al analizar por separado ambos consumos tenemos lo siguiente:

- Para mantener las condiciones térmicas de confort el problema no solo radica en los altos precios de los combustibles, sino que además, en la baja eficiencia de operación de los equipos y en la reducida aislación de la vivienda.
- Para el calentamiento de agua sanitaria y servicios el principal problema corresponde a la ineficiencia con que operan actualmente los equipos estándares de generación de agua caliente.

Habitualmente las inmobiliarias se enfocan en generar proyectos con la menor inversión posible manteniendo el estándar de calidad que exige la reglamentación vigente. Sin embargo, no han considerado implementar mejoras en el aislamiento térmico ni en el uso de energías renovables no convencionales (ERNC), que si bien aumentarán la inversión en la vivienda, pueden reducir considerablemente los costos operacionales de la misma y generar un valor agregado a sus productos frente a la competencia.

El objetivo general del presente trabajo cuantificar los costos y beneficios que se obtienen al implementar el uso de energías renovables no convencionales en calefacción y calentamiento de agua sanitaria junto con una optimización térmica de la envolvente de las viviendas.

¹ Se estudiarán viviendas valoradas sobre las 4000 UF ya que a partir de este valor las casas comienzan a utilizar sistemas de calefacción central.

Para lograr lo anterior se tendrán que cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar viviendas que cuenten con sistemas de calefacción central. Esto significa conocer los métodos de generación de agua caliente (sanitaria y de calefacción) y los materiales usados en la aislación de la envolvente. Además, se cuantificarán los gastos energéticos de estas viviendas.
- Proponer uno o más sistemas alternativos de calefacción que permitan disminuir los gastos operacionales.
- Proponer uno o más sistemas alternativos para el calentamiento de aguas sanitarias que permitan disminuir los gastos operacionales.
- Proponer una mejora al sistema actual de envolvente de manera de disminuir el consumo en calefacción.
- Realizar un análisis de factibilidad económica de cada una de las proposiciones a modo de ver la conveniencia de implementación de cada una de estas.

Para el desarrollo del presente trabajo se realizará el estudio en un condominio con tres tipos de vivienda correspondiente a una inmobiliaria determinada.

2.1 Reglamentación térmica.

- Reglamentación térmica nacional.

A partir desde el año 1996 el Ministerio de Vivienda y Urbanismo establece un programa de reglamentación sobre el acondicionamiento térmico de viviendas, el cual se divide en tres etapas:

- 1ª Etapa. Aislamiento de techos.
- 2ª Etapa. Aislamiento de muros, ventanas y pisos.
- 3ª Etapa. Certificación térmica.

La 1ª Etapa entró en vigencia el año 2000 y la 2ª Etapa en enero de 2007, a través de modificaciones a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). Mientras que la 3ª Etapa se iniciará una vez que se terminen los estudios respecto a una adecuada certificación térmica.

En términos generales, con las actualizaciones antes descritas, la nueva reglamentación térmica contenida en el artículo 4.1.10 de la OGUC estipula que todas las viviendas deberán cumplir ciertos requisitos de acondicionamiento térmico relacionados con la aislación de la envolvente y ventanas dependiendo de la zona en que se emplace la vivienda. (Ver Anexo A)

2.2 Situación energética nacional⁽¹⁾.

No es nuevo hablar de la inestabilidad energética a nivel mundial. El precio del crudo, principal fuente energética a este nivel, depende no solo del escenario económico (por ejemplo precio del dólar), sino además de la situación política de los países productores de este preciado combustible. Y como se ha visto en los últimos años, estos países pueden entrar en guerras lo que de alguna u otra forma los lleva a bajar su producción y en consecuencia los precios suben. Con esto se da cuenta de lo impredecible que puede ser el precio de los combustibles, que en su mayoría son derivados directos del crudo.

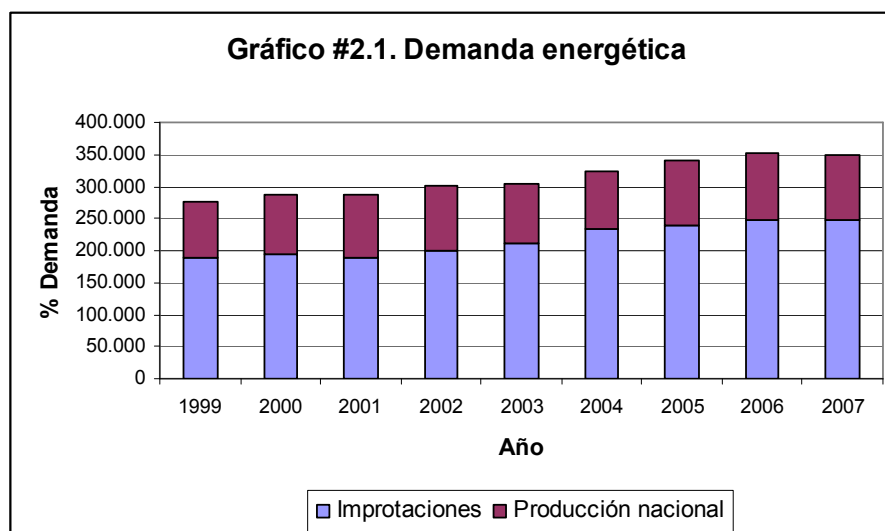
Chile, al no tener yacimientos petrolíferos importantes dentro del territorio nacional, es un país que depende en gran medida del mercado internacional, y en consecuencia el precio es altamente inestable. Un claro ejemplo de esto es lo que pasó con el gas natural proveniente de Argentina. Chile, luego de realizar tratos con el gobierno argentino, invierte grandes cantidades de dinero para generar una red de gas natural que sería abastecida con el gas argentino. Sin embargo, al poco tiempo de estar funcionando comienzan los problemas y Argentina termina cortando el suministro de gas a su antojo. Si bien este problema se ha resuelto en gran medida con la creación del puerto de GNL de Quintero, el abastecimiento de energía en Chile siempre dependerá de sus relaciones internacionales.

A continuación se muestran datos que reflejan el grado de dependencia energética para Chile. Los datos son desde el año 1999 hasta el 2007, en los cuales se muestra el porcentaje de energía importado versus el porcentaje de energía producida.

Tabla #2.1. Dependencia energética.									
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Producción nacional	31%	32%	34%	34%	30%	28%	30%	30%	29%
Importado	69%	68%	66%	66%	70%	72%	70%	70%	71%
Total (teracalorías)	274.847	286.293	287.338	301.841	303.312	323.740	342.207	353.410	348.385

Estos mismos valores se muestran gráficamente, donde es posible ver que la demanda energética nacional crece todos los años al igual que la energía importada, mientras que la energía producida es prácticamente la misma.

¹ Todos los datos fueron extraídos de la pagina web de la Comisión Nacional de la Energía (CNE)



Dejando de lado la gran dependencia internacional de nuestro país respecto del mercado de los combustibles, nos centramos en la demanda de energía primaria⁽²⁾ para ver cuales son los energéticos mas usados. En los datos que se muestran a continuación, se puede apreciar que el mayor consumo corresponde al petróleo crudo seguido del gas natural y la hidroelectricidad.

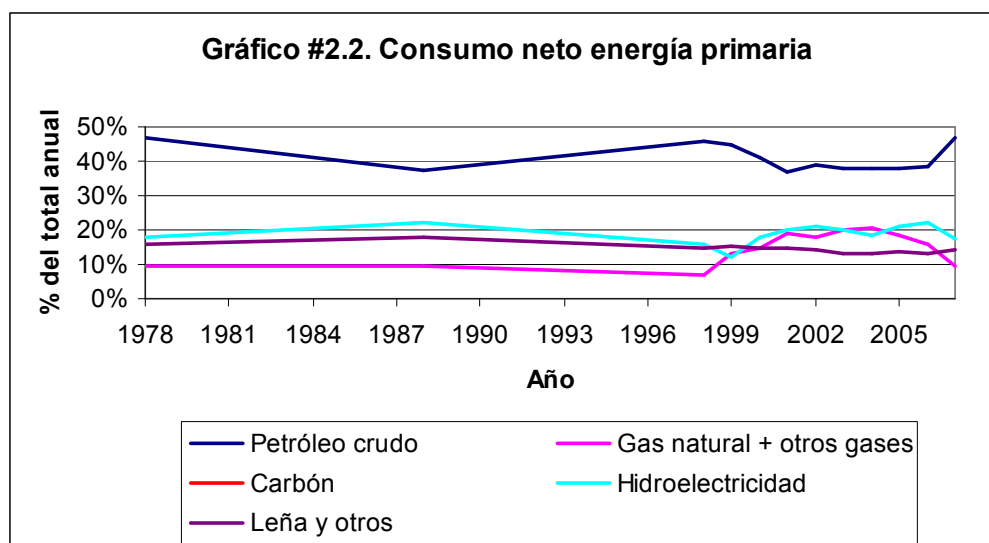
Tabla #2.2. Consumo neto de energía primaria (% por energético)

	1978	1988	1998	1999	2000	2001
Petróleo Crudo	47%	38%	46%	45%	41%	37%
Gas Natural + Otros Gases	9%	9%	7%	13%	15%	19%
Carbón	10%	13%	16%	15%	11%	9%
Hidroelectricidad	18%	22%	16%	12%	18%	20%
Leña y Otros	16%	18%	15%	15%	15%	15%
Consumo Neto (teracalorías)	105.074	142.342	258.126	274.847	286.293	287.338

Tabla #2.2. Consumo neto de energía primaria (% por energético). Continuación

	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Petróleo Crudo	39%	38%	38%	38%	39%	47%
Gas Natural + Otros Gases	18%	20%	21%	18%	16%	9%
Carbón	8%	9%	10%	9%	10%	12%
Hidroelectricidad	21%	20%	18%	21%	22%	17%
Leña y Otros	14%	13%	13%	13%	13%	14%
Consumo Neto (teracalorías)	301.841	303.312	323.740	342.207	353.410	354.014

² Energía que proviene directamente de un recurso natural sin procesar.



Además, se puede apreciar que el gas natural y los otros gases sufren una considerable baja en el año 2007 producto de los problemas ocurridos con argentina comentados anteriormente. Esta baja es suplida con el aumento en el consumo del petróleo crudo.

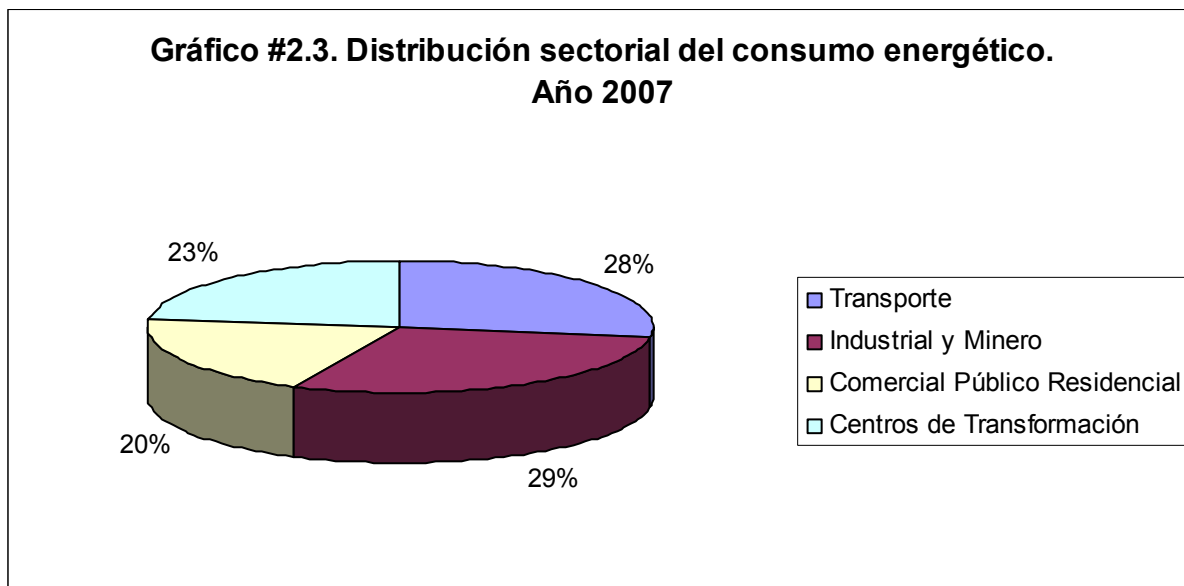
Así mismo, se puede ver que la leña representa alrededor del 15 % del consumo total lo que claramente es un problema debido a las altas emisiones de CO₂ que son liberadas durante su combustión.

Otro punto importante a destacar de este gráfico es la baja presencia de la electricidad (20%). Considerando la gran riqueza de Chile para generar esta energía resulta evidente que se deben tomar medidas para aprovechar este recurso, que aparte de estar en grandes cantidades, es considerado el más limpio respecto a su generación.

Por otra parte, a nivel residencial, que es el tema del presente trabajo, podemos desglosar el consumo anual del país en los diferentes sectores de consumo, con lo que se tiene lo siguiente.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Transporte	26,5%	27,6%	27,0%	26,5%	26,8%	25,8%	27,1%	27,0%	27,7%
Industrial y Minero	27,3%	29,3%	30,2%	29,0%	28,7%	27,6%	26,6%	28,3%	29,2%
Comercial Público									
Residencial	20,9%	21,5%	22,6%	21,5%	21,4%	20,7%	20,0%	19,9%	19,8%
Centros de Transformación	25,3%	21,6%	20,2%	23,0%	23,1%	26,0%	26,3%	24,8%	23,2%
Total (teracalorías)	252.338	252.968	249.417	260.741	262.946	285.028	295.435	302.227	313.916

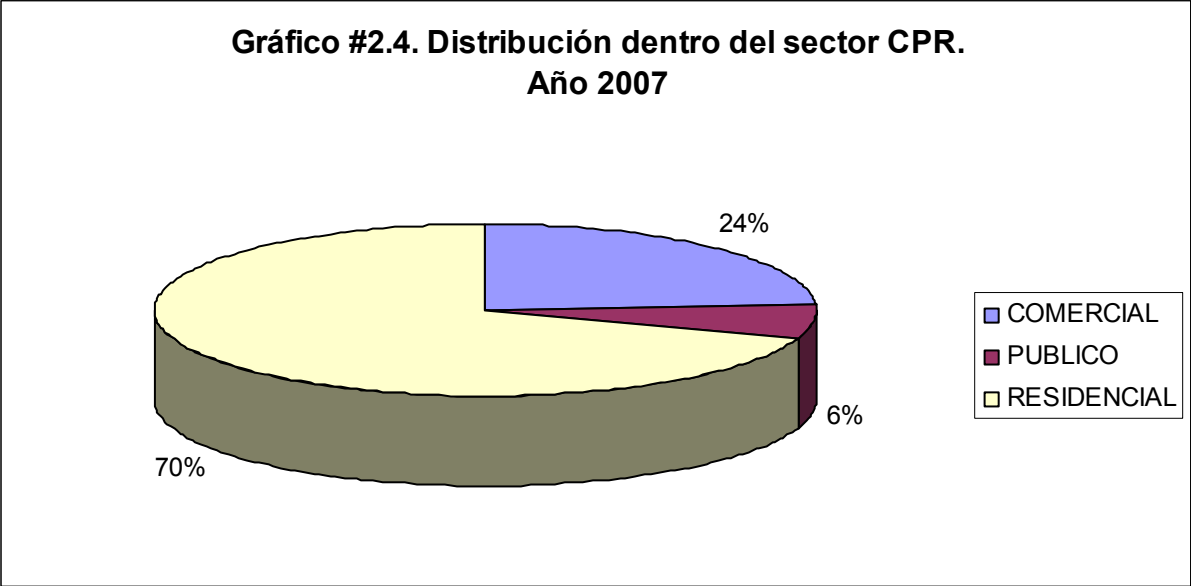
En esta tabla se puede ver que el consumo CPR (comercial-público-residencial), representa alrededor del 20% del consumo total de energía en el país para el año 2007, tal como se muestra en el gráfico siguiente.



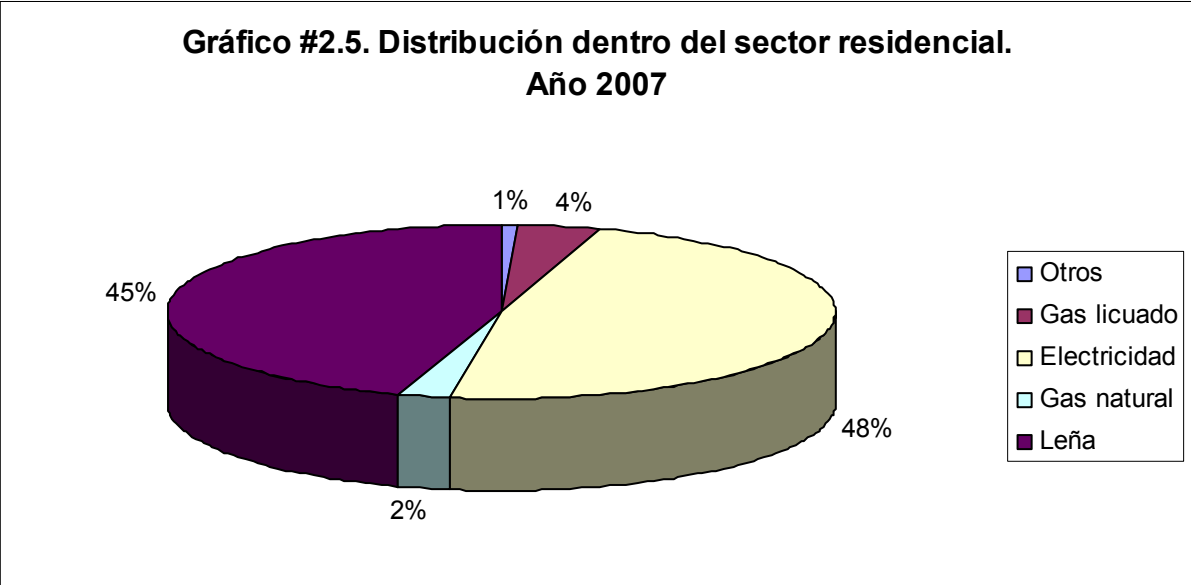
Ahora bien si nos centramos exclusivamente en el consumo del sector residencial se tienen los siguientes resultados

Tabla #2.4. Consumo sectorial				
Año 2007				
Sector comercial, público y residencial.				
ENERGETICO	COMERCIAL	PUBLICO	RESIDENCIAL	TOTAL
PETROLEO COMBUSTIBLE (Miles Ton)	21	4	0	25
DIESEL (Miles m3)	104	7	16	126
KEROSENE (Miles m3)	1	0	77	78
NAFTA (Miles m3)	0	0	0	0
GAS LICUADO (Miles Ton)	88	19	767	873
ELECTRICIDAD (GWh)	6.063	1.599	8.902	16.564
CARBON (Miles Ton)	0	7	0	7
GAS CORRIENTE (Millones m3)	39	0	37	76
GAS NATURAL (Millones m3)	123	18	461	602
LEÑA (Miles Ton)	0	0	8.388	8.388

Lo primero que se puede apreciar es que el consumo residencial representa alrededor del 70% del consumo total del sector, tal como se puede ver en el gráfico #2.4. Lo que es de gran importancia ya que si se logran generar cambios a nivel residencial estos serán de un peso mucho mayor.



Por otra parte, se puede apreciar que dentro del consumo residencial los energéticos mas usados son la electricidad que representa el 48%, y la leña con el 45%. Tal como se puede ver en el gráfico siguiente.



Esto último da cuenta de la gran cantidad de personas que aun utilizan la leña como fuente de energía, liberando emanaciones de CO2 a la atmosfera.

Por último, es importante mencionar que en Chile, durante los últimos años, se han adoptado diferentes medidas para comenzar a independizar nuestra matriz energética, en este sentido se ha legislado para que un porcentaje de la energía producida por las generadoras eléctricas sea inyectada por medios de generación renovable no convencional (ERNC). Como resultado de esta ley se espera que para el 2024 un 10% de la energía generada provenga de estos medios. Actualmente el aporte de las ERNC a la generación eléctrica para cada sistema es el siguiente>

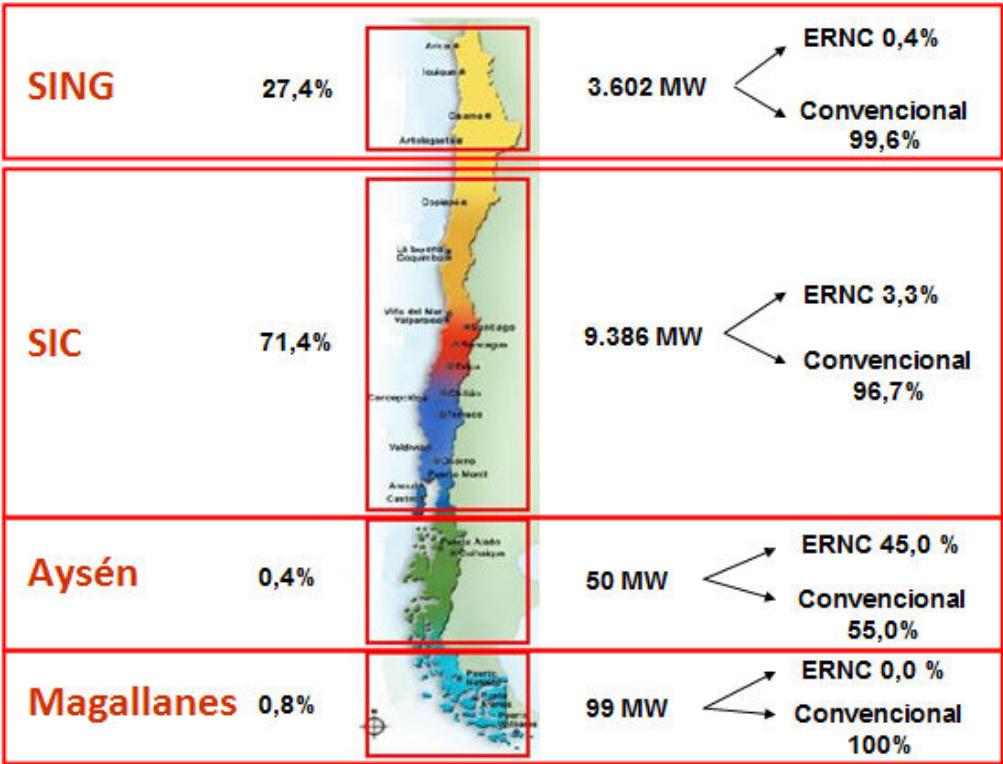


Figura 2.1 Aporte de ERNC al sistema³⁾

Por ultimo es importante destacar que, si bien a nivel residencial aún no se legisla al respecto, ya se ha dado el primer paso al crear el subsidio para la energía solar. Mediante el cual el gobierno financia la inversión de una instalación solar para viviendas de menos de 2.000 UF y parte de esta para viviendas entre las 2.000 y 4.000 UF.

³ Fuente CNE.

2.3 Marco teórico.

2.3.1 Determinación de la demanda energética en calefacción.

➤ Definiciones.

A continuación se definen, según la Nch 853 Of 2001, algunos conceptos necesarios para obtener el gasto energético en las viviendas:

- Conductividad térmica, λ : Cantidad de calor que, en condiciones estacionarias, pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras.

Se expresa en $W/(m \cdot K)$

- Resistencia térmica, R: oposición al paso de calor que presentan los elementos de construcción en condiciones unitarias.

Se expresa en $m^2 \cdot K/W$

Para una capa de caras planas y paralelas, de espesor e , conformadas por un material homogéneo de conductividad térmica λ , la resistencia térmica, R, queda dada por:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (I)$$

Para un elemento compuesto, la resistencia total es la suma de las resistencias de las capas que conforman el elemento más las capas de aire. También es el inverso de la transmitancia térmica del elemento.

$$R_T = \sum R_i = \frac{1}{U} \quad (II)$$

- Transmitancia térmica, U: Flujo de calor que pasa por unidad de superficie de elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento.

Se expresa en $W/(m^2 \cdot K)$

- Renovaciones de aire por hora, n: Corresponde a la cantidad de renovaciones de aire que se dan dentro de la vivienda durante el lapso de una hora. Esta depende básicamente de la hermeticidad del recinto.

Para obtener este parámetro se utilizará el método de las rendijas⁴, como sigue a continuación:

$$Q = \frac{A_L}{1000} \cdot \sqrt{C_s \Delta t + C_w V^2} \quad (III)$$

donde,

Q = Infiltraciones de aire [m^3/s]

A_L = Área total efectiva de fugas de la vivienda [cm^2]

C_s = Coeficiente de encajonamiento [$(l/s)^2 / (cm^4 \cdot ^\circ C)$]. (Ver Anexo B.1)

Δt = Diferencia de temperatura entre exterior e interior (20°C)

C_w = Coeficiente que depende del viento [$(l/s)^2 / (cm^4 \cdot (m/s)^2)$]. (Ver Anexo B.1)

V = Velocidad promedio del viento [m/s]

Luego se puede obtener el valor de n como sigue:

$$n = \frac{Q \cdot 3600}{Volumen} \quad (IV)$$

n = Renovaciones de aire por hora.

Para tener una mayor claridad del método revisar ejemplo en Anexo B.2.

⁴ Método de las rendijas, según el ASHRAE handbook 1997.

- Grados día, GD: Diferencia aritmética entre la temperatura media diaria y una temperatura base de confort térmico.

Para el análisis térmico de las viviendas se utilizarán los grados días mensuales considerando la temperatura media diaria mensual entregada por el Manual de Energía Solar y una temperatura base de confort térmico de 18 °C⁽⁵⁾.

De esta forma, para un mes cualquiera los GD mensuales se calculan de la siguiente forma:

$$GD_{MENSUALES} = (t_{BASE} - t_{MEDIA}) \cdot N \quad (V)$$

donde,

$$t_{BASE} = 18 \text{ °C.}$$

t_{MEDIA} = Temperatura media mensual del ambiente.

N = Numero de días del mes.

- Ganancias térmicas mensuales, GT: Aportes de calor a la vivienda. Aparte de los voluntarios como equipos de calefacción, existen otros tipos de ganancias térmicas como la exposición directa de los elementos perimetrales a la radiación solar, calor liberado por las personas y el calor generado por los diferentes equipos de uso diario (refrigerador, horno, ampolletas, etc.).

- Ganancias térmicas por exposición a la radiación: En este tipo de ganancias térmicas los elementos que más aportan son las ventanas, esto se debe principalmente a que permiten el ingreso de la radiación solar al interior de la vivienda. Para determinar el aporte real se procederá de la siguiente manera⁽⁶⁾:

$$GT_{ORIENTACION} = \frac{(R_{90} \cdot \alpha) \cdot 12h \cdot N \cdot \beta \sum (S \cdot FS)}{10^3} \quad (VI)$$

donde,

$GT_{ORIENTACION} \left[\frac{GJ}{mes} \right]$: Ganancia térmica mensual total para una orientación.

⁵ Temperatura fijada dentro de las especificaciones del proyecto.

⁶ Metodología de cálculo según "Handbook of fair conditioning system design", de Carrier air conditioning company.

$R_{90} \left[\frac{MJ}{m^2 \cdot h} \right]$: Radiación promedio que ingresa por ventanas durante las 12 horas de sol para cierto mes en un plano inclinado en 90° respecto de la horizontal y en la orientación especificada. La radiación entregada fue obtenida bajo ciertas condiciones, por eso se utiliza un factor de corrección que depende del lugar en cuestión.

α : Factor de corrección para la radiación.

$$\alpha = (1 - \eta) \cdot h$$

donde,

η : Porcentaje de niebla mensual.

h : Corrección por altura. Vale 1,0 a nivel del mar y aumenta un 0,7% por cada aumento de 300 m.

N: Número de días del mes.

β : Corrección para ventanas con marco metálico. Usar $\frac{1}{0,85}$

$S [m^2]$: Superficie de ventana en dicha orientación

FS: Factor solar del vidrio. Depende del tipo de vidrio y si es doble vidrio o simple. Usar 0,9 y 1,0 respectivamente.

Finalmente las ganancias térmicas mensuales por radiación para una vivienda se obtienen según la siguiente ecuación:

$$GT_{RADIACION} = \sum GT_{ORIENTACION} \quad (VII)$$

donde,

$GT_{RADIACION} \left[\frac{GJ}{mes} \right]$: Ganancias térmicas mensuales por radiación de la vivienda.

- Ganancias térmicas por calor liberado por las personas: Dependiendo de la actividad que realicen las personas liberan una cierta cantidad de calor. Considerando que las personas en la casa no estarán haciendo actividades físicas, sino más bien se encuentran en un estado de reposo, la potencia se puede estimar en 120 W⁽⁷⁾.

$$GT_{PERSONAS} = N \sum_1^X (120[W] \cdot 24[h] \cdot \eta_x) \cdot \frac{3,6}{10^3} \quad (VIII)$$

donde,

$GT_{PERSONAS} \left[\frac{GJ}{mes} \right]$: Ganancias térmicas mensuales aportadas por las personas.

η_x : Factor de ocupación diario. Relacionado por la presencia de las personas en la vivienda.

N: Cantidad de días del mes.

Tabla #2.5 Factor de ocupación diario⁽⁸⁾	
Padre	0,6
Madre	0,8
Hijos	0,7
Empleada	0,7

- Ganancias térmicas por calor generado por equipos eléctricos: Todos los equipos eléctricos producen calor. Se asumirá que la energía consumida se transforma en calor. En este sentido la energía consumida será un valor referencial que se obtuvo al verificar el consumo eléctrico de una vivienda de características similares (alrededor de 400 kWh/mes)

$$GT_{EQUIPOS} \left[\frac{GJ}{mes} \right] = Consumo \left[\frac{kWh}{mes} \right] \cdot \frac{3,6}{10^3} \quad (IX)$$

⁷ Valor obtenido del libro de Pedro Sarmiento, para una persona en reposo.

⁸ El detalle de cálculo se encuentra en anexos.

Finalmente las ganancias térmicas totales se obtienen como sigue:

$$GT = (GT_{RADIACION} + GT_{PERSONAS} + GT_{EQUIPOS}) \cdot f \quad (X)$$

donde,

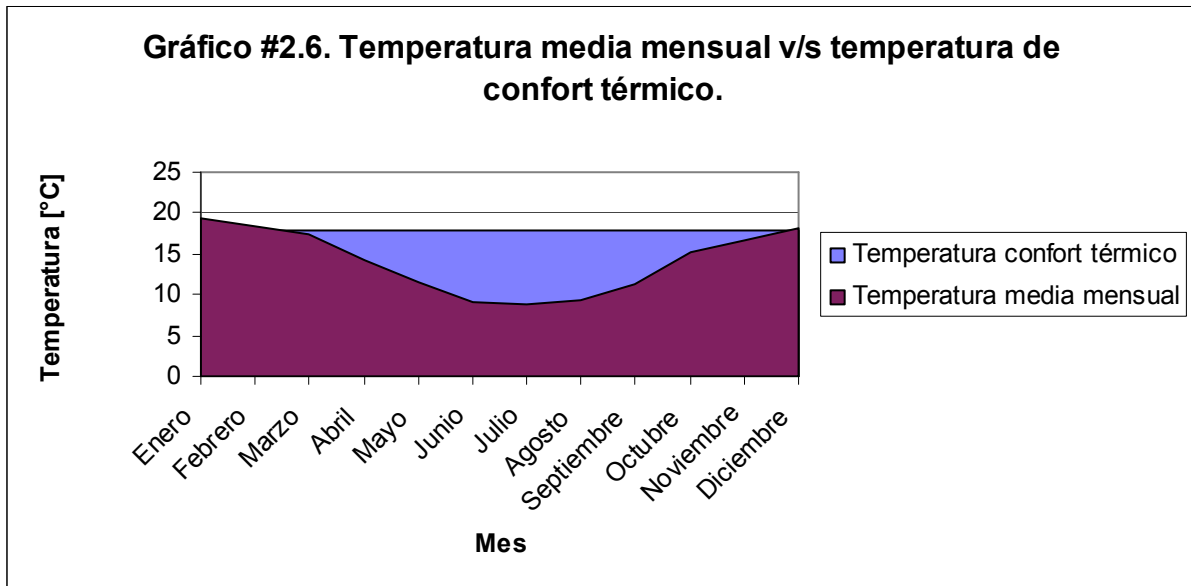
f : Factor de reducción relacionado con la capacidad de la vivienda para almacenar el calor. Este depende principalmente de la masividad de los elementos constructivos, en este sentido, al ser más masivos son capaces de almacenar más el calor. Se utilizará un factor de 50%⁽⁹⁾.

⁹ El valor a utilizar corresponde al promedio recomendado por el manual de Carrier para una vivienda con estas características.

- Análisis estático para determinar la demanda energética de las viviendas.

Considerando las definiciones anteriores se procede a explicar la manera de obtener la demanda energética por medio de un análisis estático de las viviendas.

Hay que mencionar que este corresponde a una simplificación de la realidad ya que se dejan de lado las variaciones diarias de temperatura y se consideran exclusivamente las temperaturas medias mensuales. En este sentido, se define una temperatura base de confort la cual se alcanzará mediante el método de calefacción a convenir, en consecuencia, dependiendo de la temperatura media de cada mes se tendrán diferentes consumos energéticos a lo largo del año, los cuales son proporcionales al delta de temperatura que se indica en el siguiente grafico.



Para determinar la demanda energética mensual se deben conocer los factores G_{v1} y G_{v2} de pérdidas térmicas volumétricas⁽¹⁰⁾. El factor de pérdidas térmicas, G_{v1} , se calcula de la siguiente forma:

$$G_{v1} = \frac{\sum_i U_i \times S_i}{V} \left[\frac{W}{m^3 K} \right] \quad (XI)$$

¹⁰ Los factores G_{v1} y G_{v2} se calculan de acuerdo a la NCh 1960.

donde,

$U_i \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ = Transmitancia de cada uno de los componentes de la envolvente.

$S_i [m^2]$ = Superficie de cada uno de los componentes de la envolvente del recinto calefaccionado.

$V [m^3]$ = Volumen del recinto calefaccionado.

Mientras que el factor de pérdidas térmicas por la envolvente más ventilación, G_{V2} , se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula

$$G_{V2} = \frac{\sum U_i \times S_i}{V} + 0,35 \cdot n \left[\frac{W}{m^3 K} \right] \quad (XII)$$

donde el nuevo término corresponde a,

n = número de renovaciones del volumen de aire del recinto por hora.

Luego la demanda energética mensual total (sin incorporar ganancias térmicas) se obtiene de la siguiente forma:

$$D_{Mensual} = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD_{MENSUALES} \cdot 24 \left[\frac{kWh}{mes} \right]}{1000} \quad (XIII)$$

donde,

$GD_{MENSUALES} [^{\circ}C]$ = Grados días mensuales del lugar en que se emplazará la edificación.

V = Volumen de la vivienda encerrado por la envolvente.

Para expresarlo en giga joules se multiplica por 0,0036.

$$D_{Mensual} = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD_{MENSUALES} \cdot 24 \cdot 0,0036 \left[\frac{GJ}{mes} \right]}{1000} \quad (XIV)$$

Luego es necesario agregar el efecto de las ganancias térmicas de la vivienda con lo que la demanda energética mensual queda de la siguiente forma:

$$D_{Mensual} = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD_{MENSUALES} \cdot 24 \cdot 0,0036}{1000} - GT \left[\frac{GJ}{mes} \right] \quad (XV)$$

Finalmente, para obtener la demanda energética anual se deberá incorporar un factor de uso

$$D_{ANUAL} = f_{USO} \cdot \sum D_{MENSUAL} \Leftrightarrow D_{MENSUAL_FINAL} = f_{USO} \cdot D_{MENSUAL} \quad (XVI)$$

donde el factor de uso a utilizar será 0,85⁽¹¹⁾

Para la determinación de la demanda energética mensual en calefacción para las viviendas se realizará la siguiente secuencia:

1. Cálculo de la transmitancia de cada uno de los elementos que componen la envolvente de la vivienda.
2. Obtención de las superficies de cada uno de los elementos.
3. Cálculo del volumen de la vivienda.
4. Cálculo de las renovaciones de aire por hora de la vivienda. (Ver anexo B)
5. Determinación del factor de pérdidas volumétricas G_{V2} .
6. Cálculo de los grados días mensuales correspondientes a la zona en cuestión.
7. Cálculo de la demanda energética mensual sin ganancias térmicas.
8. Cálculo de las ganancias térmicas mensuales.
9. Cálculo de la demanda energética mensual con ganancias térmicas.
10. Cálculo de la demanda energética anual.

¹¹ El factor de uso considerado corresponde a una recomendación del profesor Gabriel Rodríguez, quién considera conveniente usar el mismo factor de uso utilizado en Europa para viviendas,

➤ Análisis dinámico para determinar el gasto energético¹²⁾

A diferencia del análisis estático, el análisis dinámico no considera una temperatura media, sino que incluye dentro de su análisis las variaciones diarias de temperatura. Debido a la complejidad que esto implica, es que este tipo de análisis se lleva a cabo mediante programas computacionales especialmente diseñados para esto (TAS Building Design, entre otros).

Al considerar las variaciones de temperatura que ocurren a lo largo del día entra en juego la inercia térmica de los elementos constructivos de la vivienda. Tal como su nombre lo indica, esta propiedad de los elementos permite, entre otras cosas, retrasar los efectos de la temperatura externa. Esto se debe principalmente a que los elementos masivos absorben/liberan (dependiendo del caso) lentamente el calor y en consecuencia el traspaso de este hacia el interior es gradual. En este sentido, mientras mas masivos sean los elementos, mayor será su inercia térmica.

¹² En el presente trabajo no se realizará este análisis. Solo se comentaran brevemente las diferencias entre ambos métodos.

2.3.2 Determinación de la demanda energética para agua caliente sanitaria y servicios.

➤ Agua caliente sanitaria (A.C.S) :

A continuación se muestra la fórmula recomendada en el Manual de Energía Solar de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) para obtener la carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S:

$$Q_a = C_e \times C \times N \times (t_{ac} - t_r) \quad (\text{XVII})$$

donde,

$Q_a \left[\frac{J}{mes} \right]$ = Carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S.

$C_e \left[\frac{J}{kg^\circ C} \right]$ = Calor específico del agua.

$C \left[\frac{l}{día} \right]$ = Consumo medio diario de A.C.S.

$t_{ac} [^\circ C]$ = Temperatura del agua caliente de acumulación.

$t_r [^\circ C]$ = Temperatura de ingreso del agua de la red.

N = Número de días del mes

La fórmula antes expuesta es una adaptación de uno los principios básicos de la termodinámica, en que la cantidad de calor tomada (o cedida) por un cuerpo es directamente proporcional a su masa y al aumento (o disminución) de temperatura que experimenta. Lo cual se resume en la siguiente expresión matemática:

$$Q = m \cdot C_e \cdot (t_f - t_i) \quad (\text{XVIII})$$

donde,

m = masa del cuerpo

C_e = Constante de proporcionalidad, denominada calor específico.

$(t_f - t_i)$ = diferencia entre la temperatura final e inicial.

Respecto de la ecuación XVII para obtener la carga calorífica, hay que mencionar que ésta entrega la energía necesaria para elevar la temperatura desde una temperatura base hasta la temperatura para uso sanitario. Sin embargo, en la realidad, el agua de uso sanitario es calentada por sobre esta temperatura y el usuario suele ajustarla abriendo levemente el agua fría hasta llegar a la temperatura deseada, y en consecuencia, la energía utilizada es mayor. Esta es una de las razones por las que la eficiencia real de estos equipos es tan baja.

Por otra parte, para determinar el consumo diario de A.C.S. en la vivienda se deberá primero estimar el consumo diario por persona. El Manual de Energía Solar de la CDT recomienda los valores que se entregan en el anexo C.3. Sin embargo, producto del nivel socioeconómico de estas viviendas se prevé que este consumo sea más elevado, y por consiguiente el valor recomendado por el manual se aumentará de 40 litros diarios por persona a 50 litros diarios.

➤ Servicios:

Este punto incluye toda el agua caliente utilizada en el lavado de ropa y de vajilla. Se dejará de lado el agua caliente utilizada para cocinar, y que esta generalmente es calentada directamente en los mecheros de la cocina.

Es importante señalar que este ítem puede variar mucho con los hábitos de cada familia. En consecuencia, para la cuantificación de este consumo se realizarán una serie de suposiciones que permitirán obtener un valor aproximado de éste.

Para obtener el gasto mensual de agua caliente de los equipos antes mencionados es necesario conocer cuales son sus características respecto de las demandas de agua caliente para su correcto funcionamiento. Luego, se supondrá un uso mensual para cada uno de estos, con lo que se podrá obtener el consumo de estos equipos.

Respecto del lavado de ropa y vajilla, hay que agregar el hecho de que hay ciertas ropas y utensilios que no pueden ser lavados en estos equipos y se lavan manualmente. Este consumo se supondrá como un 20% del consumo mensual de ambos equipos.

Para cada equipo se utilizará la siguiente fórmula:

$$Q_{EQUIPO} = C_e \times C \times N \times (t_{ac} - t_r) \quad (XIX)$$

donde,

$$Q_{EQUIPO} \left[\frac{J}{mes} \right] = \text{Carga calorífica mensual de calentamiento de agua por equipo.}$$

$$C_e \left[\frac{J}{kg^\circ C} \right] = \text{Calor específico del agua.}$$

$$C \left[\frac{l}{día} \right] = \text{Consumo por operación del equipo.}$$

$$t_{ac} [^\circ C] = \text{Temperatura del agua caliente de ingreso al equipo.}$$

$$t_r [^\circ C] = \text{Temperatura de ingreso del agua de la red.}$$

N = Cantidad de usos al mes

Finalmente el consumo en servicios es

$$Q_a = (Q_{LAVAVAJILLA} + Q_{LAVADORA}) \cdot 1,2 \quad (XX)$$

2.3.3 Dimensionamiento de la instalación de energía solar térmica.

Para el dimensionamiento de la instalación de energía solar térmica, tanto para el sistema de agua caliente sanitaria como para un sistema mixto entre agua caliente sanitaria y calefacción, se utilizará el método $f - \text{chart}$ ⁽¹³⁾.

Este método puede ser usado para colectores que usan líquido o aire como fluido termo colector. Sin embargo, las constantes usadas en las fórmulas varían por lo que se verán los dos métodos por separado.

La secuencia recomendada a seguir en el cálculo es la siguiente:

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de A.C.S. y calefacción.
2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo del parámetro D_1 .
4. Cálculo del parámetro D_2 .

Los siguientes pasos dependerán del tipo de colector.

5. Correcciones aplicables.
6. Determinación de la cobertura solar mensual (f).
7. Valoración de la cobertura solar mensual y anual.

A continuación se revisará cada uno de estos pasos de manera más detallada

1. Las cargas caloríficas corresponden a la cantidad de calor necesaria mensual para calentar el agua destinada al consumo doméstico. En consecuencia, ésta dependerá si el sistema será diseñado para calefaccionar, para suministrar A.C.S. o ambos.

¹³ f -chart Method. Referencia al Manual de Energía Solar y el libro Solar Engineering of Thermal Processes.

Para obtener las cargas caloríficas para calefacción y A.C.S. se deben realizar los cálculos señalados en el punto anterior.

2. La radiación solar incidente será obtenida de una fuente que tenga registros confiables y representativos del lugar donde se emplazará la vivienda.
3. El parámetro D_1 expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes:

$$D_1 = \text{Energía absorbida por el captador} / \text{Carga calorífica mensual} \quad (\text{XXI})$$

La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_a = S_c \times F_r'(\tau\alpha) \times R_1 \times N \quad (\text{XXII})$$

donde,

$S_c [m^2]$ = Superficie del captador.

$R_1 \left[\frac{kJ}{m^2} \right]$ = Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área.

N = Número de días del mes

$F_r'(\tau\alpha)$ = Factor adimensional, que viene dado por la siguiente expresión:

$$F_r'(\overline{\tau\alpha}) = F_r(\tau\alpha)_n \left[\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} \right] (F_r'/F_r) \quad (\text{XXIII})$$

donde,

$F_r(\tau\alpha)_n$ = Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.

$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}$ = Modificador del ángulo de incidencia. *En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).*

F_r'/F_r = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. *Se recomienda tomar el valor de 0,95.*

4. El parámetro D_2 expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D_2 = \text{Energía perdida por el captador} / \text{Carga calorífica mensual}$$

La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_p = S_c \times F_r' U_L \times (100 - t_a) \times \Delta t \quad (\text{XXIV})$$

donde,

$S_c [m^2]$ = Superficie del captador.

$t_a [^\circ C]$ = Temperatura media mensual del ambiente.

$\Delta t [s]$ = Período de tiempo.

$$F_r' U_L = F_r U_L (F_r' / F_r)$$

donde,

$F_r U_L$ = Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador).

F_r' / F_r = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. *Se recomienda tomar el valor de 0,95.*

➤ Colectores para líquido.

5. Las correcciones aplicables para este tipo de colectores tienen relación con la energía perdida por el mismo, en consecuencia afectan directamente al parámetro D_2 . Estas son las siguientes:

- Corrección por almacenamiento.

K_1 = Factor de corrección por almacenamiento que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$K_1 = [kg_{ACUMULACION} / (75 \times S_c)]^{-0,25} \quad (XXV)$$
$$37,5 < ((kg_{ACUMULACION}) / (m^2_{CAPTADOR})) < 300$$

- Corrección de pérdidas del colector.

K_2 = Factor de corrección, que relaciona la temperatura mínima del agua a calentar, la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18 \cdot t_{ac} + 3,86 \cdot t_r - 2,32 \cdot t_a)}{(100 - t_a)} \quad (XXVI)$$

donde,

t_{ac} = Temperatura mínima del agua a calentar.

t_r = Temperatura del agua de red

t_a = Temperatura media mensual del ambiente

Luego el parámetro D_2 queda como sigue

$$D_2' = D_2 \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (XXVII)$$

6. Para determinar la cobertura solar mensual (f) se utilizará la siguiente ecuación:

$$f = 1,029 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 - 0,245 \cdot D_1^2 + 0,0018 \cdot D_2^2 + 0,0215 \cdot D_1^3 \quad (\text{XXVIII})$$

donde,

f = fracción mensual aportada mediante energía solar.

D_1 = Energía absorbida por el captador / Carga calorífica mensual

D_2 = Energía perdida por el captador / Carga calorífica mensual

De igual forma se puede utilizar la siguiente gráfica:

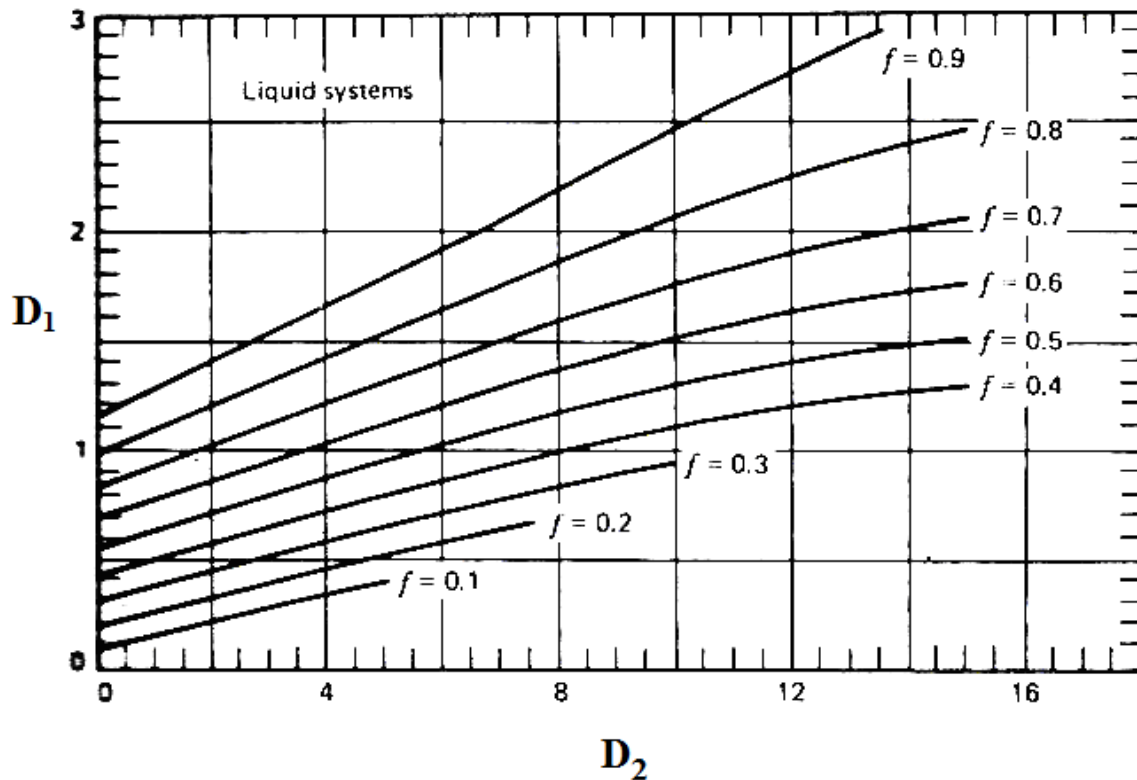


Figura 2.2 Gráfica f-chart. Colectores para líquidos⁽¹⁴⁾.

¹⁴ John Duffie, Solar Engineering of Thermal Processes

La manera de utilizar la gráfica es la siguiente:

- Los valores de entrada corresponden a los parámetros D_1 (eje y) y D_2 (eje x)
- El valor de f se determina según donde cae el punto de coordenadas (D_2, D_1) . Si no es precisamente una de las curvas mostradas se interpola hasta encontrar el valor de f adecuado.

7. La energía útil captada cada mes, Q_u , tiene el valor:

$$Q_u = f \times Q_a \quad (\text{XXIX})$$

donde,

Q_a = Carga calorífica mensual, ya sea de A.C.S., calefacción o ambas.

Este mismo proceso desarrollado para un mes, se operará para todos los meses del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema (f):

$$f = \frac{\sum_{u=1}^{12} Q_{u_{NECESARIO}}}{\sum_{a=1}^{12} Q_{a_{NECESARIA}}} \quad (\text{XXX})$$

A modo de ejemplo, si a una cierta vivienda se pretende instalar un sistema de colectores solares y se tiene que los parámetros D_1 y D_2 son 2 y 8 (para un cierto mes) respectivamente, entonces el valor de f será 0,85.

➤ Colectores para aire.

5. Las correcciones aplicables para este tipo de colectores afectan tanto a las pérdidas del colector como a la energía absorbida por el mismo, en consecuencia afectaran a ambos parámetros (D_1 y D_2). Estas son las siguientes:

- Corrección por variaciones en el flujo de aire.

El método considera un flujo base de aire de $10 \left[\frac{l}{s} / m^2_{COLECTOR} \right]$, en caso de que el colector escogido no tenga este flujo deberán realizarse las siguientes correcciones.

K_1 = Factor de corrección afecta directamente al parámetro D_2 .

$$K_1 = [\text{flujo}_{AIRE} / (10 \times S_c)]^{0,28} \quad (XXXI)$$

Además, hay que considerar que al variar el flujo se ven modificados tanto $F_r U_L$ como $F_r (\tau\alpha)_n$.

- Corrección por almacenamiento.

El método considera una capacidad de almacenamiento de $0,25 [m^3 / m^2_{COLECTOR}]$, en caso de que el sistema tenga otra capacidad de almacenamiento deberán realizarse las siguientes correcciones.

K_2 = Factor de corrección afecta directamente al parámetro D_2 .

$$K_2 = [\text{Volumen}_{ALMACENAMIENTO} / (0,25 \times S_c)]^{-0,3} \quad (XXXII)$$

$$0,5 < (\text{Volumen}_{ALMACENAMIENTO} / 0,25) < 4,0$$

Luego el parámetro D_2 queda como sigue

$$D_2' = D_2 \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (\text{XXXIII})$$

6. Para determinar la cobertura solar mensual (f) se utilizará la siguiente ecuación:

$$f = 1,04 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 - 0,159 \cdot D_1^2 + 0,00187 \cdot D_2^2 - 0,0095 \cdot D_1^3 \quad (\text{XXXIV})$$

donde,

f = fracción mensual aportada mediante energía solar.

D_1 = Energía absorbida por el captador / Carga calorífica mensual

D_2 = Energía perdida por el captador / Carga calorífica mensual

De igual forma se puede utilizar la siguiente gráfica:

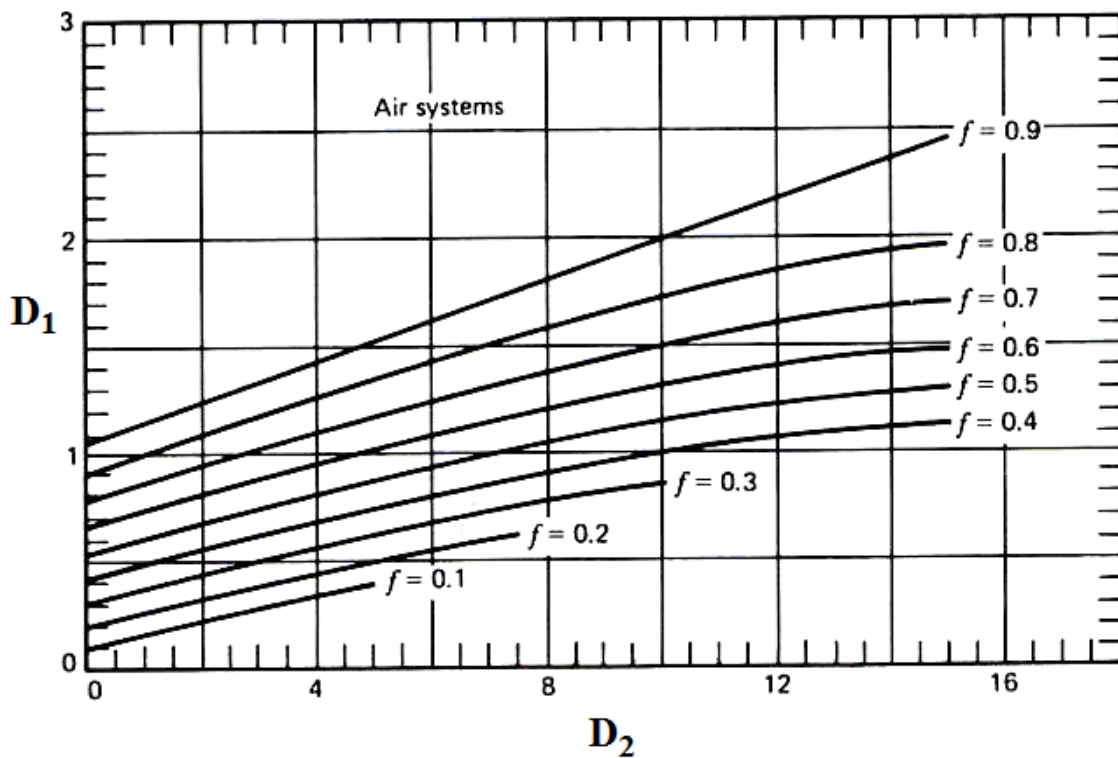


Figura 2.3 Gráfica f -chart. Colectores para aire⁽¹⁵⁾.

¹⁵ John Duffie, Solar Engineering of Thermal Processes

La manera de utilizar la gráfica es igual que en los colectores para líquido.

7. La energía útil captada cada mes, Q_u , tiene el valor:

$$Q_u = f \times Q_a \quad (\text{XXXV})$$

donde,

Q_a = Carga calorífica mensual, ya sea de A.C.S., calefacción o ambas.

Este mismo proceso desarrollado para un mes, se operará para todos los meses del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema (f):

$$f = \frac{\sum_{u=1}^{12} Q_{u_{NECESARIO}}}{\sum_{a=1}^{12} Q_{a_{NECESARIA}}} \quad (\text{XXXVI})$$

2.4 Tecnologías y materiales para la aislación de la envolvente de la vivienda.

La envolvente de una vivienda puede estar conformada por diferentes elementos, los que a su vez tienen una forma particular de aislación, por tal motivo analizaremos la aislación de la envolvente de manera separada por cada tipo de elemento.

2.4.1 Muros.

Los muros, junto con el techo y la losa del primer piso que dan hacia el exterior, son los elementos con mayor superficie dentro de la envolvente. Por lo tanto, es fundamental que estos cuenten con una adecuada aislación.

Para este tipo de elementos se tienen diferentes opciones de aislamiento, las que dependen principalmente al uso que se le dará al recinto y a la ubicación geográfica. Estas son las siguientes:

- Aislamiento por la cara interior de la envolvente.

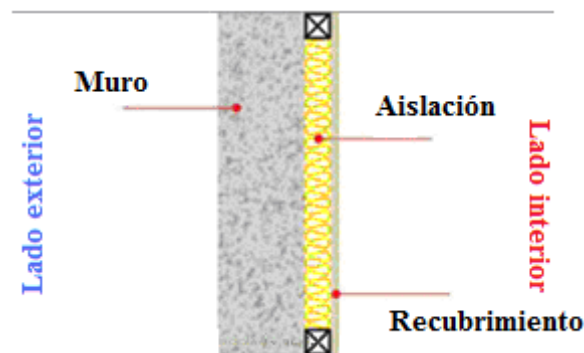


Figura 2.4 Aislamiento interior.

Como se verá a continuación este tipo de solución presenta una serie de desventajas y ventajas:

Ventajas:

- Es mucho más fácil de calefaccionar producto de que el muro no absorbe el calor interior.
- Evita que se generen condensaciones en la superficie interior del muro, ya que la temperatura de rocío no se va a alcanzar en la superficie del muro sino que en su interior. Si además se quiere evitar condensaciones al interior del muro, se recomienda usar alguna barrera de vapor en la superficie.
- Al estar al interior no tendrá que soportar las condiciones climáticas externas.

Desventajas:

- No aprovecha la inercia térmica del muro ya que impide que el calor que es absorbido durante el día por los muros sea liberado durante la noche.
- Reduce el espacio interior de la vivienda.
- Se producen condensaciones entre el aislante y el muro.

➤ Aislamiento al interior de la envolvente. (Muros compuestos)

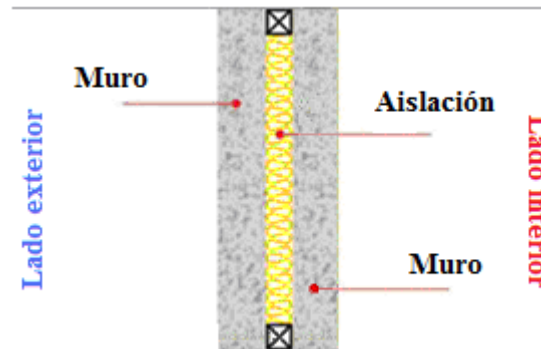


Figura 2.5 Aislamiento al interior.

Este tipo de muros no son muy usados en la práctica ya que constructivamente demandan de mucho trabajo y estructuralmente se interfiere con la continuidad de los muros dejando menos espacio para la estructura resistente de la vivienda.

Sin embargo, existen empresas que se dedican a la confección de muros prefabricados en los que incluye esta solución de aislamiento. Esto les permite aminorar los costos de producción por una parte, ya que incorporan poliestireno expandido en su interior que es considerablemente más económico que el hormigón, y por otra parte, el uso de paneles prefabricados disminuye notablemente los tiempos de construcción con lo que se pueden obtener ahorros importantes en los gastos generales de una obra.

En cuanto a la aislación de la vivienda tienen una clara desventaja. Los muros conforman la estructura resistente de la vivienda, y por consiguiente no es posible ocupar de manera continua el alma del muro con materiales aislantes. Estos están formados por pilares, vigas y cadenas de hormigón armado que pasan a ser un puente térmico a lo largo de toda la envolvente de la vivienda.

➤ Aislamiento por la cara exterior de la envolvente.

Este sistema de aislación es ampliamente usado en países nórdicos debido a su alta eficacia, rapidez constructiva y la capacidad de ser instalado en construcciones antiguas sin causar mayores problemas al interior del inmueble.

La utilización de este sistema tiene las siguientes ventajas:

- Protege los muros perimetrales de la lluvia con viento, evitando el ingreso de humedad en el muro.
- Protege los muros del soleamiento directo durante el verano lo que ayuda a combatir las altas temperaturas.
- Se aprovecha la inercia térmica de los muros, ya que estos, al estar descubiertos por su cara interna, pueden liberar en la noche el calor absorbido durante el día. Este calor es el mismo que fue entregado durante el día por algún método de calefacción, que generalmente en la noche deja de funcionar o baja su intensidad.

Hoy en día, existen dos tecnologías para este tipo de aislación: El sistema de aislación térmica exterior y acabado (EIFS⁽¹⁶⁾) y la fachada ventilada, las que se describirán brevemente a continuación:

¹⁶ Por sus siglas en ingles, Exterior Insulation Finishing System

a.- Sistema de aislación térmica exterior y acabado.

Este sistema presenta dos variantes las que serán adoptadas dependiendo del tipo de superficie sobre la cual se aplique. Considerando esto, podrá ser instalado sobre todas las superficies que se utilizan actualmente (ladrillos, hormigón, paneles livianos, etc.).

- Sobre superficies no absorbentes: Dentro de este grupo se encuentran superficies como el hormigón y la albañilería.

El sistema no necesita drenaje y estará compuesto por las siguientes capas:

- 1.- **Capa de aislante rígida.** Materiales comúnmente usados: Poliestireno expandido (EPS), poliuretano expandido (PUR), entre otros.
- 2.- **Capa base.** Materiales comúnmente usados: Mortero modificado.
- 3.- **Malla de refuerzo.** Materiales comúnmente usados: Malla de fibra de vidrio.
- 4.- **Capa de terminación.** Estuco de mortero.

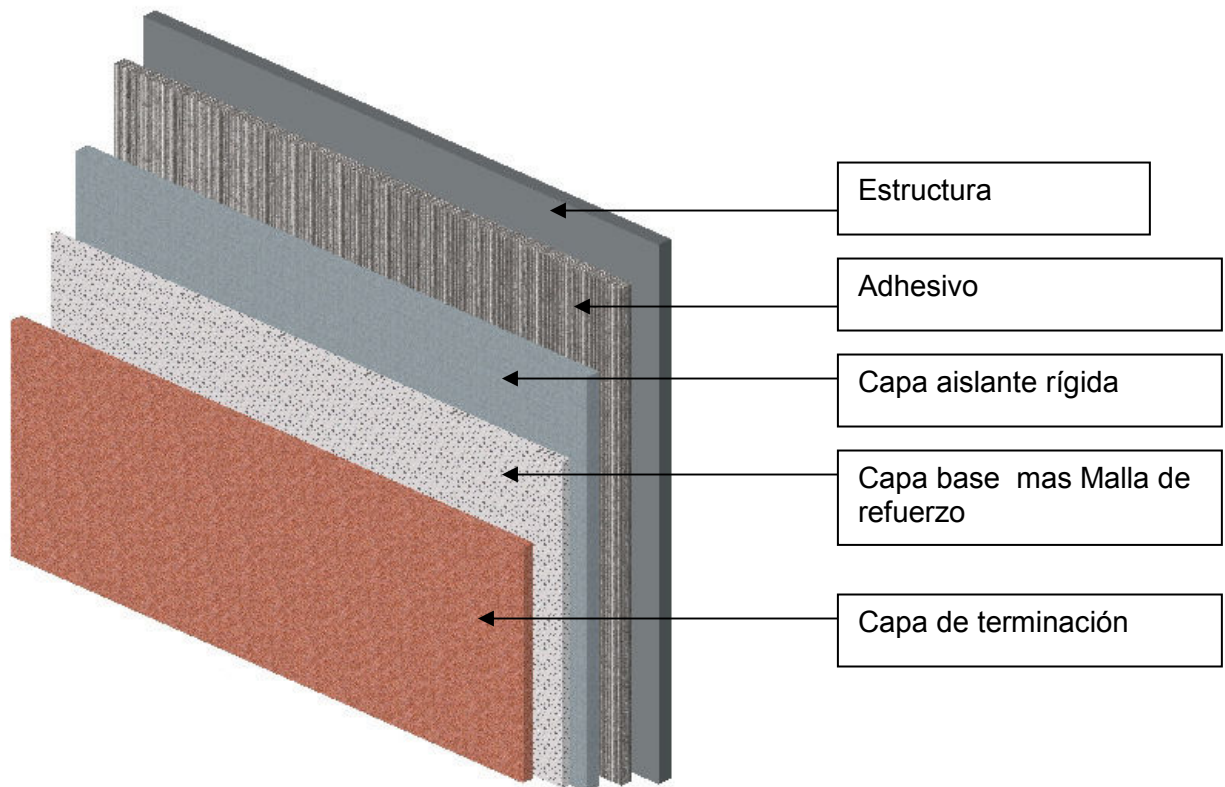


Figura 2.6 Ejemplo de aislación térmica exterior y acabado⁽¹⁷⁾. Superficies no absorbentes

¹⁷ Manual de Aislación Térmica Exterior.

- Sobre superficies absorbentes: Dentro de este grupo se encuentran superficies como la madera, yeso, paneles livianos (OSB), etc.

El sistema necesita de un adecuado drenaje por lo que al método anterior se le pueden implementar cualquiera de las siguientes modificaciones:

- Incorporar una película retardante a la humedad entre el muro y el aislante.
- Generar un plano de drenaje entre el muro y el material aislante, para esto es necesario incorporar barreras de humedad en el muro y en el material aislante.

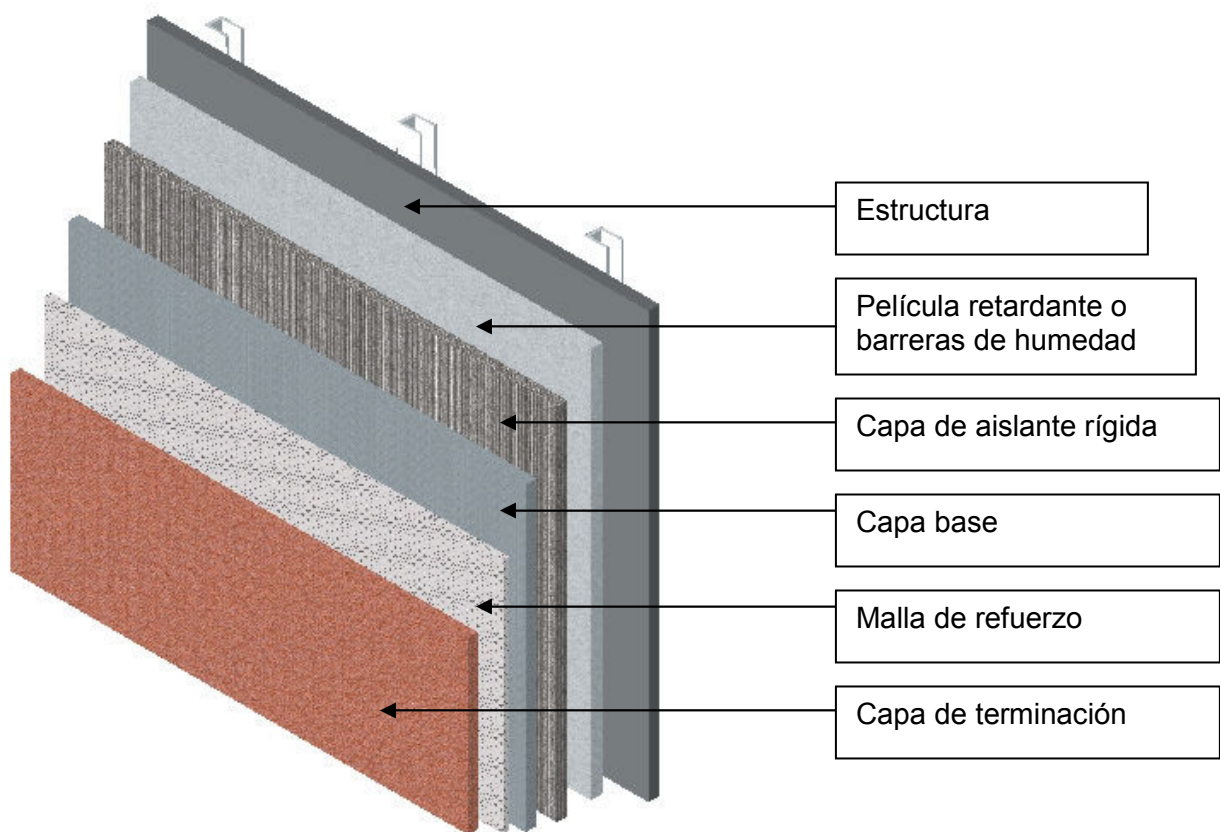


Figura 2.7 Ejemplo de aislación térmica exterior y acabado⁽¹⁸⁾. Superficies absorbentes.

¹⁸ Manual de Aislación Térmica Exterior.

b.- Fachada ventilada.

Corresponde a un revestimiento exterior que es soportado por una subestructura soportante, la cual deja un espacio de aire entre el revestimiento y el aislante que cubre el muro, permitiendo que el aire circule libremente por convección. Este tránsito de aire es suficiente para evaporar el agua o humedad que pudiera haber ingresado al material aislante.

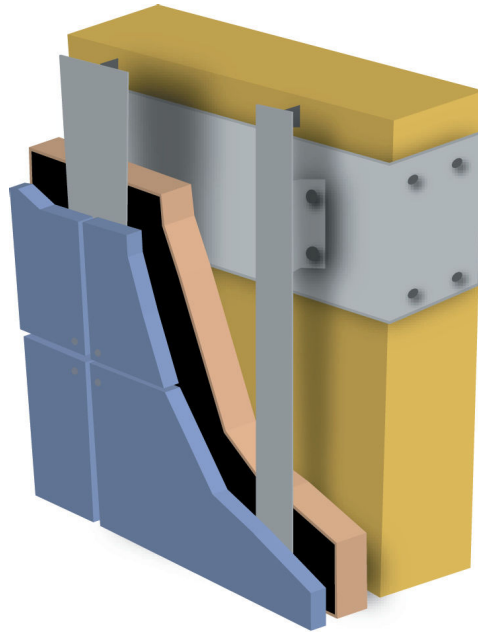


Figura 2.8 Ejemplo de aislación térmica exterior⁽¹⁹⁾. Fachada ventilada.

El sistema de fachada ventilada esta compuesto de:

- 1.- Aislamiento térmico.
- 2.- Cámara de aire.
- 3.- Sistema de soporte.
- 4.- Placa de revestimiento. Materiales comúnmente usados: Fibrocemento a la cerámica, mármol a la piedra, aluminio, aglomerados de piedra o mármol, etc.

¹⁹ Manual de Aislación Térmica Exterior.

2.4.2 Ventanas.

Hoy en día las ventanas son cada vez más utilizadas por los arquitectos tanto para obtener iluminación natural al interior de la vivienda como para disfrutar de la vista al exterior. Sin embargo, debido a su bajo espesor y la escasa resistividad al flujo de calor del vidrio, son muy malos aislantes por lo que su uso excesivo va a aumentar considerablemente las pérdidas de calor en la vivienda.

Como consecuencia de lo anterior, se han realizado una serie de cambios en la reglamentación vigente hoy en día, en los que se restringen los porcentajes de ventanas dependiendo del tipo de esta (ver Anexo A.2).

Para brindarles una mayor aislación se ha implementado un sistema de doble vidriado que reduce considerablemente la transmitancia del elemento.

De esta manera se pueden encontrar en el mercado ventanas de doble vidrio con marco de aluminio, PVC, madera, entre los más usuales.



Figura 2.9 Ejemplo ventanas de doble vidrio con marco de PVC⁽²⁰⁾.

Además, estas opciones pueden incluir algún gas o simplemente aire entre los vidrios, lo que permitirá disminuir su transmitancia.

Por otra parte, los vidrios cuentan con otra propiedad relacionada con la capacidad de permitir pasar la radiación incidente. Se la conoce como factor solar y corresponde al cociente entre la radiación que traspasa el cristal y la radiación total incidente.

²⁰ www.rehau.cl

2.4.3 Puertas.

Las puertas corresponden a un porcentaje mínimo dentro de la superficie total de la envolvente, en consecuencia sus propiedades conductivas no influirán mayormente en los cálculos para obtener el gasto energético de la vivienda. Más aún si tomamos en cuenta que generalmente son elementos fabricados a partir de la madera, la cual brinda una buena aislación.

Pese a lo anterior, este tipo de elementos será igualmente considerado dentro de los cálculos para determinar el gasto energético de la vivienda.

2.4.4 Techo.

El techo se puede aislar de diferentes maneras dependiendo de las características del techo que se tenga en la vivienda. En este sentido, podemos diferenciar dos tipos de viviendas. Las primeras son las que tienen techos inclinados a una, dos o más aguas, mientras que las segundas corresponden a viviendas con techos relativamente horizontales, que incorporan una pequeña pendiente para permitir que escurran las aguas lluvias.



Figura 2.10 Ejemplo de diferentes tipos de techo. Techo horizontal en una casa estilo mediterráneo en la imagen de la izquierda v/s una casa con techo inclinado en la imagen de la derecha.

A continuación se analizarán las posibles aislaciones para cada una de las configuraciones anteriores.

a. Casas con techumbre inclinada.

Estas viviendas pueden presentar una de las siguientes situaciones:

- Con entretecho o desván: En tal caso se puede incorporar algún material aislante directamente sobre el cielo falso que separa la habitación del entretecho. Generalmente se usa lana de vidrio y puede ser ubicado en un plano horizontal.

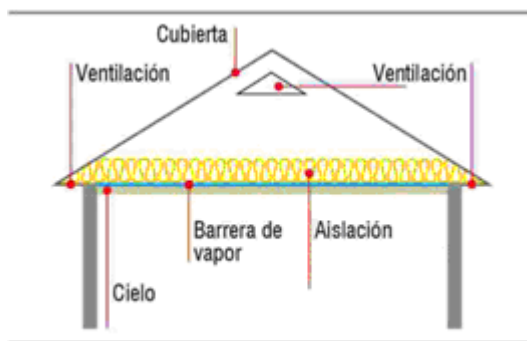


Figura 2.11 Aislación en techos con desván.

- Sin entretecho: En este caso el aislante debe ser incorporado inmediatamente abajo de la cubierta y en consecuencia queda en un plano inclinado, tal como lo indica la figura.

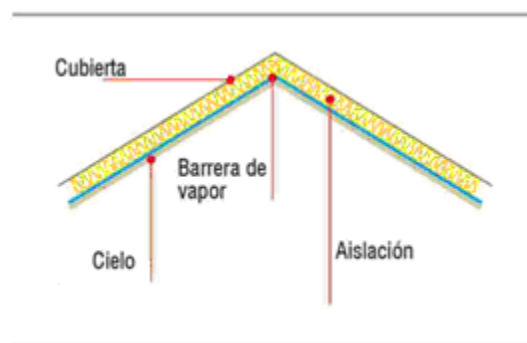


Figura 2.12 Aislación en techos sin entretecho.

b. Casas con techumbre horizontal.

Los techos de estas viviendas pueden estar hechos con una losa de hormigón o simplemente en base a cerchas. En estas el material aislante suele estar ubicado en el exterior (figura 2.11) o en el interior en el caso de una techumbre de cerchas.

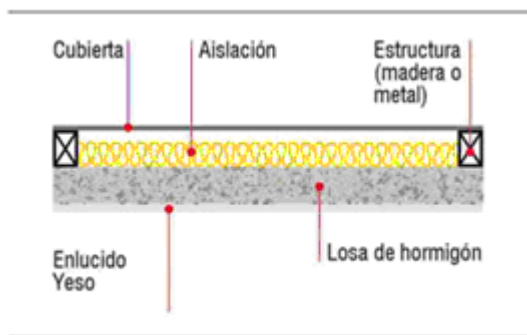


Figura 2.13 Aislación exterior en techos planos.

Además, en ambos casos es posible adicionar una barrera radiante que permite controlar la transmisión de calor en forma de radiación desde la superficie del techo hacia el interior del ático.

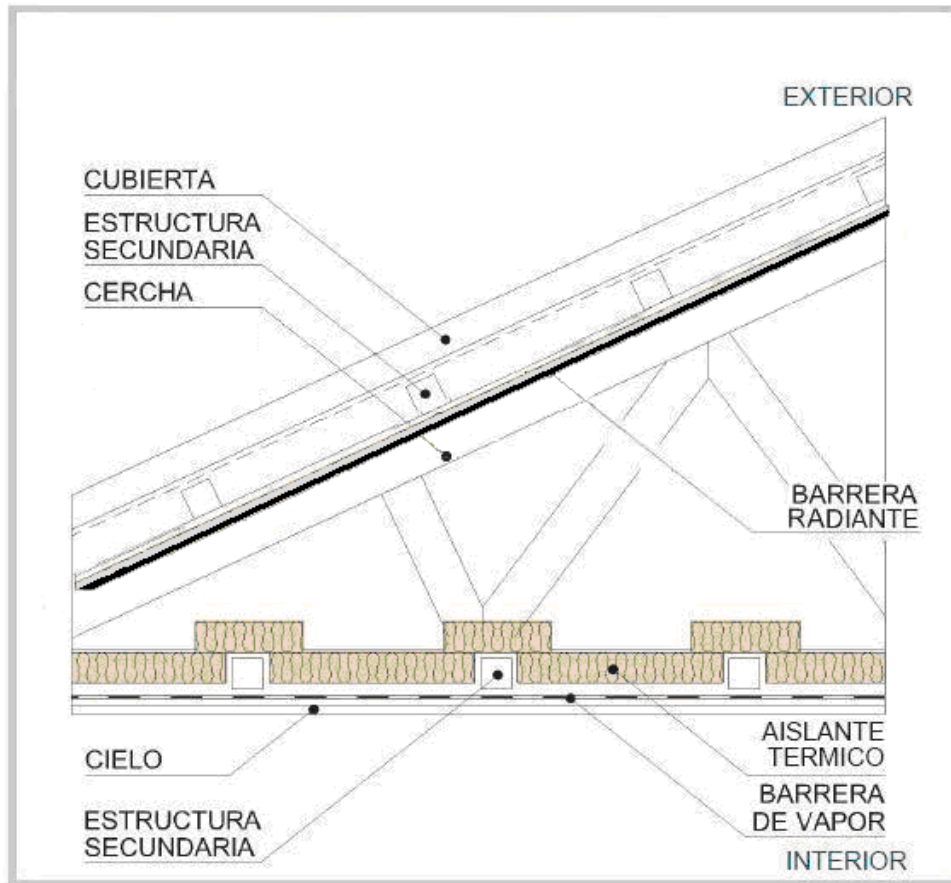


Figura 2.14 Esquema techo con barrera radiante.

La capacidad de transferencia de calor en forma de radiación de los materiales constructivos depende de una propiedad de estos llamada emisividad. Esta vale 1 para materiales que transmiten todo el calor radiante y 0 para materiales con nula transferencia de calor. Los materiales comunes de construcción como la madera y mampostería tienen emisividades de aproximadamente 0,85, mientras que los materiales definidos como barreras radiantes tienen emisividades inferiores o iguales a 0,1. Es por esto que estos logran reducir la tasa de transferencia de calor en forma considerable, lo que puede ser de gran importancia en lugares y épocas del año con excesiva radiación.

2.4.5 Piso.

El piso en las viviendas, junto con los muros y el techo, son los elementos con superficie más expuesta a pérdidas. En consecuencia, resulta evidente que se debe implementar una buena aislación para este elemento, evitando así el contacto directo con el terreno.

La manera más usada para aislar los pisos es incorporar una capa de aislante en su estructura, aumentando así la capacidad resistiva del elemento.

A continuación se ejemplifican dos situaciones en las que se hace uso de este tipo de solución:

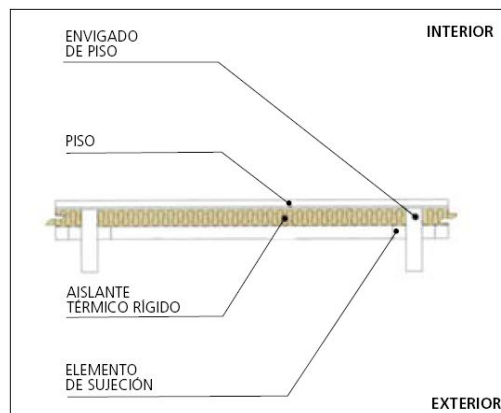


Figura 2.15 Piso con vigas y aislante térmico adosado en cara exterior⁽²¹⁾.

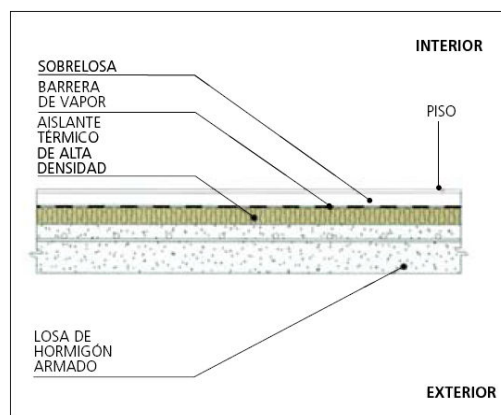


Figura 2.16 Piso con losa y aislante térmico adosado en cara interior⁽²²⁾.

²¹ Revista BIT, mayo 2007.

²² Revista BIT, mayo 2007.

2.5 Tecnologías para el calentamiento de agua sanitaria y calefacción.

Hoy en día existen diversas tecnologías para el calentamiento de agua que permiten reducir los costos en combustibles fósiles y así mismo contribuyen a disminuir la producción de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero.

2.5.1 Tecnologías basadas en el uso de energía solar.

La energía solar es una fuente inagotable de energía la cual llega a nosotros por medio de la radiación.

El sol irradia ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda, las cuales interceptan la atmosfera terrestre. Parte de la radiación solar es reflejada inmediatamente (albedo⁽²³⁾), mientras que el resto ingresa a la atmosfera calentando el aire, océanos y tierra al hacer contacto directo con su superficie.

Los edificios reciben la radiación de dos formas:

- Radiación directa: Como su nombre lo indica es aquella que incide en la superficie directamente desde el Sol.
- Radiación difusa: Es aquella que incide desde todas direcciones y tiene su origen en los múltiples desvíos que experimentan las ondas de radiación al chocar con diferentes partículas de la atmósfera. Esta puede suponerse entre un 10%-15% de la radiación directa en un día soleado, mientras que en uno nublado la radiación es casi en su totalidad difusa.

La cantidad radiación incidente depende de la ubicación geográfica del lugar, especialmente de la latitud, y se denomina insolación.

Entre las diversas aplicaciones que se puede realizar por medio de la energía solar se encuentra el calentamiento de algún fluido por medio de la radiación. Esto ha sido usado desde hace muchos años, aunque en algunos casos de formas bastante precarias pero ingeniosas. El

²³ El **albedo** corresponde a la relación, expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superior a las oscuras. En la Tierra el valor medio es del 30-32% de la radiación que proviene del Sol.

principio básico consiste en utilizar un tubo cuyas características maximicen la absorción de radiación solar y por el cual se hace circular un fluido. El tubo capta la radiación solar y calienta el fluido que circula en su interior.

En la actualidad han surgido una gran cantidad de avances tecnológicos que han permitido perfeccionar las técnicas para el aprovechamiento de esta energía lo que ha dado origen a diversos productos que se fabrican hoy en día a niveles industriales y con los mejores estándares de calidad.

2.5.1.1 Tipos de colectores solares.

A continuación se verá como funcionan los diferentes tipos de colectores solares que existen hoy en día:

➤ Colectores térmicos solares para líquidos

Estos, como su nombre lo indica, utilizan agua o alguno otro liquido como fluido caloportador para así absorber la mayor cantidad de calor posible para luego transferirla al fluido final de uso.

Actualmente se fabrican en diferentes formas dependiendo del uso que se les quiera dar. Mientras unos están hechos para alcanzar altas temperaturas como para procesos industriales, otros se especializan en el calentamiento de aguas a temperaturas relativamente bajas como para el calentamiento de piscinas.

A continuación se verán los más comunes:

a.- Colector solar de placa plana.

Es el colector solar térmico más usado actualmente a nivel residencial y está compuesto principalmente por los siguientes elementos:

- Cubierta transparente de vidrio: Es la encargada de producir el efecto invernadero que, en términos generales, permite la entrada de la radiación solar a ciertas longitudes de onda pero es prácticamente opaca para longitudes de onda mayores. Esto produce un aumento de la temperatura en el interior.

Las principales características que debe tener la cubierta son:

- Alto coeficiente de transmisión a la radiación solar.
- Bajo coeficiente de transmisión para las ondas largas.
- Bajo coeficiente de conductividad térmica para minimizar las pérdidas.

La cubierta casi siempre es de vidrio y en algunas ocasiones se incorpora un doble vidriado para así disminuir las pérdidas de calor.

- Placa captadora: Es la encargada de absorber la radiación solar y transformarla en forma de energía térmica al ser transferida a un fluido caloportador. Esta debe tener buenas cualidades conductivas para así facilitar el traspaso de calor hacia el fluido. Suele ser una placa de cobre con pequeñas tuberías por donde circula el fluido.
- El aislante: Su función es evitar las pérdidas de calor hacia el exterior. Estos deben ser capaces de resistir altas temperaturas sin deteriorarse, por lo que son recubiertos con una capa reflectante que impide que el material aislante reciba directamente la radiación. Suele ser lana de vidrio, ya que es capaz de resistir altas temperaturas.
- La carcasa: Es la encargada de proteger y soportar a los elementos que se encuentran al interior.

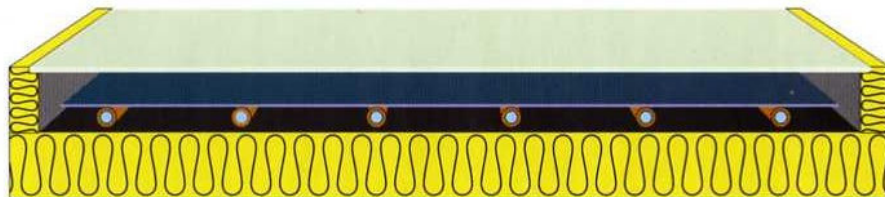


Figura 2.17 Ejemplo de un colector solar de placa plana⁽²⁴⁾.

²⁴ Rudolf Müller, Solarthermie, Solarpraxis.

Las principales características que lo hacen atractivo frente a las demás opciones disponibles en el mercado son su bajo costo y la capacidad para absorber la radiación difusa.

b.- Colector solar de tubos al vacío.

Este tipo de colector solar esta compuesto por una serie de tubos absorbedores metálicos cubiertos por un segundo tubo concéntrico de vidrio, el cual esta lo suficientemente alejado como para dejar un espacio intermedio al vacío. Esto disminuye considerablemente las perdidas por convección y conducción que se generan al existir aire en el espacio intermedio. Por otra parte, el hecho de ser tubos les permite recibir de mejor manera la radiación solar a lo largo del día lo que aumenta su eficiencia respecto al colector de placa plana.

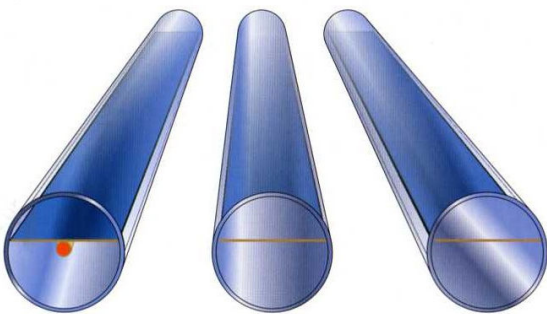


Figura 2.18 Ejemplo de un colector solar de tubos al vacío⁽²⁵⁾.

c.- Colector solar con almacenamiento integrado.

Este tipo de colector corresponde a un estanque de almacenamiento en el que una de sus caras, la expuesta al sol, es utilizada como absorbedor. Este tipo de colectores, al igual que los de placa plana, esta montado sobre una estructura aislada térmicamente de manera de disminuir las pérdidas que se puedan producir. La simplicidad de este tipo de colectores es uno de sus puntos favorables. Sin embargo, al no estar aislada una de las caras del estanque, pierde muy fácilmente el calor cuando la temperatura es baja. Por este motivo es más recomendable para climas calidos donde la oscilación térmica no sea muy grande.

²⁵ Rudolf Müller, Solarthermie, Solarpraxis.

➤ Colectores solares térmicos para aire.

Este tipo de colectores son muy similares a los colectores solares de placa plana para líquidos. La principal diferencia entre estos se encuentra en el diseño interior.

El aire, a diferencia del agua, requiere de un área de intercambio de calor mucho mayor producto de su baja conductividad de calor. Por esta razón, no es posible utilizar tubos como intercambiadores ya que minimizan la superficie de contacto y en cambio se utiliza una placa que maximice el contacto con el aire.

Estos colectores pueden funcionar tanto con circulación forzada por medio de ventiladores, como también por circulación natural por medio de procesos convectivos, tal como se ve en la figura 2.17 donde el aire más frío de la habitación es succionado por el flujo ascendente que se origina al calentarse el aire en el colector.

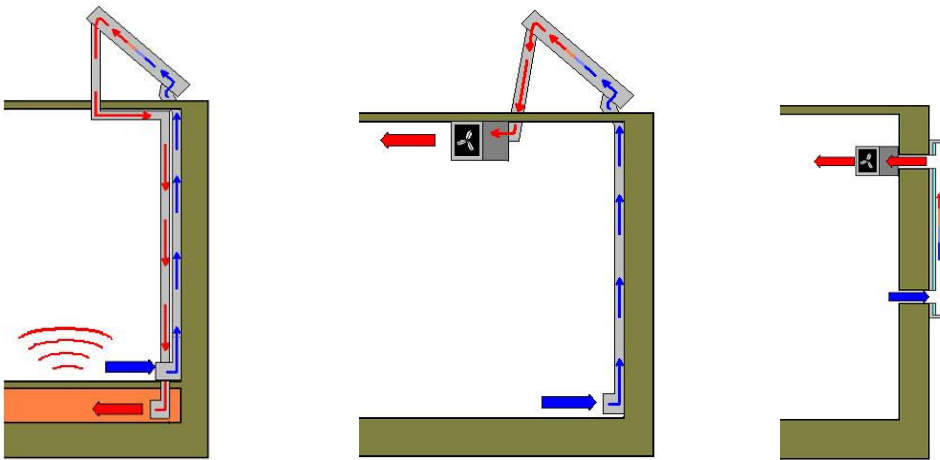


Figura 2.19 Ejemplos de ventilación forzada y aplicaciones⁽²⁶⁾.

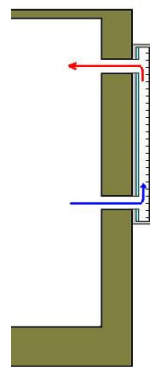


Figura 2.20 Ejemplo de ventilación natural y aplicación.

²⁶ www.sitiosolar.com

2.5.1.2 Tipos de sistemas térmicos solares.

Los sistemas térmicos solares pueden ser clasificados dependiendo de las características de su funcionamiento y de su configuración.

➤ Según su funcionamiento se clasifican como:

- Sistemas directos: el fluido de trabajo del colector es directamente el fluido a utilizar.
- Sistemas indirectos: se utiliza un fluido de trabajo con mejores propiedades, luego por medio de un intercambiador de calor se transfiere el calor absorbido al fluido final.

Una de las ventajas de usar sistemas indirectos es que se puede adicionar anticongelantes y otras sustancias que puedan prolongar la vida útil del colector junto con hacer más eficiente el proceso de captación de calor.

➤ Según su configuración se clasifican como:

- Sistemas de circulación forzada: el fluido de trabajo circula gracias a la acción de algún dispositivo mecánico, por ejemplo una bomba.

Estos requieren de un sistema de control sofisticado que permita un funcionamiento eficiente y automatizado. Los elementos básicos que componen un sistema de circulación forzada son:

1. Collectores solares
2. Depósito de acumulación.
3. Intercambiador (depende si es directo o indirecto)
4. Termostato diferencial o sistema de control.
5. Bomba de circulación
6. Vaso de expansión.
7. Válvulas.

- Sistemas de circulación natural: también conocidos como sistemas de circulación por termosifón. Son aquellos en que el fluido de trabajo circula gracias a los cambios de densidad producidos por diferencias de temperatura.

Los elementos básicos que conforman un sistema de termosifón son:

1. Colectores solares.
2. Depósito de acumulación (con o sin intercambiadores).

En este tipo de sistemas el colector solar se encuentra conectado por medio de un circuito cerrado al estanque de almacenamiento, el cual se encuentra completamente aislado. En caso de ser un sistema indirecto, el estanque de almacenamiento contaría con un intercambiador de calor para transferir el calor del fluido de trabajo al fluido final.

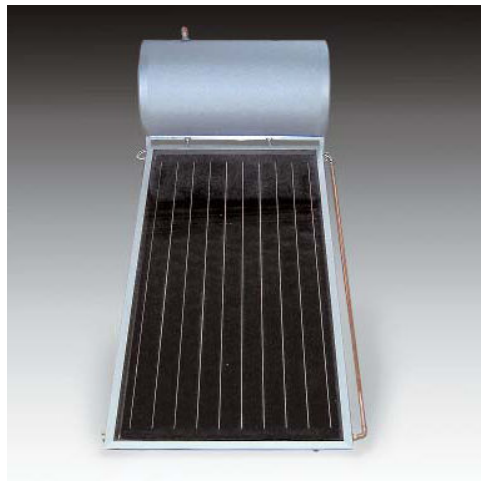


Figura 2.21 Ejemplo de un sistema de termosifón⁽²⁷⁾.

Una de las mayores ventajas de un sistema de circulación natural es la ausencia de un sistema de control, debido a que se auto controla por diferencias de temperatura. Mientras que una de sus principales desventajas radica en la necesidad de contar con un estanque a una altura mayor que el colector.

²⁷ www.rehau.cl

➤ Según el origen de la energía.

- Sistema mixtos:

Estos sistemas se originan producto de que la energía térmica solar por si misma no es suficiente para proporcionar las necesidades especificadas, en consecuencia, se hace uso de un sistema complementario que logra aportar el delta de energía faltante cuando esto sea necesario.

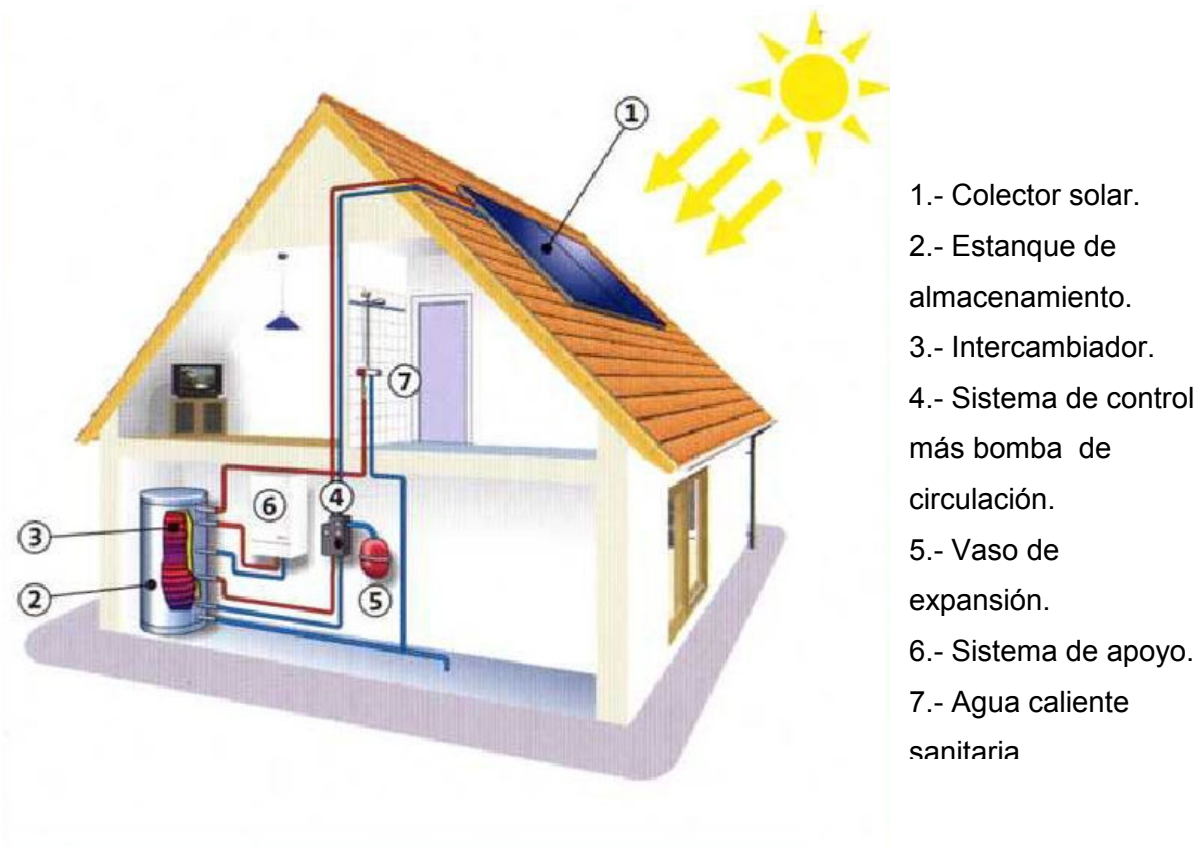


Figura 2.22 Ejemplo de un sistema mixto de circulación forzada⁽²⁸⁾.

Así mismo existen los sistemas que no necesiten de una energía adicional para lograr la temperatura deseada, sin embargo, esto es muy difícil de lograr ya que cuando se necesita más energía (invierno) se dispone de menos energía solar.

²⁸ Rudolf Müller, Solarthermie, Solarpraxis.

2.5.2 Tecnologías basadas en el uso de energía geotérmica.

La geotermia es una tecnología que utiliza la energía que es generada en el interior de la tierra, extrayendo el calor de esta para aprovecharlo de diferentes formas.

Actualmente existen diferentes tipos de yacimientos geotérmicos, los que pueden ser clasificados en tres grupos:

- Geotermia profunda: Alcanza temperaturas superiores a los 150 °C. Dentro de sus usos esta la energía mecánica y eléctrica.
- Geotermia semi-profunda: Temperaturas entre 35 – 150 °C. Dentro de sus usos se encuentra la climatización de edificios.
- Geotermia de superficie: Temperaturas inferiores a 35 °C. Si bien el origen de esta energía no se encuentra en el interior de la tierra, actualmente es igualmente considerada como geotermia puesto que la energía se extrae de la tierra. Sin embargo, esta energía no es más que el calor producto de la radiación solar, que es almacenado en la superficie terrestre.

En los dos primeros casos, la energía esta contenida en rocas y fluidos (agua caliente y vapores) llenando los poros y fracturas de la corteza terrestre. Para lograr extraer esta energía se necesita primero encontrarla, ya que suele estar muy profunda, y luego es necesario realizar excavaciones importantes e idear un mecanismo idóneo para bombear esta agua, lo que puede ser muy costoso y no se justifica para proyectos de baja escala.

Mientras que en la geotermia de superficie la energía aprovechable esta contenida en la tierra superficial, la cual mantiene una temperatura relativamente constante y de fácil extracción.

Geotermia de superficie

La climatización por medio de la geotermia de superficie usa conjuntamente dos técnicas:

- La energía geotérmica.
- Bombas de calor.

El calor ganado del suelo es aumentado por el trabajo aportado por una bomba de calor, producto de una serie de procesos termodinámicos, para luego ceder este calor al circuito cerrado de calefacción. El principio básico de funcionamiento de estas bombas se explica en el capítulo siguiente.

Con este sistema se pueden alcanzar temperaturas cercanas a los 45°C, lo que permite la calefacción por radiadores de baja temperatura. Además, el ciclo de las bombas puede ser invertido en el verano, lo que permite un refrescamiento eficiente de la vivienda durante el verano.

A continuación se verán los tipos de captadores geotérmicos que existen:

- Captadores geotérmicos horizontales.

Estos son enterrados a una profundidad de entre 0,6 – 1,2 m. de donde captan el calor almacenado por la tierra. La superficie de estos depende principalmente de las características del suelo y de la superficie de la vivienda a calefaccionar.



Figura 2.23 Captadores geotérmicos horizontales⁽²⁹⁾.

- Captadores geotérmicos verticales.

Generalmente son usados para la extracción de energía geotérmica de profundidad media, en la que se hace circular un fluido anticongelante por un circuito cerrado formado por tubo de polietileno en forma de U.

²⁹ www.frioycalor.cl

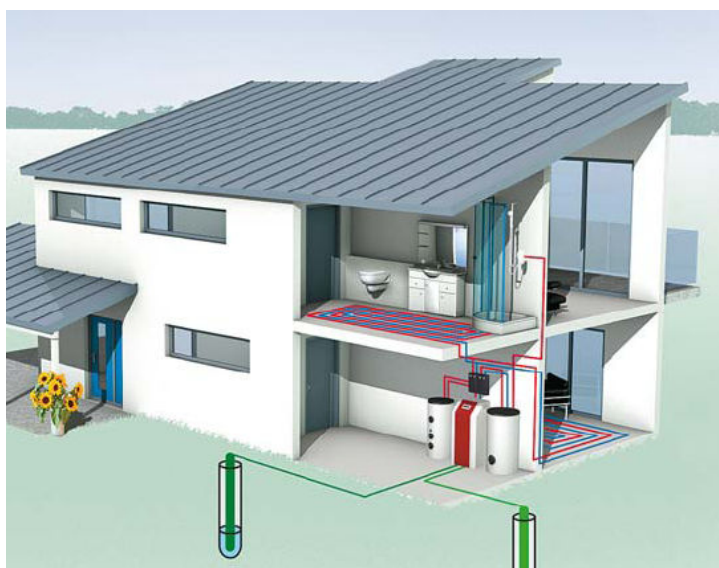


Figura 2.24 Captadores geotérmicos verticales⁽³⁰⁾.

³⁰ Manual de dimensionamiento e instalación bombas de calor para calefacción y preparación de agua caliente, Dimplex.

2.5.3 Otros sistemas para la generación de agua caliente.

A continuación se verán algunos equipos que son usados actualmente para generar A.C.S. y agua para calefacción. Si bien estos no usan fuentes de energía limpia, su consideración es igualmente valiosa ya que, debido a su tecnología, poseen un alto grado de eficiencia frente a los demás aparatos que se usan actualmente. Además, estos pueden ser ocupados como sistemas de apoyo para las tecnologías antes vistas.

➤ **Bombas de calor.**

Es una máquina térmica que permite transferir calor desde un foco a otro según sea el caso. Por regla general de termodinámica, el calor se dirige de manera espontánea desde un foco caliente a otro frío hasta igualar las temperaturas. Sin embargo, con este tipo de bombas se hace un aporte de trabajo que permite llevar a cabo el proceso inverso.

Una bomba de calor emplea un fluido refrigerante con un bajo punto de ebullición, por lo que requiere de una baja energía (calor latente) para evaporarse. Esta energía es extraída del medio en forma de calor.

Funcionamiento:

1. El fluido refrigerante a baja temperatura y en estado gaseoso pasa por el compresor, elevando su presión y en consecuencia su energía interna.
2. Al circular por el intercambiador de calor, llamado condensador, cede calor al foco caliente puesto que esta aun más caliente que éste, produciéndose el primer cambio de fase, y en consecuencia cambia a estado líquido. Cede su calor latente.
3. El fluido refrigerante en estado líquido se hace pasar por una válvula de expansión, donde recupera su presión inicial y se enfría bruscamente.
4. Al circular por un nuevo intercambiador de calor, llamado evaporador, absorbe el calor del foco frío, puesto que el fluido refrigerante esta aún más frío que dicho foco. Se produce un nuevo cambio de fase, donde adquiere la energía latente de vaporización.
5. Por último, el fluido refrigerante evaporado regresa al compresor, donde comienza nuevamente el ciclo.

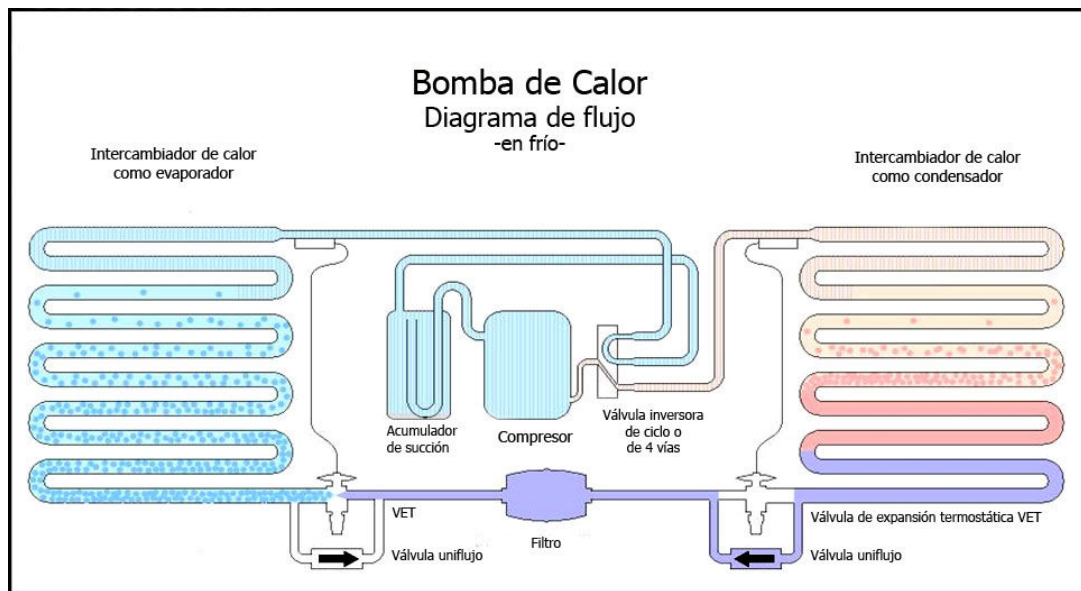


Figura 2.25 Esquema funcionamiento de una bomba de calor⁽³¹⁾.

El rendimiento obtenido en este tipo de máquinas depende directamente de la diferencia de temperaturas entre el foco frío y el foco caliente.

El rendimiento de estas se denomina COP (coefficient of performance) y es mayor que la unidad. En toda bomba de calor se cumple que el calor extraído del foco frío más la potencia consumida por el compresor es igual al calor transmitido al foco caliente.

$$Q_C = Q_F + W$$

donde,

Q_C = Calor transmitido al foco caliente

Q_F = Calor extraído del foco frío

W = Potencia consumida por el compresor

Dado que el efecto útil de una bomba depende de su uso, se tiene dos expresiones diferentes para el COP.

- Para refrigerar un ambiente el efecto útil es el calor extraído del foco frío:

$$COP = \frac{Q_F}{W}$$

³¹ www.wikipedia.com

- Para calentar un ambiente el efecto útil es el calor introducido:

$$COP = \frac{Q_F + W}{W}$$

Este tipo de bombas puede ser utilizada para extraer calor de la tierra (bombas geotérmicas), de napas de agua o simplemente del ambiente (bombas aerotérmicas).



Figura 2.26 Ejemplo bomba aerotérmica⁽³²⁾.

³² Manual de dimensionamiento e instalación bombas de calor para calefacción y preparación de agua caliente, Dimplex

➤ **Calderas de condensación.**

Una caldera de condensación es un artefacto que produce agua caliente a bajas temperaturas (40 – 60°C) con un alto rendimiento y muy bajas emisiones de CO₂ y NO_x.

Las calderas comunes utilizan, generalmente, combustibles fósiles en base a hidrocarburos (gas natural, GLP, petróleo). Estos están compuestos de hidrógenos y carbonos que al combinarse con el oxígeno del aire forman agua en estado gaseoso (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂), respectivamente. El agua en estado gaseoso puede ceder su energía latente de vaporización para precalentar el agua de calefacción que ingresa a la caldera, sin embargo es liberada a la atmósfera desperdiciando esta energía.

Para tener una idea de la energía que es desperdiciada, en las calderas tradicionales los humos de combustión salen a una temperatura de entre 150-200°C mientras que en las calderas de condensación salen con una temperatura inferior a 70°C.

El rendimiento de este tipo de calderas puede llegar a ser sobre el 100%, dependiendo si se considera o no el calor ganado por el cambio de fase de los vapores de combustión. En este sentido, si incorpora el calor aportado por el cambio de fase se dice que el rendimiento se calcula en base al poder calorífico superior. Mientras que el poder calorífico inferior no considera el calor aportado por el cambio de fase del vapor a agua líquida.

Funcionamiento:

1. Al comenzar su funcionamiento, la caldera calienta el agua de calefacción en el intercambiador térmico principal exclusivamente con el poder calorífico del combustible utilizado.
2. Luego de un pequeño delta de tiempo de funcionamiento, el agua proveniente de la red de calefacción comienza a ser precalentada en el intercambiador térmico secundario para luego pasar al intercambiador térmico principal donde alcanza la temperatura deseada y es enviada nuevamente a la red de calefacción.

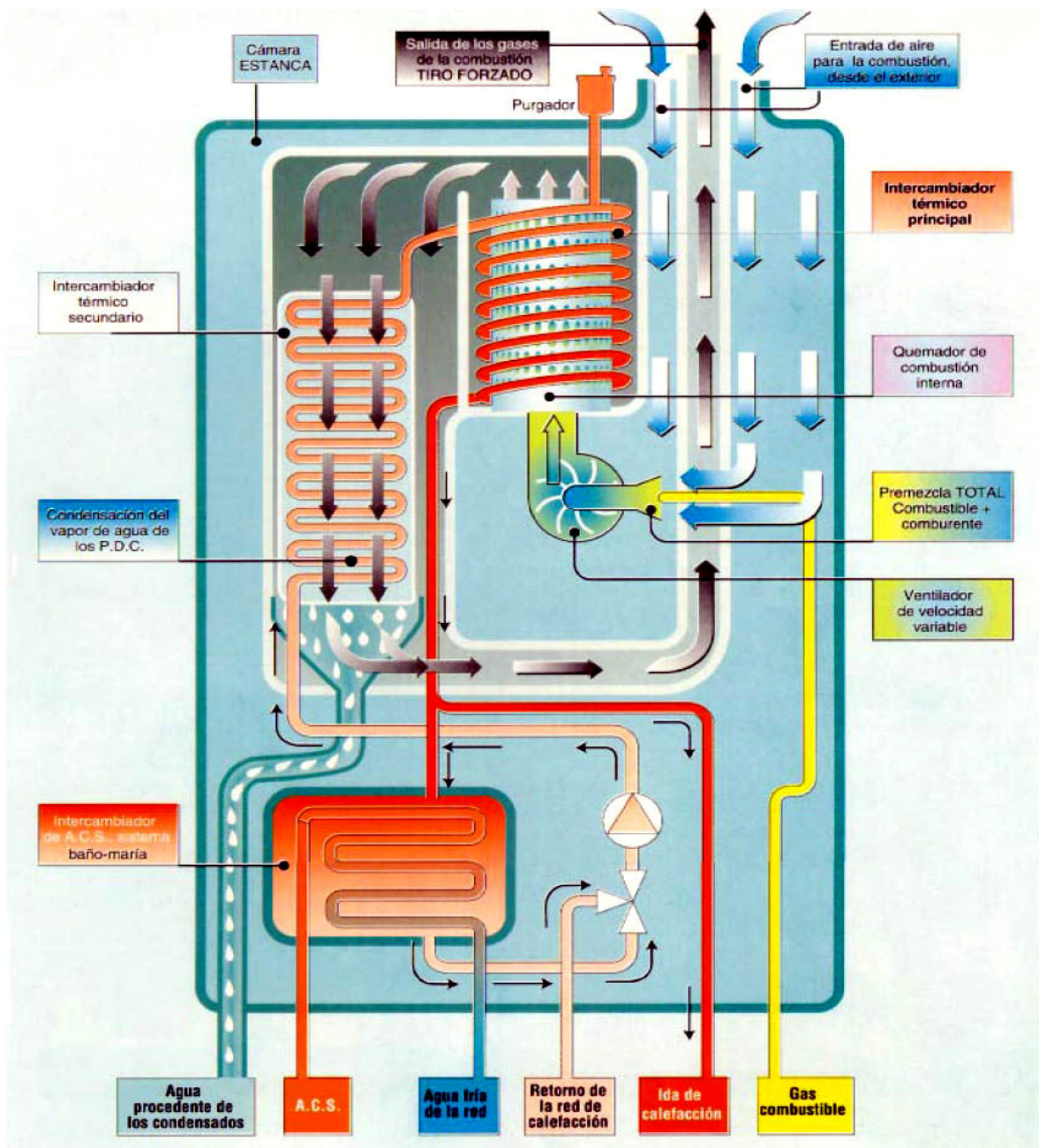


Figura 2.27 Ejemplo de funcionamiento de calderas de condensación.

Como se puede apreciar en el esquema, en estas calderas se incluye la posibilidad de calentamiento de agua sanitaria en un tercer intercambiador donde parte del agua destinada a calefacción es utilizada para ceder el calor al agua sanitaria para luego unirse con el agua de retorno de calefacción e iniciar nuevamente el ciclo al pasar por el intercambiador térmico secundario.

CAPITULO 3

ANÁLISIS DE LAS VIVIENDAS

3.1 Descripción general del proyecto.

La inmobiliaria que desarrolla este proyecto está enfocada en el desarrollo de proyectos inmobiliarios de baja escala pero de muy alta calidad, teniendo siempre en mente la manera de reducir los costos operacionales que tendrán sus clientes en el futuro.

El proyecto inmobiliario a analizar corresponde a un pequeño condominio de 7 casas de estilo mediterráneo en el sector oriente de Santiago, específicamente en el sector de Los Dominicos. Este se ubica en la comuna de Las Condes, a una altitud aproximada de 780 m.s.n.m.



Figura 3.1 Vista general del proyecto.



Figura 3.2 Vista a una de las viviendas.

3.2 Condiciones climáticas.

Debido a la complejidad para obtener datos específicos del sector que cuenten con el historial lo suficientemente extenso como para tener resultados confiables, es que se hará uso de datos públicos.

Los datos más relevantes para realizar el estudio corresponden a la temperatura media mensual del aire, la radiación solar mensual y la temperatura media mensual de la tierra.

➤ Temperatura media mensual del aire:

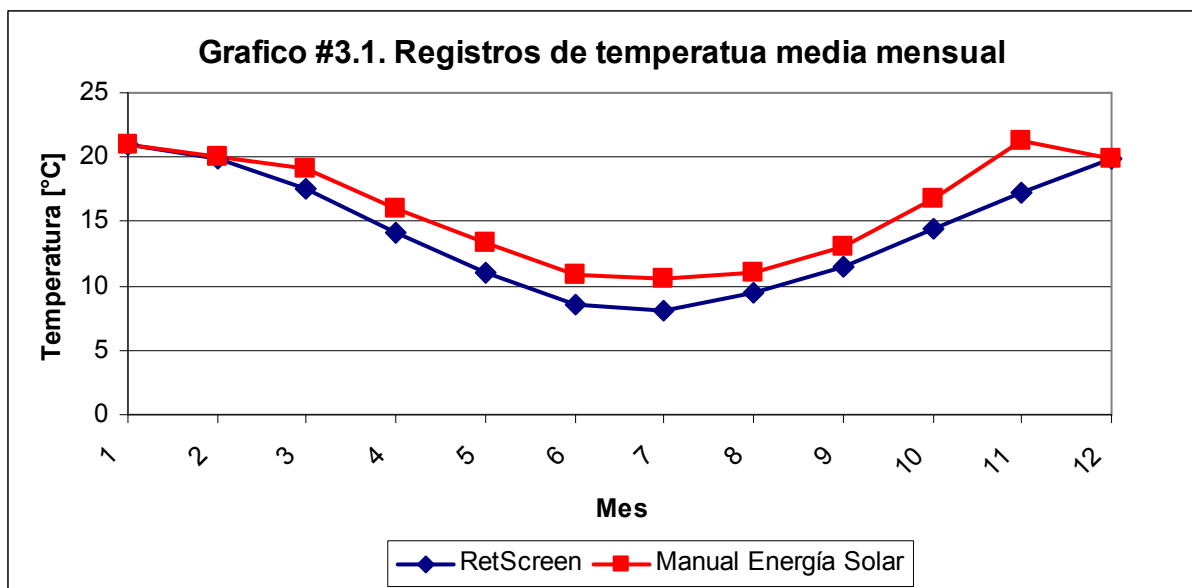
La temperatura media mensual del aire nos permitirá conocer los grados días necesarios para obtener la demanda energética anual para calefaccionar la vivienda.

Revisando diferentes fuentes se obtuvieron los siguientes datos:

- Según la zonificación de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones para la Región Metropolitana, la ubicación del proyecto corresponde a la intersección de las zonas 5 y 3. Debido a que el cambio de zonas es gradual se considerará que el proyecto se ubica en la zona número 4, cuyos GD anuales oscilan entre 1000-1250. (Anexo A.3). Sin embargo, estos GD anuales consideran 15 °C como temperatura base de confort térmico, lo que está por debajo de los requisitos para este tipo de viviendas.
- Los registros de temperaturas medias mensuales más cercanos al proyecto corresponden a las proporcionadas por RetScreen⁽¹⁾ y por el Manual de Energía Solar, ambos para Quinta Normal, y son las siguientes:

¹ Natural Resources Canada. <http://www.retscreen.net>

Tabla #3.1. Temperatura media mensual Quinta Normal		
Mes	RetScreen	Manual Energía Solar
Enero	20,9	21
Febrero	19,9	20
Marzo	17,6	19,1
Abril	14,2	16
Mayo	11,1	13,3
Junio	8,5	10,8
Julio	8,1	10,5
Agosto	9,5	11,1
Septiembre	11,5	13
Octubre	14,5	16,8
Noviembre	17,3	21,3
Diciembre	19,9	19,8



Al ver el gráfico se puede apreciar que existen pequeñas diferencias entre ambas fuentes, sin embargo, se tomarán como válidas las temperaturas entregadas por el Manual de Energía Solar ya que este tiene una mayor trascendencia para nuestro país, lo que supone una mayor fiabilidad en los datos.

Sin embargo, la curva de temperaturas del Manual de Energía Solar presenta una anomalía en el mes de noviembre, cuya temperatura media es inusualmente superior a cualquier otro mes del año. Para efectos prácticos será corregida siguiendo la tendencia de aumento normal de temperaturas.

Por otra parte hay que destacar que la ubicación del proyecto no corresponde a la estación de donde provienen los datos, por lo que estos serán corregidos según una regla

basada en datos empíricos en la que la temperatura desciende alrededor de 2°C por un aumento en 300 m de altura. Luego considerando que la diferencia de altura entre Quinta Normal y el proyecto son alrededor de 250 m⁽²⁾, la temperatura media mensual del ambiente deberá ser corregida en 1,7°C y en consecuencia la temperatura correcta del proyecto es la siguiente:

Tabla #3.2. Temperatura media mensual para el proyecto	
Mes	Temperatura
Enero	19,3
Febrero	18,3
Marzo	17,4
Abril	14,3
Mayo	11,6
Junio	9,1
Julio	8,8
Agosto	9,4
Septiembre	11,3
Octubre	15,1
Noviembre	16,6
Diciembre	18,1

² Este valor se obtuvo mediante el programa Google Earth.

➤ Radiación solar mensual:

La radiación solar incidente en el sector será útil para conocer las ganancias térmicas de las viviendas y también para poder dimensionar el sistema de paneles termo solares que se implementarán.

Revisando diferentes fuentes se obtuvieron los siguientes datos:

- Según La NCh 1079 la insolación para Santiago es

Tabla #3.3. Insolación Santiago			
Mes	[cal/cm ² /día]	[kWh/m ² /día]	[MJ/m ²]
Enero	570	6,62	739,3
Julio	130	1,51	168,6

- Según RetScreen la radiación solar para la Región Metropolitana es

Tabla #3.4. Radiación solar [kWh/m²/día]		
Mes	Quinta Normal	Pudahuel
Enero	6,28	8,49
Febrero	5,56	7,50
Marzo	4,19	6,01
Abril	2,58	4,39
Mayo	1,75	2,98
Junio	1,22	2,47
Julio	1,33	2,70
Agosto	2,28	3,52
Septiembre	3,06	4,82
Octubre	4,86	6,34
Noviembre	5,69	7,79
Diciembre	6,42	8,58

- Según los registros de la Universidad Técnica Federico Santa María (U.T.F.S.M) para la Región Metropolitana se tiene lo siguiente:

Tabla #3.5. Radiación solar mensual y anual en plano horizontal [MJ/m²]							
Región Metropolitana	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
PUDAHUEL	781,1	599,8	547,5	366,1	234,5	179,9	222,3
CERRO CALAN	772,6	634,9	535,8	367,5	248,2	195,6	183
STGO. EDIFICIO	729,1	564,2	511,8	320	201,6	171,6	172,5
STGO. TOBALABA	695,1	583,1	460	345,8	249,6	186,8	223,1
STGO. QUINTA NORMAL	715,1	571,7	472,1	322,7	200,5	142,3	175,2
STGO. BANDERA	719,6	587,9	509,6	338,7	235,3	176,2	183,1
STGO. EL BOSQUE	711,7	595,5	532,3	363,9	258,6	184,9	225,7
PIRQUE	839	592	548,1	381,2	239,7	207,4	211,3
SAN JOSE DE MAIPO	685,5	577,1	471,4	356,6	227,2	147,3	179,5
LAS MELOSAS	741,7	588,1	523,5	369,6	238,4	174,5	239

Tabla #3.6. Radiación solar mensual y anual en plano horizontal [MJ/m²]						
Región Metropolitana	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
PUDAHUEL	340,9	429,6	571,1	712	808,5	5793,4
CERRO CALAN	272,2	398	503	635,8	751,5	5498
STGO. EDIFICIO	261,7	364,7	519,8	597,1	708,1	5122,2
STGO. TOBALABA	300,6	403,7	524,1	650,5	735,1	5357,4
STGO. QUINTA NORMAL	253	362,7	499	628	719,7	5062
STGO. BANDERA	297,1	382,1	510,8	632,5	727,7	5300,6
STGO. EL BOSQUE	321,3	433,4	558,9	648	687,3	5521,4
PIRQUE	320,2	405,1	555,3	711	897,2	5907,5
SAN JOSE DE MAIPO	288,9	423,1	543,5	618,8	712,3	5231,3
LAS MELOSAS	329,3	416,2	569,8	689,3	767	5646,4

Para los efectos de cálculo se considerarán como válidos los datos proporcionados por RetScreen, ya que los datos recopilados por la U.T.F.S.M son muy antiguos y en consecuencia provienen de estaciones con equipos de tecnología obsoleta y por lo tanto los datos no son muy veraces. Un cálculo simple para verificar estos datos es obtener el índice de transparencia que para Santiago no debiera ser inferior a 0,4.

$$indice_transparencia = \frac{Radiación_Horizontal}{Radiación_extraterrestre}$$

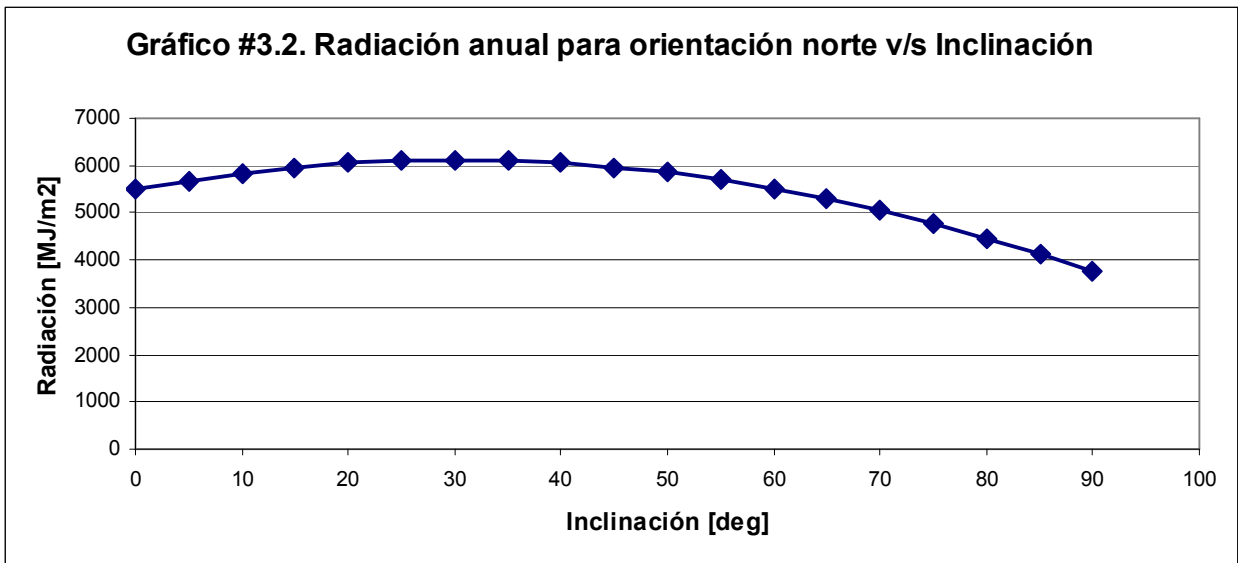
Se entiende por radiación extraterrestre (H_0) a la radiación en plano horizontal en ausencia de atmósfera.

A continuación se muestran los índices de transparencia para ambas fuentes en diferentes estaciones.

Tabla #3.7. Radiación horizontal (H_z) [kWh/m2] e índice de transparencia (K_T)											
Mes	Ho Santiago	U.T.F.S.M						RetScreen			
		Cerro Calan		Quinta Normal		Pudahuel		Quinta Normal		Pudahuel	
		H_z	K_T	H_z	K_T	H_z	K_T	H_z	K_T	H_z	K_T
Enero	369,2	214,6	0,58	198,6	0,54	217,0	0,59	194,68	0,53	263,19	0,71
Febrero	302,7	176,4	0,58	158,8	0,52	166,6	0,55	155,68	0,51	210	0,69
Marzo	284,9	148,8	0,52	131,1	0,46	152,1	0,53	129,89	0,46	186,31	0,65
Abril	213,0	102,1	0,48	89,6	0,42	101,7	0,48	77,4	0,36	131,7	0,62
Mayo	168,3	68,9	0,41	55,7	0,33	65,1	0,39	54,25	0,32	92,38	0,55
Junio	138,6	54,3	0,39	39,5	0,29	50,0	0,36	36,6	0,26	74,1	0,53
Julio	152,5	50,8	0,33	48,7	0,32	61,8	0,40	41,23	0,27	83,7	0,55
Agosto	194,4	75,6	0,39	70,3	0,36	94,7	0,49	70,68	0,36	109,12	0,56
Septiembre	247,5	110,6	0,45	100,8	0,41	119,3	0,48	91,8	0,37	144,6	0,58
Octubre	314,7	139,7	0,44	138,6	0,44	158,6	0,50	150,66	0,48	196,54	0,62
Noviembre	346,8	176,6	0,51	174,4	0,50	197,8	0,57	170,7	0,49	233,7	0,67
Diciembre	376,7	208,8	0,55	199,9	0,53	224,6	0,60	199,02	0,53	265,98	0,71

De la tabla anterior se puede apreciar que, según el criterio expuesto anteriormente, la fuente más confiable de datos corresponde los entregados por RetScreen para Pudahuel. Es por esto que esos serán los datos a utilizar en el dimensionamiento del sistema de paneles solares.

Por otra parte es importante señalar que la radiación incidente sobre el colector dependerá de la inclinación y orientación que se le de a este. En este sentido, considerando la orientación norte como la más favorable, se analizaron las distintas inclinaciones corrigiendo la radiación incidente con los factores entregados en el Manual de Energía Solar (Anexo C.2) y se obtuvo lo siguiente.



En el gráfico se puede apreciar que la mayor incidencia de radiación durante el año se logra para una inclinación de 30° respecto de la horizontal. Es por esto que se adoptara esta inclinación al momento de dimensionar cualquier instalación de paneles termo-solares.

Es importante señalar que la mayor radiación se logra para una inclinación de 33,5° (latitud de Santiago) respecto de la horizontal. Esto no se puede apreciar en el gráfico ya que no hay registros para esta inclinación.

➤ Temperatura media mensual de la tierra:

La temperatura media mensual de la tierra será útil para conocer las ganancias térmicas en los captadores geotérmicos que permitirán junto con una bomba de calor, proporcionar el confort adecuado dentro de la vivienda. Con este dato se podrá dimensionar el tamaño y superficie que abarcara el serpentín del sistema.

Este parámetro deberá ser medido en terreno al igual que las características del suelo.

3.3 Arquitectura de diseño.

El condominio esta conformado por tres tipos casas de estilo mediterráneo construidas en dos pisos. Los tipos de casas varían principalmente en su superficie construida y orientación.

Casa tipo.

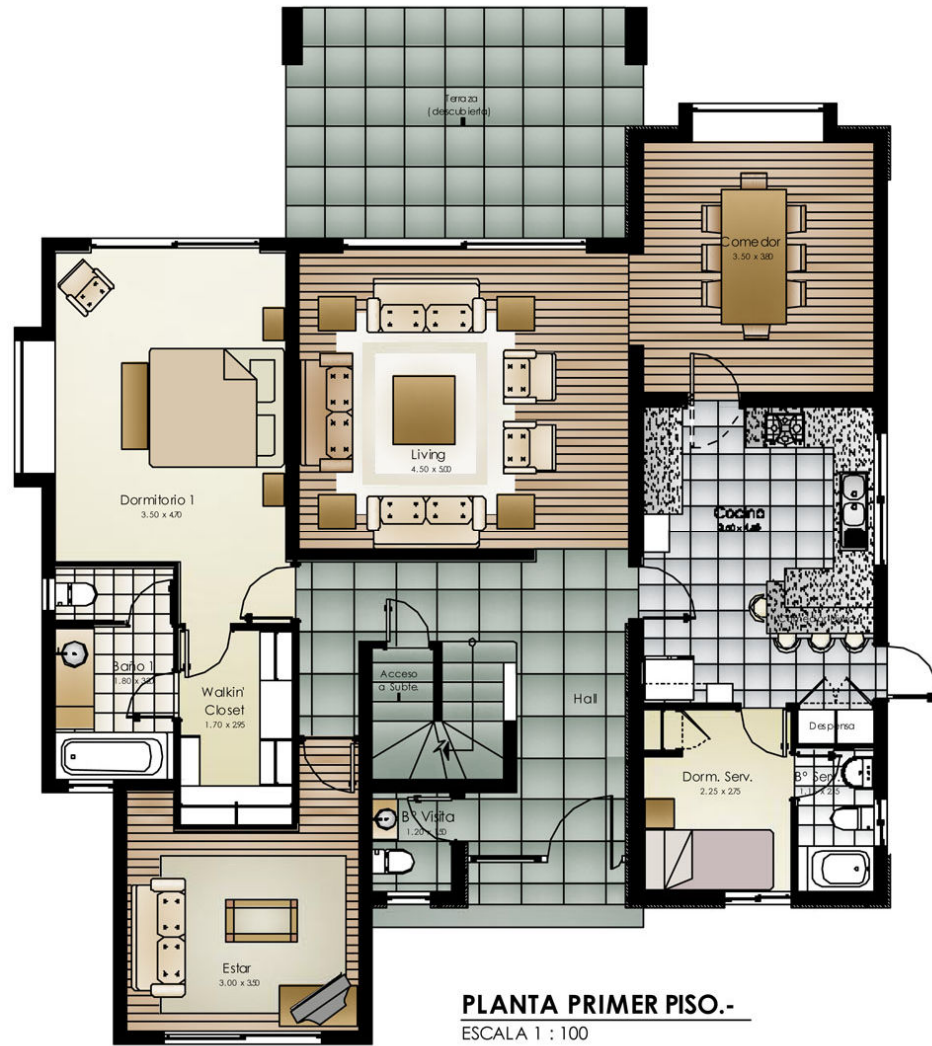


Figura 3.3 Planta 1^{er} piso⁽³⁾.

³ www.constructorasae.cl

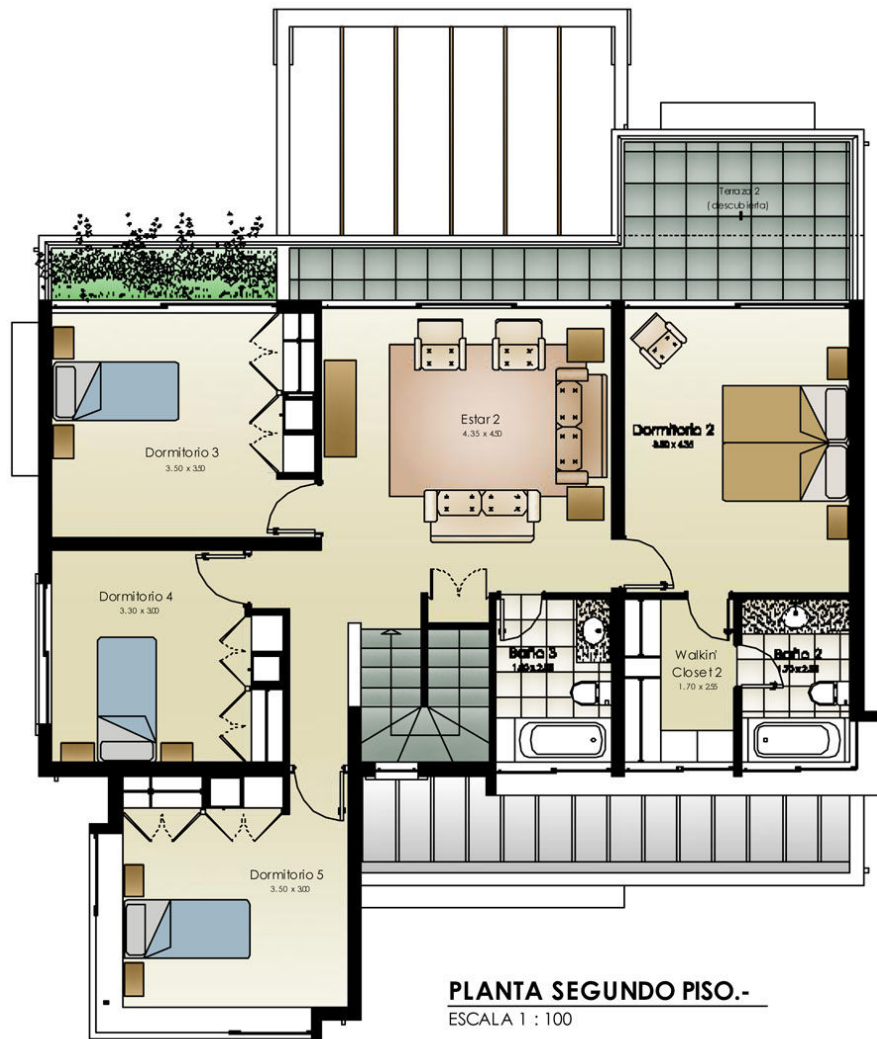


Figura 3.4 Planta 2^{do} piso.

Como se dijo anteriormente, dentro del condominio existen tres tipos de casas, las que se describen a continuación.

➤ Casa A.

Corresponde a la casa N° 1 del condominio y es exactamente igual a la casa tipo. Su orientación es con el norte al lado izquierdo de la hoja. Tiene 250 m² construidos.

➤ Casa B.

Corresponde a la casas N° 2, 3, 4, 5 y 6 del condominio. Su arquitectura de diseño difiere de la casa tipo en que en el segundo piso no posee el dormitorio N° 5 y su orientación es con el norte al lado derecho de la hoja. Tiene 235 m² construidos.

➤ Casa C.

Corresponde a la casa N° 7 del condominio y es exactamente iguala a la casa tipo. Su orientación es con el norte al lado derecho de la hoja. Tiene 250 m² construidos.

3.4 Caracterización de los componentes de la envolvente de las viviendas.

A continuación se realizará una descripción de cada uno de los componentes que conforman la envolvente.

➤ Muros.

Estructuralmente esta vivienda está construida con muros de hormigón armado prefabricado. Los muros, previamente diseñados y calculados, son construidos en una fabrica para luego ser llevados a terreno mediante camiones con grúas especializados. Estos están formados por cadenas y pilares dejando vanos donde se ubica el material aislante que permite alivianar la estructura y al mismo tiempo brindar una adecuada aislación térmica.

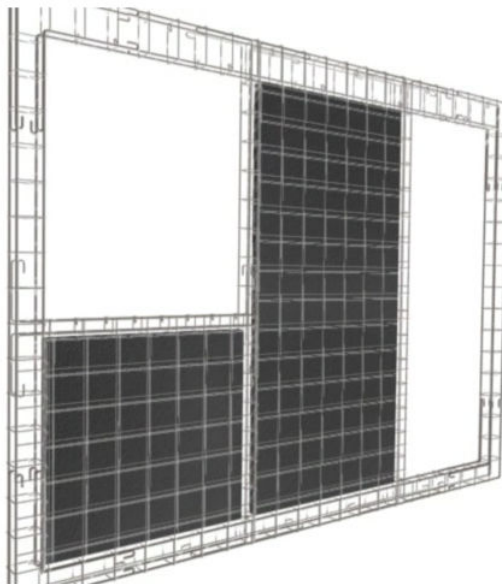


Figura 3.5 Muros perimetrales prefabricados de hormigón con aislación incorporada.

Los muros de hormigón tienen un espesor de 14[cm] y 16[cm], y tienen en su interior poliestireno expandido (EPS) de densidad $10[\text{kg}/\text{m}^3]$ y un espesor de 5[cm], dejando a cada lado un recubrimiento de 4,5[cm] de hormigón.

Para este tipo de componente existen tres configuraciones, las que se describen a continuación. Resulta necesario mencionar que debido al tipo de aislación, cada una de estas configuraciones presenta dos variantes: la zona con aislante y la zona de hormigón continuo (nervadura).

- Muro sin mampostería de piedra de espesor 14[cm]

Tabla #3.8. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Parte Aislada						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Mortero	0,3	1,4	0,002		
2	Hormigón	4,5	1,63	0,028		
3	EPS 10 kg/m ³	5	0,043	1,163		
4	Hormigón	4,5	1,63	0,028		
5	Yeso	0,75	0,44	0,017		
6	Capas de aire ⁽⁴⁾			0,12		
Conjunto					1,357	0,74

Tabla #3.9. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Nervadura						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Mortero	0,3	1,4	0,002		
2	Hormigón	14	1,63	0,086		
3	Yeso	0,75	0,44	0,017		
4	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,225	4,44

⁴ Solo se consideró la capa de aire interna ya que la externa desaparece con vientos superiores a 10 km/h según la NCh 853. Si bien no se tiene certeza de los vientos locales es preferible eliminar los efectos de ésta ya que así se está trabajando por el lado seguro. Esta consideración se realizó para todas las capas de aire de los elementos.

- Muro con mampostería de piedra de espesor 14[cm]

Tabla #3.10. Muros con mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Parte aislada						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Piedra	9	3,5	0,026		
2	Mortero	3,5	1,4	0,025		
3	Hormigón	4,5	1,63	0,028		
4	EPS 10 kg/m ³	5	0,043	1,163		
5	Hormigón	4,5	1,63	0,028		
6	Yeso	0,75	0,44	0,017		
7	Capas de aire			0,12		
Conjunto					1,406	0,71

Tabla #3.11. Muros con mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Nervadura						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Piedra	9	3,5	0,026		
2	Mortero	3,5	1,4	0,025		
3	Hormigón	14	1,63	0,086		
4	Yeso	0,75	0,44	0,017		
5	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,274	3,65

- Muro sin mampostería de piedra de espesor 16[cm]

Esta configuración no lleva aislación.

Tabla #3.12. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 16 cm. Nervadura						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Mortero	0,3	1,4	0,002		
2	Hormigón	16	1,63	0,098		
3	Yeso	0,75	0,44	0,017		
4	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,237	4,21

➤ Ventanas.

Las ventanas que conforman la envolvente corresponden a ventanas de doble vidrio y ventanas simples, ambas con marcos de aluminio. Estas están formadas por vidrios de 5[mm] y en el caso de los termo-paneles con una cámara de aire de 10[mm].

Tabla #3.13. Ventanas doble vidrio. Vidrio						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Vidrio	0,5	1,2	0,004		
2	Cámara de aire	1		0,140		
3	Vidrio	0,5	1,2	0,004		
4	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,268	3,73

Tabla #3.14. Ventanas simples. Vidrio						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Vidrio	0,5	1,2	0,004		
2	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,124	8,05

Tabla #3.15. Ventanas simple y doble vidrio. Marco						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Aluminio	2,4	210	0,0001		
2	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,12	8,33

Tabla #3.16. Factor solar⁽⁵⁾	
Doble vidrio	0,9
Simple	1

⁵ Factores obtenidos de "Handbook of Air Conditioning System Design", de Carrier Air Conditioning Company.

➤ Puertas

Las puertas que conforman la envolvente son dos, la del acceso principal y la de la cocina con el patio de servicio.

Debido a la configuración del acceso principal, que esta compuesto por un marco de madera, una ventana y la puerta, es que en este ítem se incluirá el marco tanto de la puerta como de la ventana.

Tabla #3.17. Acceso principal. Puerta.						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Madera	0,4	0,1	0,04		
2	Cámara de aire no ventilada	6		0,163		
3	Madera	0,4	0,1	0,04		
4	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,363	2,75

Tabla #3.18. Acceso principal. Marco.						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Madera	10	0,1	1		
2	Capas de aire			0,17		
Conjunto					1,17	0,85

Tabla #3.19. Puerta cocina.						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Madera	0,4	0,1	0,04		
2	Cámara de aire no ventilada	6		0,163		
3	Madera	0,4	0,1	0,04		
4	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,363	2,75

➤ Techo

Dentro de este componente existen dos variantes, la primera corresponde al techo del segundo piso, mientras que la segunda corresponde al cielo del primer piso que queda expuesto (terrazas, jardineras, techos).

Para la primera variante, el techo esta conformado en base a cerchas de madera y posee una leve pendiente que permite que las aguas lluvias puedan escurrir hacia las canaletas de evacuación. Sin embargo, debido a la poca inclinación de ésta (del orden de 7 %) será considerado como horizontal para los efectos del cálculo del gasto energético.

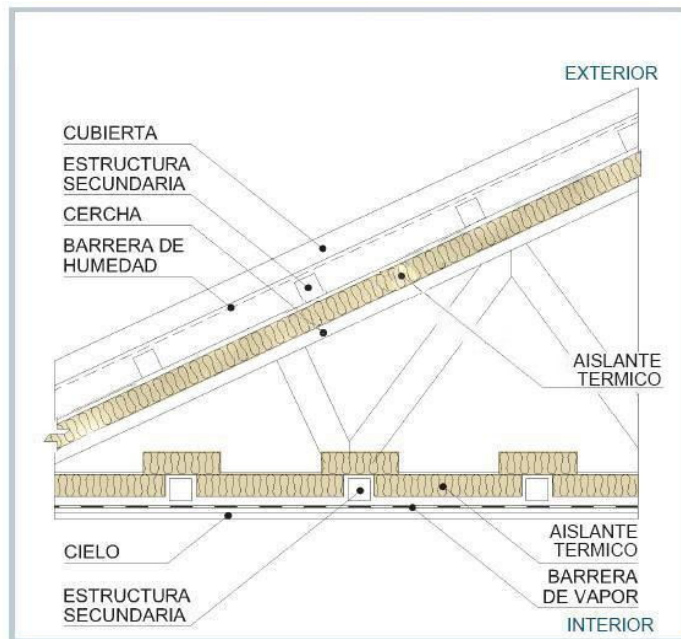


Figura 3.6 Esquema de techo⁶.

En el esquema anterior la pendiente no representa la realidad, que es de un 7 %. Por otra parte, la aislación inclinada corresponde a poliuretano inyectado y la horizontal a poliestireno expandido.

Es importante señalar que la cámara de aire del techo será considerada medianamente ventilada. Para estos casos, según lo especificado en la NCh 853 Of 2001, es necesario obtener la transmitancia para el caso no ventilado y muy ventilado para luego poder calcular el caso medianamente ventilado de la siguiente forma:

$$U_{MED_VENTILADA} = U_{NO_VENTILADA} + 0,4 \cdot (U_{VENTILADA} - U_{NO_VENTILADA})$$

⁶ Manual de reglamentación térmica. OGUC

Tabla #3.20. Techo. Cámara de aire no ventilada

	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Cubierta de hojalata	0,5	210	2,38E-05		
2	Barrera de humedad	0		0		
3	Plancha de OSB ⁽⁷⁾	1,2	0,102	0,12		
4	Poliuretano inyectado	3	0,025	1,20		
5	Cámara de aire no ventilada	e >40 mm		0,15		
6	EPS 10 kg/m ³	8	0,043	1,86		
7	Cielo falso de Yeso - cartón	2	0,26	0,08		
8	Capas de aire			0,09		
Conjunto					3,50	0,29

Tabla #3.21. Techo. Cámara de aire muy ventilada

	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	EPS 10 kg/m ³	8	0,043	1,86		
2	Plancha Yeso - cartón	2	0,26	0,08		
3	Capas de aire			0,18		
Conjunto					2,12	0,47

Finalmente,

$$U_{TECHO} = U_{NO_VENTILADA} + 0,4 \cdot (U_{VENTILADA} - U_{NO_VENTILADA}) = 0,36 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

⁷ Oriented strand board. Plancha de material aglomerado en base a madera.

Para la segunda variante, el techo está compuesto por la losa de hormigón y una terminación que dependerá del uso que se le dará, en este sentido existen tres opciones que se describen a continuación:

- Terrazas

Tabla #3.22. Terrazas. Nervadura						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Piedra Pizarra	2,54	3	0,01		
2	Mortero nivelación	1,75	1,4	0,01		
3	Hormigón	16	1,63	0,1		
4	Yeso	0,75	0,44	0,02		
5	Capas de aire			0,14		
Conjunto					0,28	3,62

Tabla #3.23. Terrazas. Parte aislada						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Piedra Pizarra	2,54	3	0,01		
2	Mortero nivelación	1,75	1,4	0,01		
3	Hormigón	5,5	1,63	0,03		
4	EPS 10 kg/m ³	5	0,043	1,16		
5	Hormigón	5,5	1,63	0,03		
6	Yeso	0,75	0,44	0,02		
7	Capas de aire			0,14		
Conjunto					1,41	0,71

- Jardineras

Tabla #3.24. Jardineras. Nervadura						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Tierra jardinera	40	0,8	0,5		
2	Mortero nivelación	1,75	1,4	0,01		
3	Hormigón	16	1,63	0,1		
4	Yeso	0,75	0,44	0,02		
5	Capas de aire			0,14		
Conjunto					0,77	1,30

Tabla #3.25. Jardineras. Parte aislada						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Tierra	40	0,8	0,5		
2	Mortero nivelación	1,75	1,4	0,01		
3	Hormigón	5,5	1,63	0,03		
4	EPS 10 kg/m ³	5	0,043	1,16		
5	Hormigón	5,5	1,63	0,03		
6	Yeso	0,75	0,44	0,02		
7	Capas de aire			0,14		
Conjunto					1,9	0,53

- Techos

Tabla #3.26. Techos. Nervadura						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Mortero nivelación	1,75	1,4	0,01		
2	Hormigón	16	1,63	0,1		
3	Yeso	0,75	0,44	0,02		
4	Capas de aire			0,14		
Conjunto					0,27	3,74

Tabla #3.27. Techos. Parte aislada						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Mortero nivelación	1,75	1,4	0,01		
2	Hormigón	5,5	1,63	0,03		
3	EPS 10 kg/m ³	5	0,043	1,16		
4	Hormigón	5,5	1,63	0,03		
5	Yeso	0,75	0,44	0,02		
6	Capas de aire			0,14		
Conjunto					1,4	0,71

➤ Piso

El piso de la vivienda esta constituido por cuatro capas que se ubican sobre el terreno previamente compactado, las cuales se enumeran a continuación:

1. Relleno de ripio.
2. Capa de 4[cm] de hormigón.
3. Plancha de 20[mm] de poliestireno expandido de densidad 30[kg/m³]
4. Radier de 40[mm] en base a hormigón. Dentro de este se incorporan las tuberías de losa radiante.

Esas son las cuatro capas básicas del piso, a las que se le debe agregar la terminación que depende del recinto en cuestión

- Alfombra: Dormitorio principal, walkin' closet y escritorio.
- Piso flotante: Living comedor.
- Cerámica: Cocina, dormitorio servicio y baños.
- Piedra pizarra: Hall de acceso.

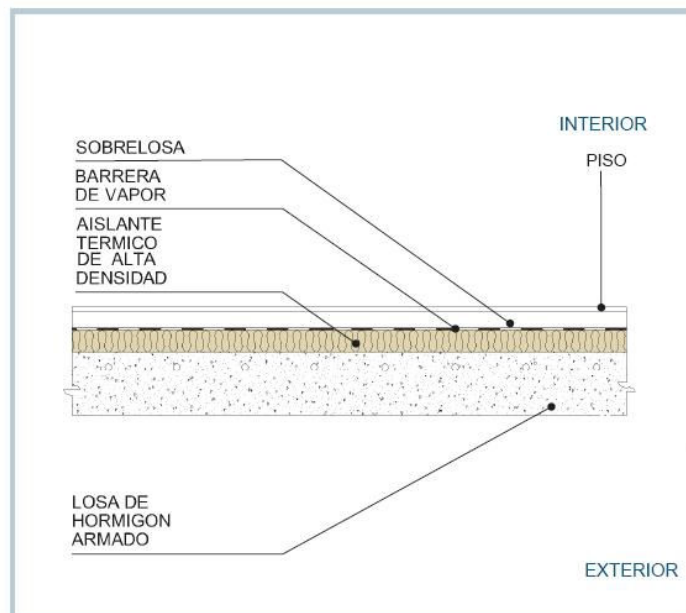


Figura 3.7 Esquema Piso⁽⁸⁾.

⁸ Revista BIT, mayo 2007.

Tabla #3.28. Losa. Alfombrada						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia Lineal
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/mK]
1	Hormigón	4	1,63	0,02		
2	EPS 30 kg/m ³	2	0,0361	0,55		
3	Mortero	4	1,4	0,03		
4	Alfombra	1	0,05	0,2		
5	Capas de aire			0,17		
Conjunto					0,98	1,00

Tabla #3.29. Losa. Piso flotante						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia Lineal
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/mK]
1	Hormigón	4	1,63	0,02		
2	EPS 30 kg/m ³	2	0,0361	0,55		
3	Mortero	4	1,4	0,03		
4	Madera laminada	0,8	0,23	0,03		
5	Capas de aire			0,17		
Conjunto					0,64	1,00

Tabla #3.30. Losa. Cerámica						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia Lineal
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/mK]
1	Hormigón	4	1,63	0,02		
2	EPS 30 kg/m ³	2	0,0361	0,55		
3	Mortero	4	1,4	0,03		
4	Cerámica	0,7	1,75	0,00		
5	Capas de aire			0,17		
Conjunto					0,61	1,00

Tabla #3.31. Losa. Piedra pizarra						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia Lineal
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/mK]
1	Hormigón	4	1,63	0,02		
2	EPS 30 kg/m ³	2	0,0361	0,55		
3	Mortero	4	1,4	0,03		
4	Piedra pizarra	1,2	3,5	0,00		
5	Capas de aire			0,17		
Conjunto					0,61	1,00

3.5 Caracterización del sistema de calefacción.

El sistema de calefacción está conformado por una caldera y losa radiante.

La caldera funciona a gas natural licuado y es de la marca ANWO. Esta proporciona el agua caliente para calefacción y para otros servicios tales como agua caliente para la cocina, baño de servicio y equipos (Lavavajillas y lavadora de ropa).

Tabla #3.32. Caldera mural Rinnai modelo RB-30/36.		
Presión de gas	GLP	2,75 kPa / 28 mbar
	GN	1,8 kPa / 18,4 mbar
Consumo térmico nominal	GLP y GN	51 kW
Capacidad (kcal/h)	Agua Caliente	36.000
	Calefacción	30.000
Rendimiento ⁹	Agua Caliente	89.4 %
	Calefacción	89.7 %
Diámetro conducto chimenea (mm)		80
Máxima extensión horizontal o vertical del conducto de descarga (m)		5 metros con tres codos de 90°
Presión máxima agua (PSI)		45
Encendido		Sistema de ignición electrónica
Sistema de combustión		Control proporcional eléctrico
Número de inyectores		14
Diámetro de inyectores	GLP	125 (1/100 mm)
	GN	180 (1/100 mm)
Conexión	Entrada gas	G3/4
	Agua caliente	G3/4
	Agua fría	G1/2
Suministro de agua caliente (Δt 25°C)		24 l/m
Consumo eléctrico (watt)		165
Ajuste de temperatura	Calefacción	40°C a 85°C
	Agua Caliente	4 pasos: 35°C; 40°C; 45°C; 60°C
Voltaje (volt)		220
Frecuencia (hertz)		50
Dimensiones (mm)	Caldera	600 x 440 x 285
	Control Remoto	120 x 120 x 18
Peso (kg)		32

⁹ El rendimiento en ambos casos será castigado para el momento de la evaluación económica. Esto se debe principalmente a que los rendimientos de catálogo son bajo condiciones controladas y extremadamente favorables, cosa que no sucede en el uso diario residencial.

3.6 Caracterización del sistema de calentamiento de aguas sanitarias y servicios.

➤ A.C.S

Para el calentamiento de aguas sanitarias, excluyendo el baño de servicio, se hace uso de dos calefón de la marca Trotter, modelo a definir. Estos están alimentados por la red de gas natural y se considerará un rendimiento del 65%.

➤ Servicios

El agua caliente para servicios tales como cocina, baño de servicio y equipos (Lavavajillas y lavadora de ropa), proviene de la caldera.

3.7 Cuantificación teórica de la demanda energética mensual.

La demanda energética mensual para el calentamiento de aguas se divide en tres partes: Calentamiento de agua para calefacción, A.C.S y servicios.

3.7.1 Cuantificación de la demanda energética en calefacción.

➤ **Cuantificación de pérdidas térmicas de las viviendas. Análisis estático.**

Para cuantificar las pérdidas por la envolvente y ventilación de las viviendas (GV2) se deben conocer: las capacidades térmicas de cada uno de los componentes de la vivienda, su superficie, las renovaciones de aire por hora y el volumen total de la vivienda.

- **Capacidades térmicas de cada uno de los componentes de la vivienda y su superficie**

Tabla #3.33. Superficies y transmitancias. Casa A y C.				
Ítem		Superficie	Transmitancia	Transmitancia ponderada
		[m ²]	U [W/ m ² K]	U [W/ m ² K]
B.W. ⁽¹⁰⁾ Flujo ascendente		1,39	4,71	4,71
B.W. Flujo descendente		1,39	3,42	3,42
Losas cielo 1er piso. Terrazas	Nervadura	6,86	4,51	2,47
	Parte aislada	8,07	0,74	
Losas cielo 1er piso. Jardinera	Nervadura	1,67	1,39	0,92
	Parte aislada	2,03	0,54	
Losas cielo 1er piso. Techo	Nervadura	9,73	4,59	3,19
	Parte aislada	5,55	0,74	
Muros sin mampostería de piedra. e=14 cm	Nervadura	41,32	4,44	1,96
	Parte aislada	84,18	0,74	
Muros con mampostería de piedra. e=14 cm	Nervadura	7,06	3,65	1,67
	Parte aislada	14,50	0,71	
Muros sin mampostería de piedra. e =16 cm	Nervadura	8,1	4,21	4,21
Ventanas doble vidrio	Marco	10,0	8,33	4,50
	Vidrio	49,5	3,73	
Ventanas simples	Marco	3,1	8,33	8,13
	Vidrio	7,7	8,05	
Acceso principal	Marco	1,06	0,89	2,21
	Puerta	2,53	2,75	
Puerta cocina	Madera	1,24	2,75	2,75
Cielo 2do piso		107,86	0,36	0,36

¹⁰ Superficies expuestas en ventanas con bow window.

Tabla #3.34. Superficies y transmitancias. Casa tipo B.

Ítem		Superficie	Transmitancia	Transmitancia ponderada
		[m ²]	U [W/ m ² K]	U [W/ m ² K]
B.W. ⁽¹¹⁾ Flujo ascendente		1,39	4,71	4,71
B.W. Flujo descendente		1,39	3,42	3,42
Losa cielo 1er piso. Terrazas	Nervadura	6,86	4,51	2,47
	Parte aislada	8,07	0,74	
Losa cielo 1er piso. Jardinera	Nervadura	1,67	1,39	0,92
	Parte aislada	2,03	0,54	
Losa cielo 1er piso. Techo	Nervadura	18,60	4,59	3,13
	Parte aislada	11,37	0,74	
Muros sin mampostería de piedra. e=14 cm	Nervadura	39,55	4,44	2,02
	Parte aislada	74,53	0,74	
Muros con mampostería de piedra. e=14 cm	Nervadura	7,06	3,65	1,67
	Parte aislada	14,50	0,71	
Muros sin mampostería de piedra. e =16 cm	Nervadura	8,1	4,21	4,21
Ventanas doble vidrio	Marco	8,7	8,33	4,49
	Vidrio	43,5	3,73	
Ventanas simples	Marco	3,1	8,33	8,13
	Vidrio	7,7	8,05	
Acceso principal	Marco	1,06	0,89	2,21
	Puerta	2,53	2,75	
Puerta cocina	Madera	1,24	2,75	2,75
Cielo 2do piso		93,04	0,36	0,36

Para ambos tipos de casa la transmitancia lineal del piso es la misma al igual que su perímetro.

Tabla #3.35. Transmitancia lineal piso y perímetro total

Ítem		Transmitancia Lineal	Perímetro total
		K [W/mK]	[m]
Losa 1er piso.	Alfombra	1	52,8
	Piedra pizarra	1	
	Cerámica	1	
	Piso flotante	1	

¹¹ Superficies expuestas en ventanas con bow window.

- Renovaciones de aire por hora. Según el método de las rendijas del ASHRAE Fundamentals Handbook 1997.

Estas dependen directamente del área efectiva de fugas que hay en cada vivienda, las que se muestran a continuación:

Tabla #3.36. Área efectiva de fugas. Casa A y C				
Componente	Descripción	Tamaño o cantidad	Área fuga unitaria	Área fuga [cm ²]
Techo				
	General	107,86 m ²	1,8 cm ² /m ²	194,15
Aberturas en techo				
	Luces empotradas	14	10 cm ² c/u	140,00
	Luces colgantes	7	0,82 cm ² c/u	5,74
Marco de puertas				
	Madera	1,06 m ²	0,3 cm ² /m ²	0,32
Puertas				
	Acceso	1	12 cm ² c/u	12,00
	Cristal correderas	35,70 m ²	5,5 cm ² /m ²	196,38
Instalaciones eléctricas				
	Enchufes	18	2,5 cm ² c/u	45,00
Ventilaciones				
	Cocina	1	5 cm ² c/u	5,00
Muros				
	Panel prefabricado de hormigón	155,16 m ²	1,2 cm ² /m ²	186,19
Marco de ventanas				
	Madera	13,10 m ²	0,3 cm ² /m ²	3,93
Ventanas				
	Correderas simples	5904 lms ⁽¹²⁾	0,67 cm ² /lms	3955,68
Total				4744

¹² lms: metros lineales de rieles en ventanas deslizantes.

Tabla #3.37. Área efectiva de fugas. Casa tipo B				
Componente	Descripción	Tamaño o cantidad	Área fuga unitaria	Área fuga [cm ²]
Techo				
	General	93,04 m ²	1,8 cm ² /m ²	167,47
Aberturas en techo				
	Luces empotradas	14	10 cm ² c/u	140,00
	Luces colgantes	6	0,82 cm ² c/u	4,92
Marco de puertas				
	Madera	1,06 m ²	0,3 cm ² /m ²	0,32
Puertas				
	Acceso	1	12 cm ² c/u	12,00
	Cristal correderas	35,7 m ²	5,5 cm ² /m ²	196,38
Instalaciones eléctricas				
	Enchufes	17	2,5 cm ² c/u	42,50
Ventilaciones				
	Cocina	1	5 cm ² c/u	5,00
Muros				
	Panel prefabricado de hormigón	143,73 m ²	1,2 cm ² /m ²	172,48
Marco de ventanas				
	Madera	11,77 m ²	0,3 cm ² /m ²	3,53
Ventanas				
	Correderas simples	5904 lms ⁽¹³⁾	0,67 cm ² /lms	3955,68
Total				4700

Parámetros necesarios para la obtención de “n” obtenidos del ASHRAE Handbook 1997.
Para mayor detalle revisar ejemplo en anexo B.1.

$$C_w = 0,000137$$

$$C_s = 0,00029$$

¹³ lms: metros lineales de rieles en ventanas deslizantes.

Luego evaluando en las ecuaciones III y IV del capítulo 2 para cada tipo de casa se tiene lo siguiente.

Tabla #3.38. Renovaciones de aire por hora para cada mes. Casa A y C

Mes	$t_{ambiente} [^{\circ}C]$	$\Delta t [^{\circ}C]$	$V_{viento} [m/s]$	n
Enero	19,3	0,7	3,1	1,1
Febrero	18,3	1,7	3,6	1,4
Marzo	17,4	2,6	3,1	1,3
Abril	14,3	5,7	3,1	1,5
Mayo	11,6	8,4	2,6	1,6
Junio	9,1	10,9	2,6	1,8
Julio	8,8	11,2	2,1	1,8
Agosto	9,4	10,6	2,6	1,8
Septiembre	11,3	8,7	3,1	1,8
Octubre	15,1	4,9	3,6	1,6
Noviembre	16,6	3,4	3,6	1,5
Diciembre	18,1	1,9	3,6	1,4

Tabla #3.39. Renovaciones de aire por hora para cada mes. Casa B

Mes	$t_{ambiente} [^{\circ}C]$	$\Delta t [^{\circ}C]$	$V_{viento} [m/s]$	n
Enero	19,3	0,7	3,1	1,2
Febrero	18,3	1,7	3,6	1,4
Marzo	17,4	2,6	3,1	1,4
Abril	14,3	5,7	3,1	1,6
Mayo	11,6	8,4	2,6	1,7
Junio	9,1	10,9	2,6	1,9
Julio	8,8	11,2	2,1	1,9
Agosto	9,4	10,6	2,6	1,9
Septiembre	11,3	8,7	3,1	1,9
Octubre	15,1	4,9	3,6	1,7
Noviembre	16,6	3,4	3,6	1,6
Diciembre	18,1	1,9	3,6	1,4

- **Volumen de las viviendas.**

$$V_A = V_C = 602 [m^3]$$

$$V_B = 567 [m^3]$$

Finalmente, considerando los parámetros antes descritos es posible obtener las pérdidas térmicas por la envolvente y por ventilación, G_{V2} , para los tres tipos de casas.

- Casa A y C

$$G_{V2} = 1,99 \left[\frac{W}{m^3 K} \right]$$

- Casa B

$$G_{V2} = 2,10 \left[\frac{W}{m^3 K} \right]$$

➤ **Cuantificación de ganancias térmicas de las viviendas.**

- Radiación en ventanas:

Lo primero es obtener los datos de entrada que corresponden a la radiación incidente en ventanas y las superficies de ventanas para cada orientación.

Tabla #3.40. Radiación incidente en ventanas ⁽¹⁴⁾.				
Mes	Radiación ventanas	Radiación ventanas	Radiación ventanas	Radiación ventanas
	Orientación norte	Orientación sur	Orientación este	Orientación oeste
	[kWh/m ² día]	[kWh/m ² día]	[kWh/m ² día]	[kWh/m ² día]
Enero	1,14	0,61	6,21	6,21
Febrero	2,39	0,42	6,25	6,25
Marzo	3,98	0,34	5,68	5,68
Abril	5,49	0,30	5,11	5,11
Mayo	6,02	0,26	4,39	4,39
Junio	6,17	0,23	3,98	3,98
Julio	6,02	0,26	4,39	4,39
Agosto	5,49	0,30	5,11	5,11
Septiembre	3,98	0,34	5,68	5,68
Octubre	2,39	0,42	6,25	6,25
Noviembre	1,14	0,61	6,21	6,21
Diciembre	0,79	0,76	6,09	6,09

Tabla #3.41. Superficie de ventanas según orientación [m²]					
Casa	Tipo vidrio	Orientación			
		Norte	Sur	Este	Oeste
Casa A	Doble vidrio	5,7	0,0	26,1	9,4
	Simples	0,2	2,2	0,0	3,6
Casa B	Doble vidrio	0,0	0,9	26,1	8,1
	Simples	2,2	0,2	0,0	3,6
Casa C	Doble vidrio	0,0	5,7	26,1	9,4
	Simples	2,2	0,2	0,0	3,6

¹⁴ "Handbook of air conditioning system design", de Carrier air conditioning company

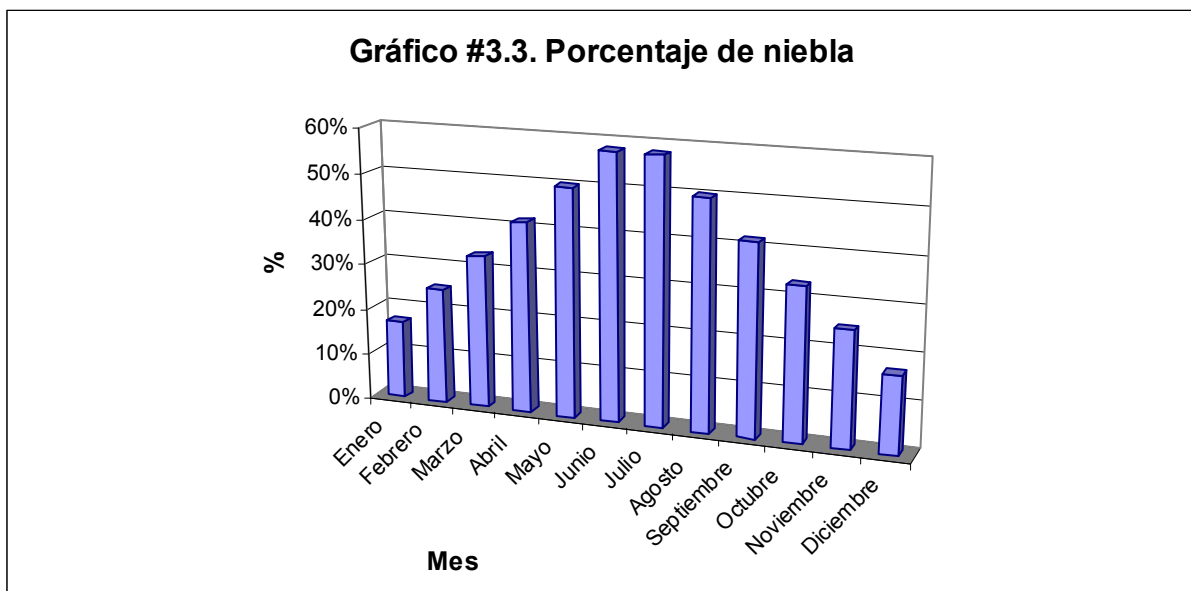
Luego considerando:

- Porcentaje de niebla⁽¹⁵⁾ (cielo cubierto por nubes)

$$\eta_{ENERO} = 17\%$$

$$\eta_{JULIO} = 58\%$$

El resto de los meses se obtuvo interpolando esos datos.



- Corrección por altura:

Proyecto ubicado alrededor de 800 m.s.n.m lo que significa un aumento de un 1,8 % en el valor de la radiación.

Finalmente reemplazando los datos en la ecuación VI y VI se obtienen las ganancias térmicas mensuales por radiación para cada vivienda.

¹⁵ Datos publicados en la Nch 1079.

Tabla #3.42. Ganancias térmicas por radiación [kWh]			
Mes	Casa A	Casa B	Casa C
Enero	8.139	7.722	8.083
Febrero	6.861	6.417	6.667
Marzo	6.417	5.861	6.083
Abril	5.139	4.583	4.750
Mayo	4.083	3.556	3.694
Junio	3.056	2.639	2.722
Julio	3.417	2.972	3.083
Agosto	4.583	4.056	4.222
Septiembre	5.444	4.972	5.167
Octubre	6.750	6.306	6.583
Noviembre	7.111	6.750	7.056
Diciembre	7.944	7.583	7.944

Los valores de la tabla aún no incluyen el factor de reducción producto de la capacidad de la vivienda de almacenar el calor.

- Calor liberado por las personas:

Tabla #3.43. Ganancias térmicas por persona. Casa A y C				
Personas	Cantidad	Aporte [W]	Ocupación	Ganancias [kWh/día]
Padre	1	120	0,6	1,7
Madre	1	120	0,8	2,3
Empleada	1	120	0,7	2,0
Niños	5	120	0,7	10,1
Total				16,1

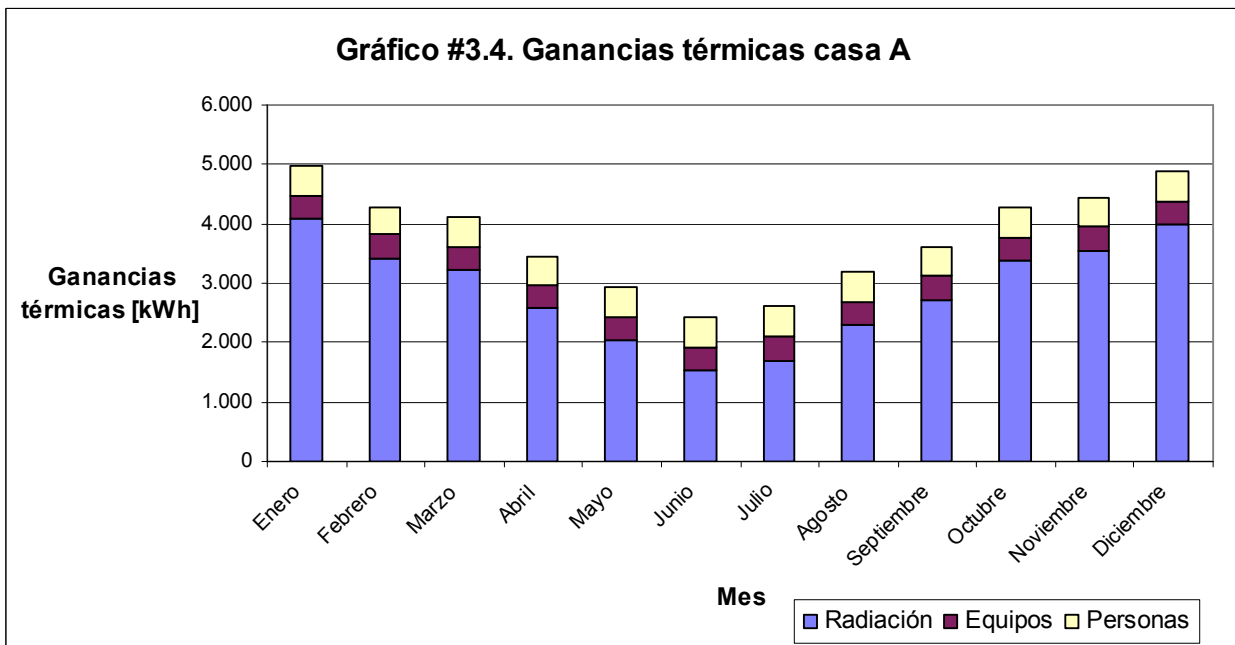
Tabla #3.44. Ganancias térmicas por persona. Casa B				
Personas	Cantidad	Aporte [W]	Ocupación	Ganancias [kWh/día]
Padre	1	120	0,6	1,7
Madre	1	120	0,8	2,3
Empleada	1	120	0,7	2,0
Niños	4	120	0,7	8,1
Total				14,1

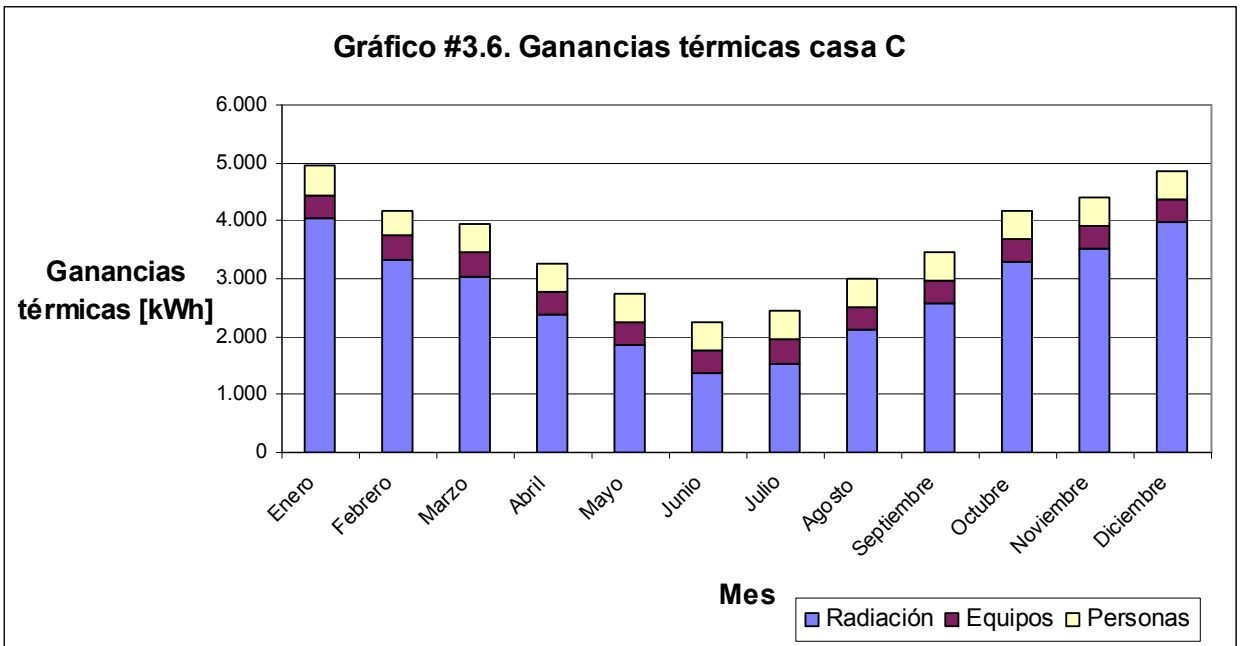
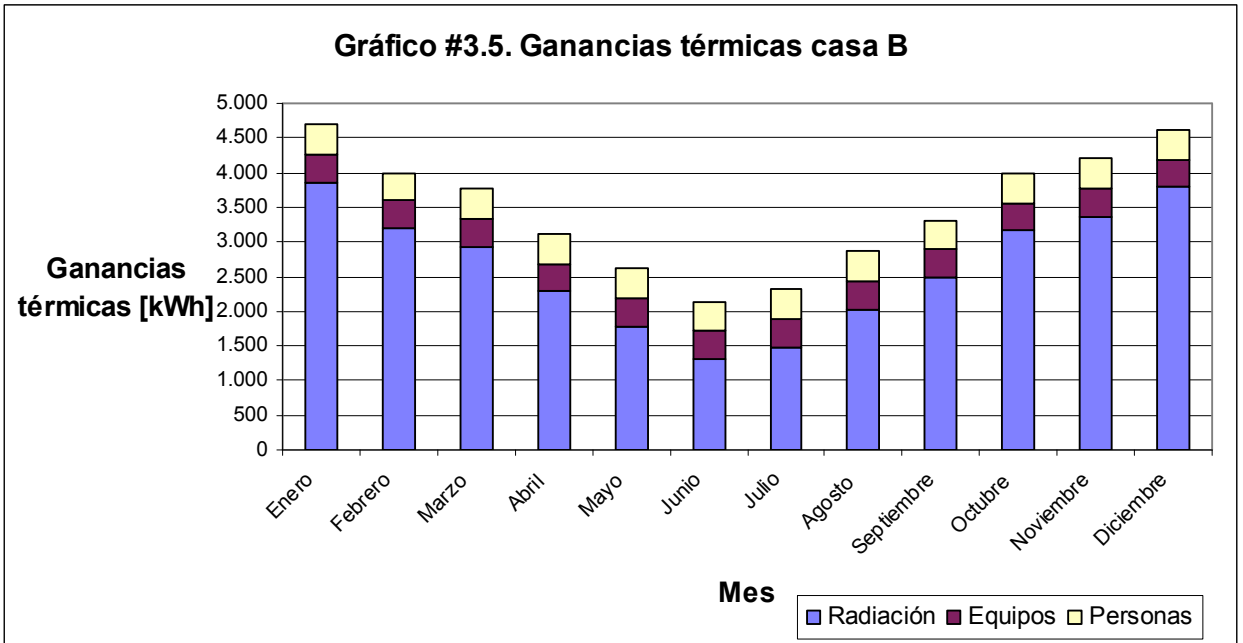
- Calor de equipos:

$$\text{Consumo} = 400 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right]$$

Finalmente las ganancias térmicas totales de las viviendas son las siguientes:

Tabla #3.45. Ganancias térmicas [kWh]			
Mes	Casa A	Casa B	Casa C
Enero	4.524	4.285	4.494
Febrero	3.853	3.600	3.762
Marzo	3.659	3.345	3.494
Abril	3.017	2.698	2.818
Mayo	2.491	2.195	2.294
Junio	1.971	1.727	1.807
Julio	2.157	1.905	1.993
Agosto	2.737	2.449	2.560
Septiembre	3.165	2.895	3.025
Octubre	3.828	3.576	3.739
Noviembre	3.995	3.783	3.969
Diciembre	4.425	4.205	4.423

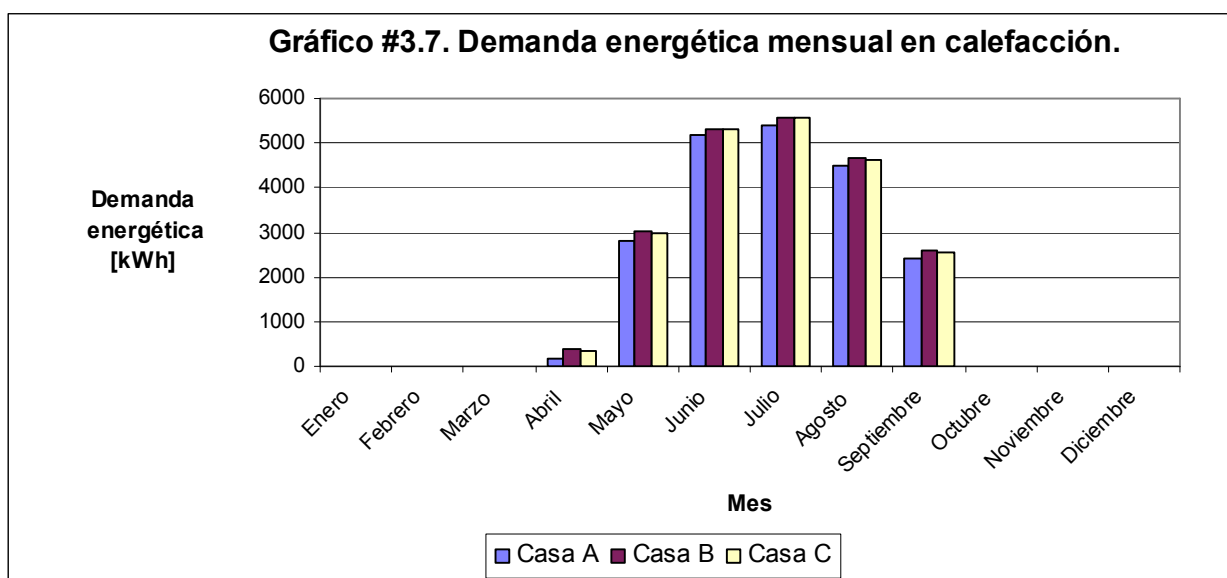




➤ **Cuantificación teórica de la demanda energética mensual en calefacción.**

Reemplazando los valores obtenidos de GV2 y de ganancias térmicas (GT), para cada vivienda, en la ecuación XV y luego ponderándolos por el factor de uso de calefacción de la ecuación XVI se obtiene la demanda mensual en calefacción.

Tabla #3.46. Demanda energética mensual en calefacción.				
Mes	GD mensuales	Demanda casa A [kwh]	Demanda casa B [kwh]	Demanda casa C [kwh]
Enero	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0
Marzo	19	0	0	0
Abril	111	155	398	324
Mayo	198	2.827	3.028	2.994
Junio	267	5.172	5.310	5.312
Julio	285	5.416	5.557	5.555
Agosto	267	4.489	4.664	4.639
Septiembre	201	2.417	2.594	2.535
Octubre	90	0	0	0
Noviembre	42	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0

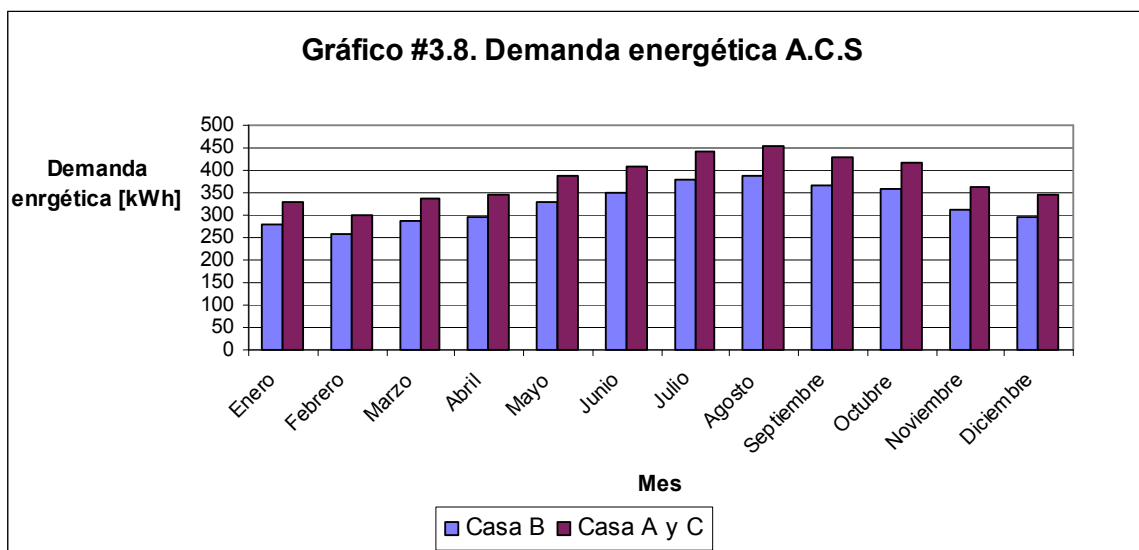


3.7.2 Cuantificación de la demanda energética en A.C.S.

En este punto se considerará como agua caliente sanitaria el agua utilizada en todos los baños exceptuando el baño de servicio, el cual será contabilizado dentro del consumo energético en servicios. Esto se debe a que el agua utilizada en la cocina, el baño de servicio y el agua de las máquinas (lavadora y lavavajillas) proviene de la caldera, a diferencia de los demás baños que cuentan con sistema de calefón.

Aplicando el procedimiento descrito para obtener la demanda energética para el agua caliente sanitaria se tiene lo siguiente:

Tabla #3.47. Demanda energética para A.C.S.				
Mes	T° agua red [°C]	N° días	Demanda casa A y C [kWh]	Demanda casa B [kWh]
Enero	19	31	328	281
Febrero	18,6	28	301	258
Marzo	18,3	31	337	289
Abril	16,7	30	346	296
Mayo	14,4	31	386	331
Junio	11,7	30	407	349
Julio	9,9	31	443	380
Agosto	9,1	31	453	388
Septiembre	9,8	30	430	368
Octubre	11,9	31	418	358
Noviembre	15,3	30	363	311
Diciembre	17,6	31	346	296



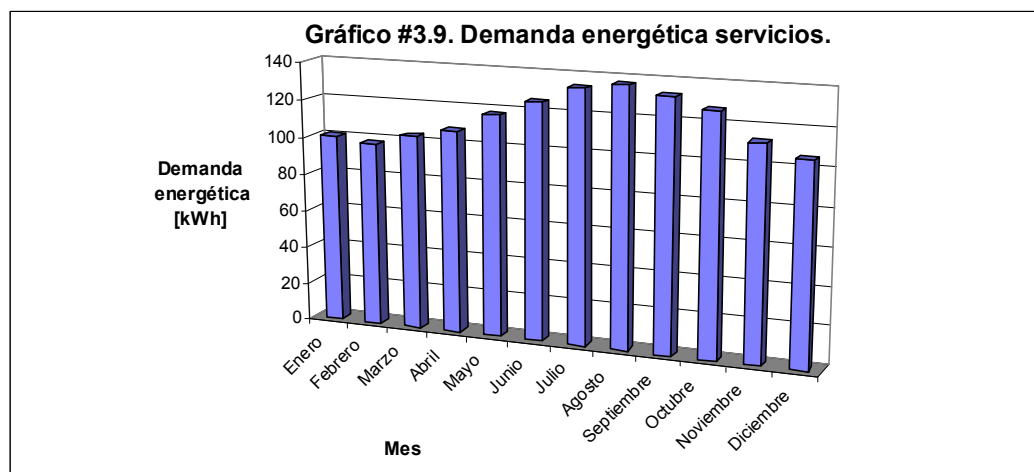
3.7.3 Cuantificación de la demanda energética en agua caliente para servicios.

Como se dijo anteriormente, dentro del consumo de agua caliente para servicios se incluyen lo siguiente:

- Cocina: Uso ocasional de lavado de vajilla.
- Baño de servicio: Uso de baño para una persona (50 l/día a 45 °C)
- Lavavajillas: Un uso diario. (Consumo agua 15 l a 55°C, por lavado⁽¹⁶⁾)
- Lavadora de ropa: 6 usos semanales (Consumo agua 50 l a 45 °C⁽¹⁷⁾)

Para los tres tipos de viviendas se considerará el mismo gasto energético en servicios.

Mes	Gasto [kWh]
Enero	101
Febrero	98
Marzo	103
Abril	108
Mayo	118
Junio	126
Julio	134
Agosto	137
Septiembre	133
Octubre	127
Noviembre	113
Diciembre	106



¹⁶ Se utilizó un promedio de valores de diferentes equipos de un tamaño estimado para una familia de 7 personas.

¹⁷ Igual que en lavavajillas.

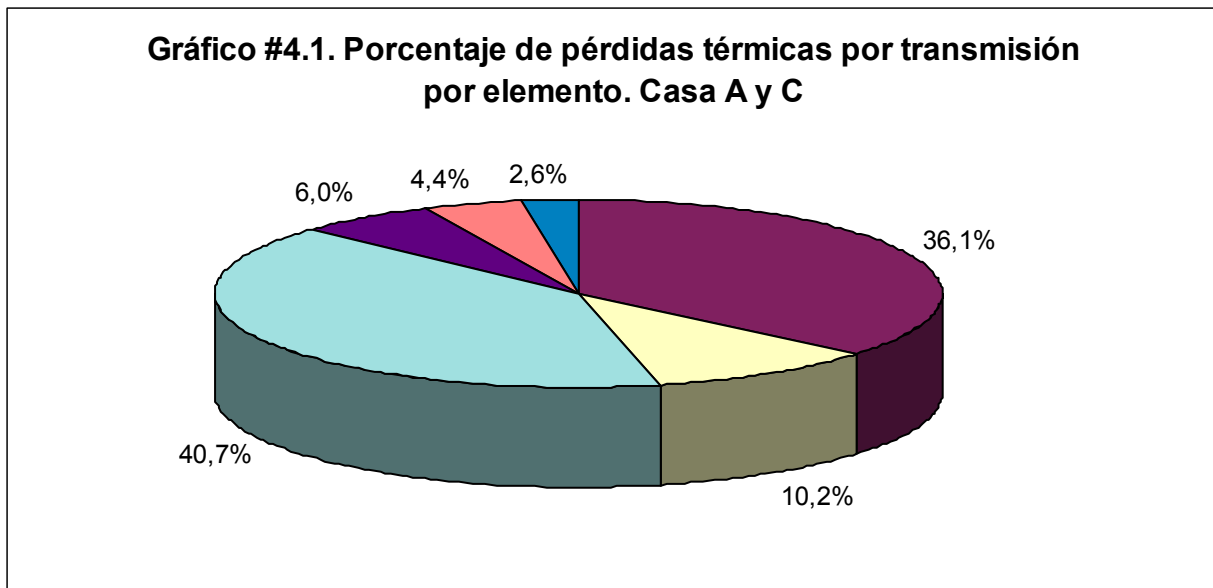
CAPITULO 4

PROPUESTAS FACTIBLES

4.1. Aislación de la envolvente.

Como se dijo en el capítulo anterior, los componentes de hormigón (muros y losas) de la envolvente tienen incluido en el alma poliestireno expandido. Esto, aparte de aumentar sus capacidades resistivas al flujo de calor, disminuye su costo. En consecuencia, no estará dentro de las soluciones óptimas la posibilidad de eliminar la actual aislación de estos elementos.

Por otra parte, en los siguientes gráficos se puede apreciar la contribución de cada elemento a las pérdidas térmicas por transmisión de cada vivienda.



Muros	36,1%
Losa cielo 1er piso	10,2%
Ventanas	40,7%
Piso	6,0%
Techo	4,4%
Puertas y B.W.(¹)	2,6%

¹ Bow window

Gráfico #4.2. Porcentaje de pérdidas térmicas por transmisión por elemento. Casa B

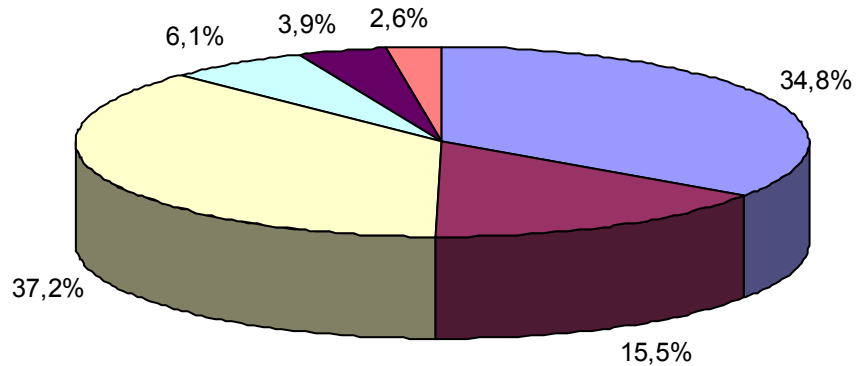


Tabla #4.2 Porcentaje de pérdidas por elemento. Casa B

Muros	34,8%
Losa cielo 1er piso	15,5%
Ventanas	37,2%
Piso	6,1%
Techo	3,9%
Puertas y B.W	2,6%

Como se puede apreciar en los gráficos, los elementos que aportan un mayor porcentaje de pérdidas térmicas son los muros y ventanas. Juntos representan alrededor del 75% de las pérdidas térmicas por transmisión totales de la vivienda, por lo que las propuestas de aislación estarán enfocadas principalmente a estos dos elementos.

Además de las pérdidas por transmisión se tienen las pérdidas por infiltración, las que corresponden al calor que se filtra por las rendijas o aberturas que existen en todo el perímetro de la vivienda. Estas tienen un aporte considerable a las pérdidas globales de las viviendas, tal como se puede apreciar en los gráficos siguientes

Gráfico #4.3. Distribución de pérdidas térmicas. Casa A y C

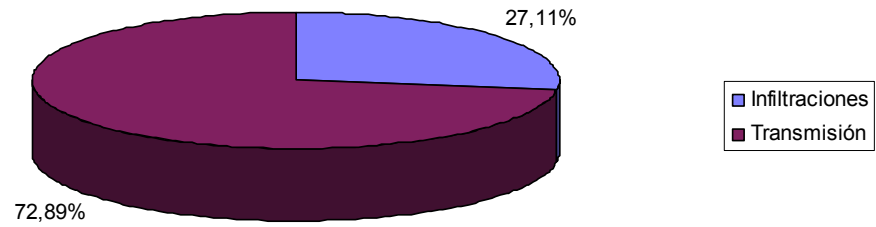
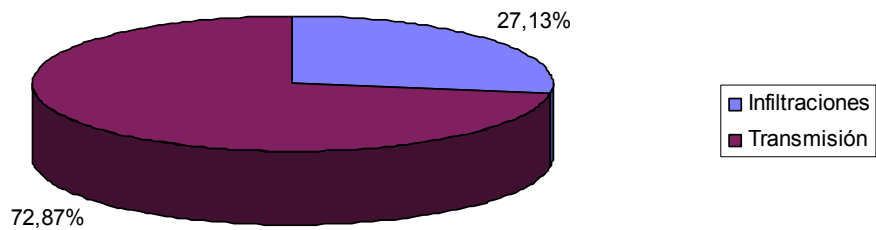


Gráfico #4.4. Distribución de pérdidas térmicas. Casa B



Además, si vemos las tablas #3.36 y #3.37 podemos notar que el área total efectiva de fugas de la vivienda corresponde principalmente a las ventanas correderas. En consecuencia, una forma de disminuir estas pérdidas sería evitar el uso excesivo de ventanas correderas y reemplazarlas por ventanas fijas. Debido a la complejidad que resulta el restringir accesos en la vivienda es que no se contemplarán soluciones en este ítem.

➤ **Muros perimetrales.**

Su configuración actual presenta serias deficiencias producto de la gran cantidad de puentes térmicos presentes en gran parte de su superficie. En este sentido, alrededor de un 40% de la superficie total de muros corresponde a nervaduras, lo que claramente aumenta las pérdidas térmicas que se generan en estos elementos.

Respecto de las pérdidas térmicas, un 75% se debe exclusivamente a la presencia de nervaduras que no cuentan con ningún tipo de material aislante. Para poder mejorar este aspecto sería necesario adicionar alguna capa aislante en cada una de las nervaduras lo que claramente no es posible estéticamente y constructivamente. Como consecuencia de esto se proponen las siguientes opciones para aislar toda la superficie de muros perimetrales.

1. Mantener la configuración actual de aislación agregando la siguiente aislación exterior (EIFS):

Exterior
Estuco. 1 cm
Capa base mas malla refuerzo. 1,5 cm
EPS 15 kg/m ³ 30mm
Muro vivienda
Enlucido yeso. 0,75 cm
Interior

Para esta solución se dejará sin posibilidad de aislación los muros que cuenten con mampostería de piedra, ya que esta podría dañar la aislación exterior al momento de su colocación. En consecuencia, para estos muros se utilizará la solución número 2 que se muestra a continuación.

2. Mantener la configuración actual de aislación agregando la siguiente aislación interior:

Exterior
Estuco. 1 cm
Muro vivienda
Barrera de humedad
EPS 15 kg/m ³ 20mm
Volcanita. 10 mm
Interior

➤ **Ventanas.**

De las pérdidas térmicas que se producen en las ventanas, más de un 25% se debe exclusivamente a la presencia de ventanas con vidriado simple. Sin embargo, estas se ubican en lugares con orientación poniente, y en consecuencia la presencia de un doble vidrio podría traer problemas por acumulación de calor en épocas como el verano.

Por otra parte, todas las ventanas de la vivienda poseen marco de aluminio, los cuales podrían ser mejorados a PVC. Esto conllevaría una disminución de alrededor del 7% de las perdidas totales de transmisión. En consecuencia la solución adoptada es cambiar todos los marcos de ventanas por marcos de PVC.

Considerando lo anterior, se analizarán dos proposiciones generales:

- Proposición N° 1:
 - Muros perimetrales sin mampostería de piedra con solución N° 1 y muros con mampostería de piedra con solución N° 2.
 - Ventanas con la única solución propuesta.
- Proposición N° 2:
 - Muros perimetrales con solución N° 2.
 - Ventanas con la única solución propuesta.

4.1.1 Caracterización de las proposiciones.

A continuación se muestran cada uno de los componentes que incorporan mejoras con sus nuevas configuraciones y transmitancia.

- Proposición N° 1:
 - Muros perimetrales.

Tabla #4.3. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Parte Aislada.						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Mortero	1	1,4	0,007		
2	Malla fibra de vidrio	1,5	1	0,015		
3	EPS 15 kg/m ³	3	0,0413	0,726		
4	Hormigón	4,5	1,63	0,028		
5	EPS 10 kg/m ³	5	0,043	1,163		
6	Hormigón	4,5	1,63	0,028		
7	Yeso	0,75	0,44	0,017		
8	Capas de aire			0,12		
Conjunto					2,104	0,48

Tabla #4.4. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Nervadura						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Mortero	1	1,4	0,007		
2	Malla fibra de vidrio	1,5	1	0,015		
3	EPS 15 kg/m ³	3	0,0413	0,726		
4	Hormigón	14	1,63	0,086		
5	Yeso	0,75	0,44	0,017		
6	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,971	1,03

Tabla #4.5. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 16 cm. Nervadura						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Mortero	1	1,4	0,007		
2	Malla fibra de vidrio	1,5	1	0,015		
3	EPS 15 kg/m ³	3	0,0413	0,726		
4	Hormigón	16	1,63	0,098		
5	Yeso	0,75	0,44	0,017		
6	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,984	1,02

Tabla #4.6. Muros con mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Parte aislada						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Piedra	9	3,5	0,026		
2	Mortero	3,5	1,4	0,025		
3	Hormigón	4,5	1,63	0,028		
4	EPS 10 kg/m ³	5	0,043	1,163		
5	Hormigón	4,5	1,63	0,028		
6	EPS 15 kg/m ³	2	0,0413	0,484		
7	Yeso - cartón	1	0,26	0,038		
8	Capas de aire			0,12		
Conjunto					1,911	0,52

Tabla #4.7. Muros con mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Nervadura						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Piedra	9	3,5	0,026		
2	Mortero	3,5	1,4	0,025		
3	Hormigón	14	1,63	0,086		
4	EPS 15 kg/m ³	2	0,0413	0,484		
5	Yeso - cartón	1	0,26	0,038		
6	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,779	1,28

➤ Ventanas.

Tabla #4.8. Ventanas doble vidrio. Vidrio						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Vidrio	0,5	1,2	0,004		
2	Cámara de aire	1		0,14		
3	Vidrio	0,5	1,2	0,004		
4	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,268	3,73

Tabla #4.9. Marco PVC						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	PVC	0,4	0,17	0,0235		
2	Cámara de aire no ventilada	1,6		0,163		
3	PVC	0,4	0,17	0,0235		
4	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,21	4,76

- Proposición N° 2:

El único elemento que varía respecto de la proposición anterior son los muros perimetrales sin mampostería de piedra, es por esto que ventanas y muros con mampostería no serán descritos en esta proposición.

- Muros perimetrales.

Tabla #4.10. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Parte Aislada.						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Mortero	1	1,4	0,007		
2	Hormigón	4,5	1,63	0,028		
3	EPS 10 kg/m ³	5	0,043	1,163		
4	Hormigón	4,5	1,63	0,028		
5	EPS 15 kg/m ³	2	0,0413	0,484		
6	Yeso - cartón	1	0,26	0,038		
7	Capas de aire			0,12		
Conjunto					1,868	0,54

Tabla #4.11. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 14 cm. Nervadura						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Mortero	1	1,4	0,007		
2	Hormigón	14	1,63	0,086		
3	EPS 15 kg/m ³	2	0,0413	0,484		
4	Yeso - cartón	1	0,26	0,038		
5	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,736	1,36

Tabla #4.12. Muros sin mampostería de piedra. Espesor 16 cm. Nervadura						
	Material	Espesor	Conductividad	Resistencia	Resistencia total	Transmitancia
Capa		e [cm]	[W/mK]	R [m ² K/W]	R [m ² K /W]	U [W/ m ² K]
1	Mortero	1	1,4	0,007		
2	Hormigón	16	1,63	0,098		
3	EPS 15 kg/m ³	2	0,0413	0,484		
4	Yeso - cartón	1	0,26	0,038		
5	Capas de aire			0,12		
Conjunto					0,748	1,34

4.1.2 Cuantificación de la demanda mensual en combustible.

Consideraciones:

- El combustible para los equipos a gas que se usan en la vivienda es GNL. Sin embargo, para la evaluación se utilizará el precio del gas licuado propanado (GLP) ya que este tiene un valor estándar y no depende del tipo de contrato que se tenga con la distribuidora (Metro gas en el caso de GNL).

➤ Pérdidas térmicas de cada proposición.

Tabla #4.13. Superficies y transmitancias. Casa A y C			
Ítem	Superficie	Proposición N° 1	Proposición N° 2
	[m ²]	Transmitancia U [W/m ² K]	Transmitancia U [W/m ² K]
B.W. Flujo ascendente	1,39	1,05	1,04
B.W. Flujo descendente	1,39	0,97	0,96
Losa cielo 1er piso. Terrazas	14,93	2,48	2,47
Losa cielo 1er piso. Jardinera	3,70	0,92	0,92
Losa cielo 1er piso. Techo	15,28	3,19	3,19
Muros sin mampostería de piedra. e=14 cm	125,50	0,66	0,81
Muros con mampostería de piedra. e=14 cm	21,56	0,77	0,77
Muros sin mampostería de piedra. e =16 cm	8,10	1,02	1,34
Ventanas doble vidrio	59,56	3,90	3,90
Ventanas simples	10,77	7,10	7,10
Acceso principal	3,59	2,21	2,21
Puerta cocina	1,24	2,75	2,75
Cielo 2do piso	107,86	0,36	0,36

Tabla #4.14. Superficies y transmitancias. Casa B

Ítem	Superficie	Proposición N° 1	Proposición N° 2
	[m ²]	Transmitancia U [W/m ² K]	Transmitancia U [W/m ² K]
B.W. Flujo ascendente	1,39	1,05	1,04
B.W. Flujo descendente	1,39	0,97	0,96
Losa cielo 1er piso. Terrazas	14,93	2,47	2,47
Losa cielo 1er piso. Jardinera	3,70	0,92	0,92
Losa cielo 1er piso. Techo	29,97	3,13	3,13
Muros sin mampostería de piedra. e=14 cm	114,07	0,67	0,82
Muros con mampostería de piedra. e=14 cm	21,56	0,77	0,77
Muros sin mampostería de piedra. e =16 cm	8,10	1,02	1,34
Ventanas doble vidrio	52,12	3,90	3,90
Ventanas simples	10,77	7,10	7,10
Acceso principal	3,59	2,21	2,21
Puerta cocina	1,24	2,75	2,75
Cielo 2do piso	93,04	0,36	0,36

Para los tres tipos de casa la transmitancia lineal del piso es la misma al igual que su perímetro.

Tabla #4.15. Transmitancia lineal piso y perímetro total

Ítem	Transmitancia Lineal	Perímetro total
	K [W/mK]	[m]
Losa 1er piso.	Alfombra	52,8
	Piedra pizarra	
	Cerámica	
	Piso flotante	

Luego considerando los mismos valores vistos en el capítulo 3.7 para las renovaciones de aire (n) y volumen de las viviendas (V) se tiene lo siguiente:

Tabla #4.16. Coeficiente de pérdidas térmicas por transmisión y ventilación. Gv2

	Proposición N° 1 [W/m ³ K]	Proposición N° 2 [W/m ³ K]
Casa A y C	1,56	1,59
Casa B	1,65	1,69

Finalmente la demanda energética mensual en calefacción bajo estas nuevas configuraciones, considerando además las ganancias térmicas, es el siguiente:

Tabla #4.17. Demanda energética calefacción. Casa A		
Mes	Consumo proposición N°1 [kWh]	Consumo proposición N°2 [kWh]
Enero	0	0
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	0	0
Mayo	1.760	1.846
Junio	3.736	3.851
Julio	3.882	4.005
Agosto	3.055	3.170
Septiembre	1.336	1.422
Octubre	0	0
Noviembre	0	0
Diciembre	0	0

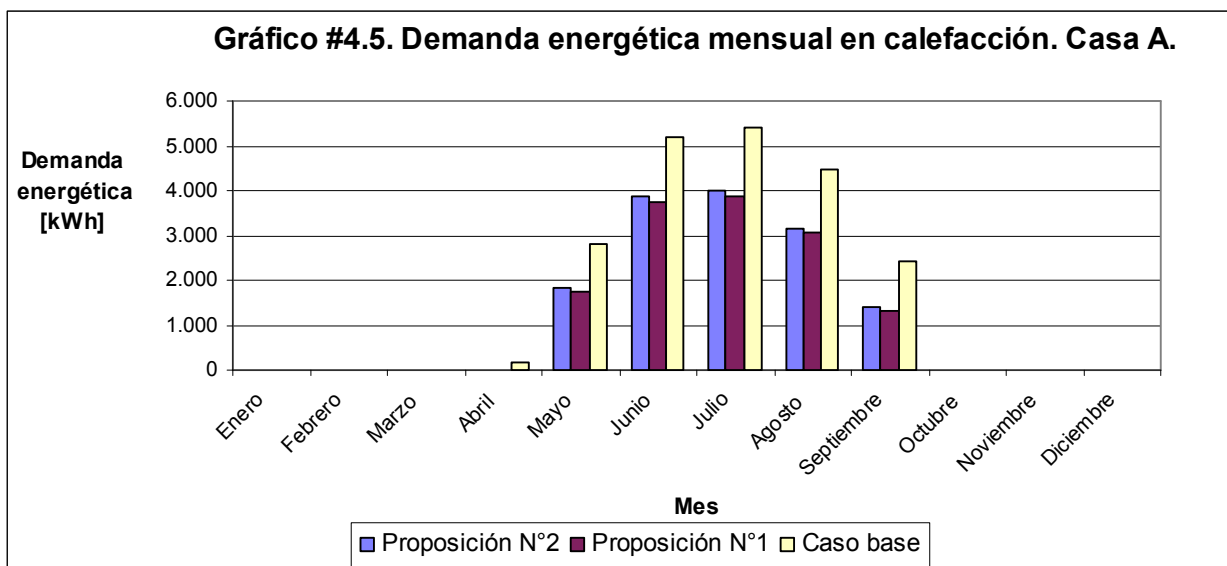


Tabla #4.18. Demanda energética calefacción. Casa B		
Mes	Consumo proposición N°1 [kWh]	Consumo proposición N°2 [kWh]
Enero	0	0
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	0	0
Mayo	2.015	2.097
Junio	3.946	4.056
Julio	4.100	4.217
Agosto	3.302	3.411
Septiembre	1.567	1.650
Octubre	0	0
Noviembre	0	0
Diciembre	0	0

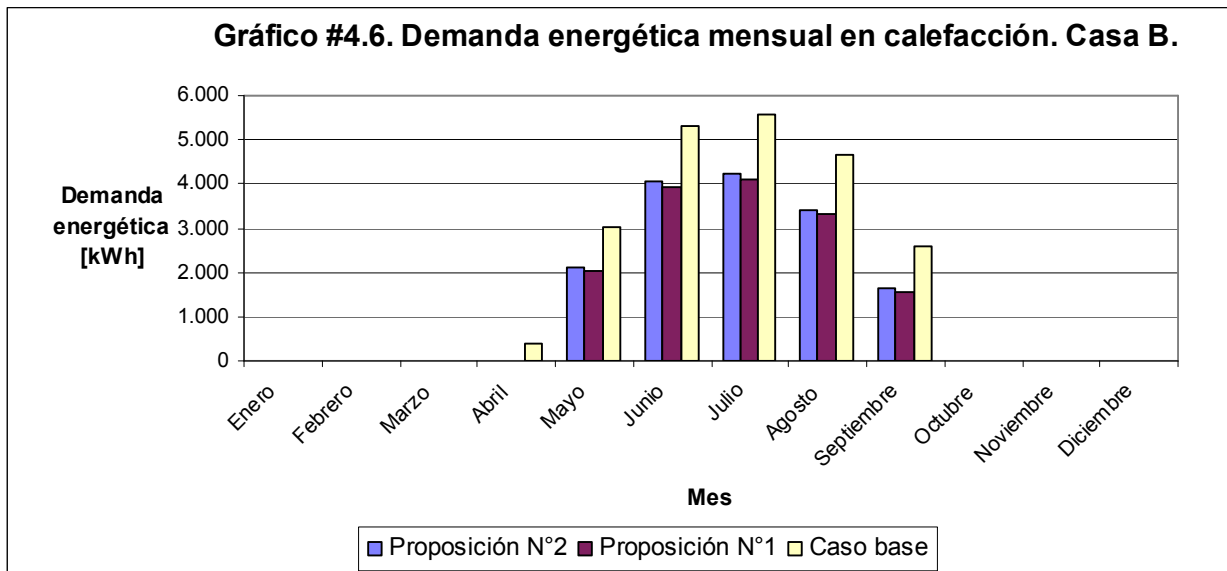
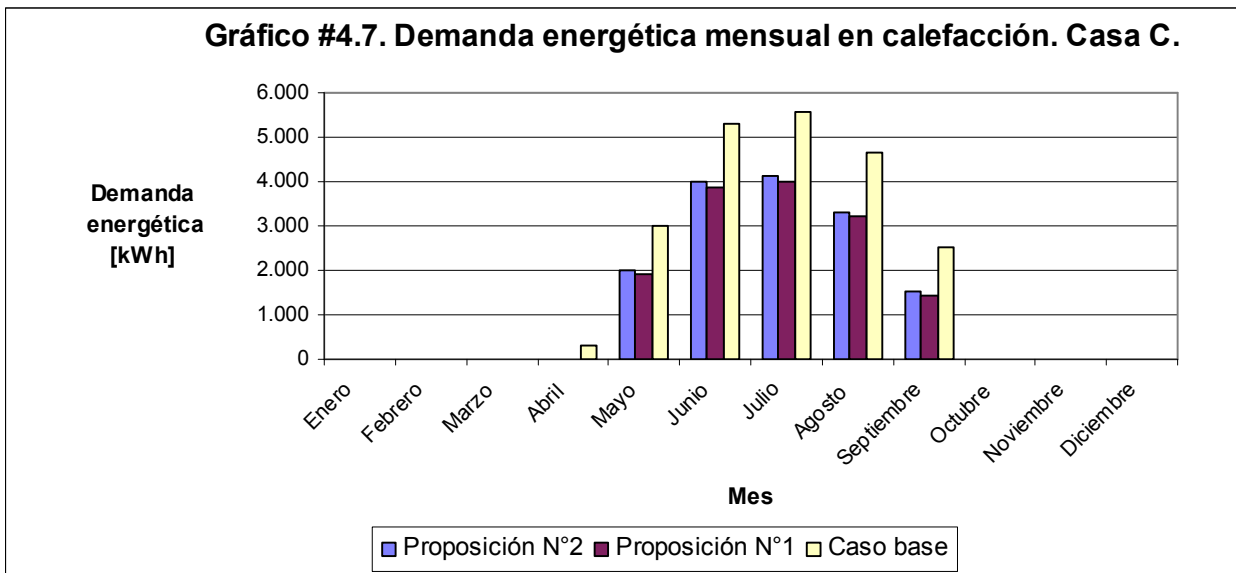


Tabla #4.19. Demanda energética calefacción. Casa C		
Mes	Consumo proposición N°1 [kWh]	Consumo proposición N°2 [kWh]
Enero	0	0
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	0	0
Mayo	1.927	2.013
Junio	3.876	3.991
Julio	4.021	4.145
Agosto	3.205	3.320
Septiembre	1.454	1.541
Octubre	0	0
Noviembre	0	0
Diciembre	0	0



Como se puede apreciar en los gráficos para los tres tipos de viviendas se logra disminuir considerablemente la demanda energética en cada una de las proposiciones (entre un 35%-45% dependiendo de la vivienda).

Por último, la demanda mensual de GLP en kg para cada vivienda en ambas proposiciones considerando el uso de la caldera del proyecto es el siguiente:

Tabla #4.20. Demanda de GLP caldera Rinnai						
Mes	Casa A		Casa B		Casa C	
	Prop. N°1	Prop. N° 2	Prop. N°1	Prop. N° 2	Prop. N°1	Prop. N° 2
	[kg/mes]	[kg/mes]	[kg/mes]	[kg/mes]	[kg/mes]	[kg/mes]
Enero	0	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0
Mayo	165	173	190	198	181	189
Junio	351	362	371	382	364	375
Julio	364	376	386	397	378	389
Agosto	287	298	311	321	301	312
Septiembre	125	134	148	156	137	145
Octubre	0	0	0	0	0	0
Noviembre	0	0	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0	0	0
Anual	1.293	1.342	1.406	1.453	1.360	1.409

Tabla #4.21. Consumo mensual en pesos⁽²⁾.						
Mes	Casa A		Casa B		Casa C	
	Prop. N°1	Prop. N° 2	Prop. N°1	Prop. N° 2	Prop. N°1	Prop. N° 2
	[\$/mes]	[\$/mes]	[\$/mes]	[\$/mes]	[\$/mes]	[\$/mes]
Enero	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Febrero	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Marzo	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Abril	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Mayo	\$ 123.282	\$ 129.283	\$ 141.768	\$ 147.463	\$ 134.961	\$ 140.962
Junio	\$ 261.670	\$ 269.746	\$ 277.002	\$ 284.666	\$ 271.437	\$ 279.513
Julio	\$ 271.875	\$ 280.502	\$ 287.800	\$ 295.986	\$ 281.647	\$ 290.273
Agosto	\$ 213.942	\$ 222.006	\$ 231.900	\$ 239.553	\$ 224.468	\$ 232.532
Septiembre	\$ 93.548	\$ 99.628	\$ 110.374	\$ 116.143	\$ 101.852	\$ 107.932
Octubre	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Noviembre	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Diciembre	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Anual	\$ 964.318	\$ 1.001.164	\$ 1.048.844	\$ 1.083.810	\$ 1.014.366	\$ 1.051.212

² Valor de la UF \$20.954

4.2. Calefacción

Consideraciones generales:

- Dado que en el proyecto original tanto el consumo de calefacción como el de servicios están considerados dentro de lo que es la caldera, ambos consumos se trabajarán juntos y en consecuencia las proposiciones incluirán los dos casos.
- Se analizarán tres proposiciones de calefacción y servicios: Instalación solar térmica de paneles para líquido y apoyo auxiliar de caldera tradicional, bomba aerotérmica monovalente (sin apoyo auxiliar) y caldera de condensación.
- El uso de paneles solares térmicos para aire se dejará de lado ya que estos no se comercializan dentro del mercado nacional. Esto se debe principalmente a su bajo costo, por lo que no resulta atractivo para las empresas su comercialización.
- Para las bombas de calor se descartará el uso de bombas geotérmicas por los siguientes motivos:
 - Para las condiciones climáticas de Santiago no se justifica realizar una excavación para obtener temperaturas adecuadas, esto ya que la temperatura ambiente es considerablemente más favorable en comparación con otros países donde se tienen temperaturas mínimas extremas que pondrían afectar el funcionamiento de la bomba de calor.
 - El costo del equipo es mucho más elevado para un sistema de bomba de calor geotérmica (más del doble⁽³⁾) y los beneficios son prácticamente similares.

En consecuencia solo se evaluará un sistema de bomba de calor aire/agua. Para esto se adoptará el dimensionamiento recomendado por la empresa que las comercializa, el cual será verificado según un manual específico para el dimensionamiento de las mismas ⁽⁴⁾.

³ Según los valores cotizados en la empresa SAVE ENERGY.

⁴ Manual Dimplex, dimensionamiento e instalación de bombas de calor para calefacción y preparación de agua caliente. www.dimplex.de/downloads/planungs-handbuecher.

- Para el uso de paneles solares térmicos para líquido se utilizarán las cargas térmicas de las viviendas para el caso base de aislación, es decir, tal cual están siendo construidas actualmente.
- Las calderas de condensación aún no entran masivamente al mercado nacional, por lo que no se tiene mucha información sobre precios y rendimientos de estas. Sin embargo la evaluación económica se realizará con datos genéricos ya que se logró obtener un precio de referencia.
- Por último, dependiendo del tipo de proposición se deberá considerar las siguientes ganancias térmicas para el dimensionamiento:
 - Ganancias térmicas en ventanas expuestas a radiación.
 - Ganancias térmicas producto del uso de equipos.
 - Ganancias térmicas producto del calor liberado por personas.

A continuación se verá en detalle cada una de las proposiciones de calefacción:

4.2.1 Caracterización de las proposiciones.

- Calefacción y servicios mediante paneles solares térmicos para líquido con apoyo de caldera tradicional.

Consideraciones:

- La temperatura de diseño de salida de agua caliente es de 60 °C.
- Las ganancias térmicas son consideradas dentro del diseño ya que de esta forma la instalación solar es más reducida en tamaño lo que disminuye la inversión.
- Se consultó en diferentes empresas de paneles solares (TRANSSEN, ARISTON, REHAU, etc.) y finalmente se optó por los paneles TRANSSEN, modelo itapua. Esto ya que la relación precio calidad era la mas conveniente.

Los coeficientes de pérdidas globales y la eficiencia óptica del colector son las siguientes:

$$F_r(\tau\alpha)_n = 0,709$$

$$F_rU_L = 6,443 [W/m^2K]$$

Según las cargas térmicas de calefacción y servicios de cada una de las viviendas se obtiene, mediante el método f-chart, la cobertura anual solar para diferentes áreas de colector tal como se ve en los gráficos siguientes:

Gráfico #4.8. Cobertura solar anual v/s área colector. Casa A

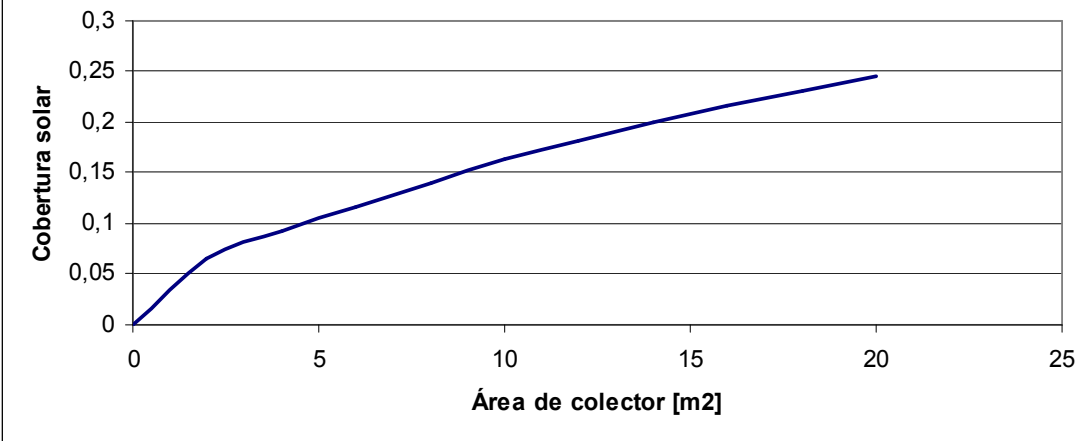


Gráfico #4.9. Cobertura solar anual v/s área colector. Casa B

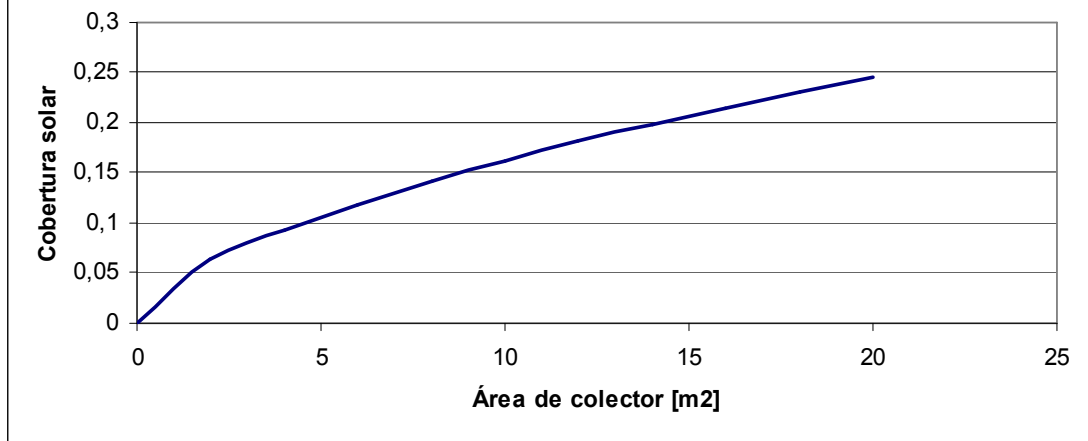
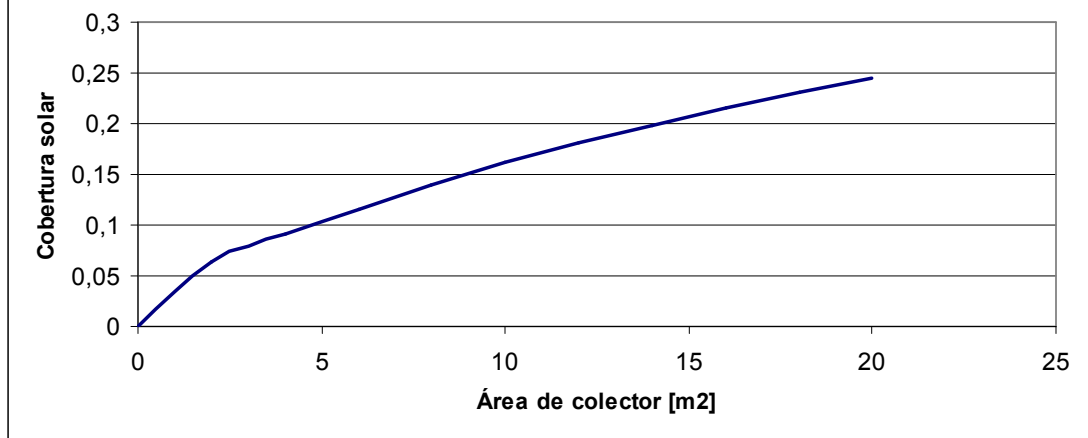


Gráfico #4.10. Cobertura solar anual v/s área de colector. Casa C



Como se puede ver en los gráficos, la curva es prácticamente la misma debido a la similitud de las viviendas respecto a sus cargas térmicas de calefacción. Por otra parte, se logra apreciar que el aporte solar es bastante bajo en relación al área de paneles necesaria (20% para un área de colectores de 20 m²) y si se considera además su elevado costo, se hace prácticamente inviable realizar inversiones en este tipo de tecnologías para calefacción. En consecuencia no se realizará una evaluación económica detallada de la misma.

➤ Calefacción y servicios mediante caldera de condensación.

Consideraciones:

- Se escogió una caldera de 28.500 kcal/hr (33 kW), potencia similar a la utilizada actualmente para las viviendas
- Este tipo de calderas recién está entrando al mercado nacional en forma masiva por lo que aún no se tiene muchos datos respecto de su funcionamiento. En consecuencia, se utilizará un valor estándar de rendimiento para este tipo de calderas de 109%.

- Calefacción y servicios con bombas de calor aire-agua utilizando como foco frío la temperatura ambiente.

Consideraciones:

- Para el dimensionamiento de la bomba de calor no se consideraron las ganancias térmicas. Esto ya que la bomba debe estar diseñada para el caso mas desfavorable.
- Para obtener la demanda de calor de las viviendas se utilizó el día más frío probable del año. En este sentido se consideró una temperatura de 0 °C⁽⁵⁾
- La temperatura de ingreso a la losa radiante es de 55 °C.
- La potencia requerida para los tres tipos de viviendas es de 25 kW.

La empresa consultada fue SAVE ENERGY. En este caso se optó por la bomba de calor modelo RUPANCO de 25 kW de potencia.

Tabla #4.22. Bomba aerotérmica Rupanco		
Capacidad de calefacción	kW	25
	BTU/h	86000
Potencia absorbida	kW	8,5
COP ⁽⁶⁾		2,9
Nivel de ruido	dB(A)	59
Peso neto	kg	200

⁵ Se obtuvo información sobre el dimensionamiento de bombas de calor que utiliza una empresa del rubro de climatización y se siguieron las recomendaciones explicadas. Nombre empresa: 20 ° Climatización.

⁶ El COP de la bomba se obtuvo con la potencia consumida considerando el uso de ventiladores y bombas de circulación.

4.2.2 Cuantificación de la demanda mensual en combustible.

Consideraciones:

- El combustible para los equipos a gas que se usan en la vivienda es GNL. Sin embargo, para la evaluación se utilizará el precio del gas licuado propanado (GLP) ya que este tiene un valor estándar y no depende del tipo de contrato que se tenga con la distribuidora (Metro Gas en el caso de GNL).
- Calefacción y servicios mediante caldera de condensación.

Tabla #4.23. Demanda de GLP caldera condensación						
	Casa A		Casa B		Casa C	
	Cap. Requerida [kWh/mes]	Consumo [kg/mes]	Cap. Requerida [kWh/mes]	Consumo [kg/mes]	Cap. Requerida [kWh/mes]	Consumo [kg/mes]
Enero	101	7	101	7	101	7
Febrero	98	7	98	7	98	7
Marzo	103	7	103	7	103	7
Abril	262	18	506	35	432	30
Mayo	2945	203	3146	217	3112	214
Junio	5298	365	5436	375	5437	375
Julio	5550	382	5691	392	5690	392
Agosto	4626	319	4801	331	4776	329
Septiembre	2549	176	2726	188	2668	184
Octubre	127	9	127	9	127	9
Noviembre	113	8	113	8	113	8
Diciembre	106	7	106	7	106	7
Anual	21.878	1.508	22.953	1.582	22.762	1.568

Tabla #4.24. Consumo calefacción caldera condensación en pesos.

Mes	Casa A	Casa B	Casa C
	[\$/mes]	[\$/mes]	[\$/mes]
Enero	\$ 5.179	\$ 5.179	\$ 5.179
Febrero	\$ 5.018	\$ 5.018	\$ 5.018
Marzo	\$ 5.311	\$ 5.311	\$ 5.311
Abril	\$ 13.485	\$ 25.989	\$ 22.183
Mayo	\$ 151.387	\$ 161.725	\$ 159.958
Junio	\$ 272.334	\$ 279.414	\$ 279.503
Julio	\$ 285.297	\$ 292.543	\$ 292.468
Agosto	\$ 237.786	\$ 246.785	\$ 245.512
Septiembre	\$ 131.049	\$ 140.148	\$ 137.144
Octubre	\$ 6.524	\$ 6.524	\$ 6.524
Noviembre	\$ 5.791	\$ 5.791	\$ 5.791
Diciembre	\$ 5.444	\$ 5.444	\$ 5.444
Anual	\$ 1.124.605	\$ 1.179.871	\$ 1.170.035

- Calefacción y servicios con bomba de calor aire-agua utilizando como foco frío la temperatura ambiente.

Tabla #4.25. Consumo eléctrico bomba de calor. Casa A

Mes	Cap. Requerida	Operación	Demanda	Consumo BT 1
	[kWh/mes]	[h/mes]	[kWh/mes]	[\$/mes]
Enero	101	4	34	\$ 4.553
Febrero	98	4	33	\$ 4.431
Marzo	103	4	35	\$ 4.654
Abril	262	10	89	\$ 10.849
Mayo	2.945	118	1.001	\$ 152.748
Junio	5.298	212	1.801	\$ 274.282
Julio	5.550	222	1.887	\$ 287.307
Agosto	4.626	185	1.573	\$ 239.566
Septiembre	2.549	102	867	\$ 132.312
Octubre	127	5	43	\$ 5.573
Noviembre	113	5	38	\$ 5.017
Diciembre	106	4	36	\$ 4.754
Anual	21.878	875	7.438	\$ 1.126.047

Tabla #4.26. Consumo eléctrico bomba de calor. Casa B				
Mes	Cap. Requerida	Operación	Demanda	Consumo BT 1
	[kWh/mes]	[h/mes]	[kWh/mes]	[\$/mes]
Enero	101	4	34	\$ 4.553
Febrero	98	4	33	\$ 4.431
Marzo	103	4	35	\$ 4.654
Abril	506	20	172	\$ 20.325
Mayo	3.146	126	1.070	\$ 163.137
Junio	5.436	217	1.848	\$ 281.396
Julio	5.691	228	1.935	\$ 294.588
Agosto	4.801	192	1.632	\$ 248.609
Septiembre	2.726	109	927	\$ 141.455
Octubre	127	5	43	\$ 5.573
Noviembre	113	5	38	\$ 5.017
Diciembre	106	4	36	\$ 4.754
Anual	22.953	918	7.804	\$ 1.178.494

Tabla #4.27. Consumo eléctrico bomba de calor. Casa C				
Mes	Cap. Requerida	Operación	Demanda	Consumo BT 1
	[kWh/mes]	[h/mes]	[kWh/mes]	[\$/mes]
Enero	101	4	34	\$ 4.553
Febrero	98	4	33	\$ 4.431
Marzo	103	4	35	\$ 4.654
Abril	432	17	147	\$ 17.441
Mayo	3.112	124	1.058	\$ 161.362
Junio	5.437	217	1.849	\$ 281.485
Julio	5.690	228	1.934	\$ 294.514
Agosto	4.776	191	1.624	\$ 247.330
Septiembre	2.668	107	907	\$ 138.436
Octubre	127	5	43	\$ 5.573
Noviembre	113	5	38	\$ 5.017
Diciembre	106	4	36	\$ 4.754
Anual	22.762	910	7.739	\$ 1.169.550

4.3. Calentamiento de agua sanitaria.

Consideraciones:

- Dado que en el proyecto original tanto el consumo de calefacción como el de servicios están considerados dentro de lo que es la caldera, en este punto solo se trabajará el consumo de A.C.S sin incluir los servicios.
- Se analizarán dos proposiciones de A.C.S: Instalación solar térmica de paneles para líquido con apoyo auxiliar de una resistencia eléctrica ubicada en el estanque de almacenamiento y bomba de calor aerotérmica monovalente (sin apoyo auxiliar).

4.3.1 Caracterización de las proposiciones.

➤ A.C.S. mediante paneles solares térmicos para líquido.

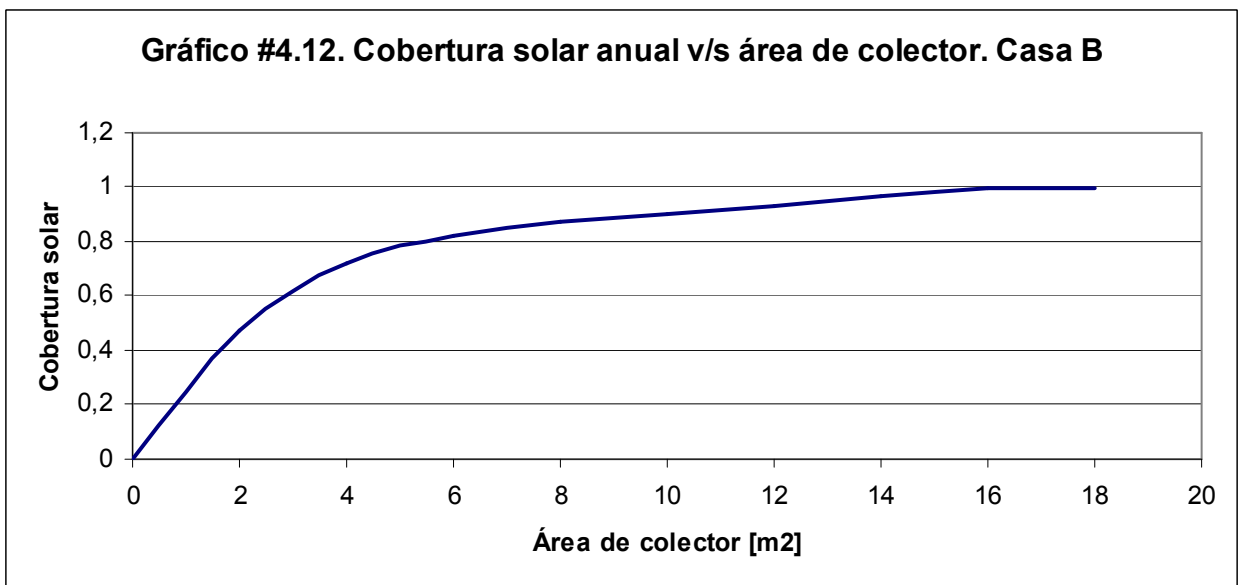
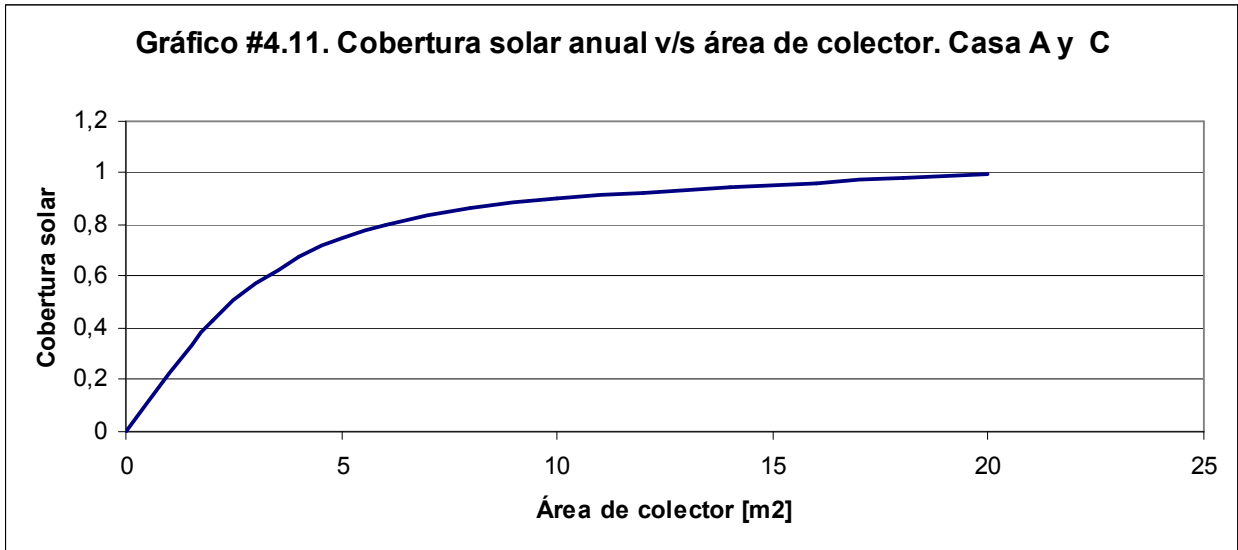
- Este sistema contará con un sistema de apoyo de una resistencia eléctrica.
- La temperatura de diseño de salida de agua caliente es de 45 °C.
- Al igual que para calefacción, se consultó en diferentes empresas de paneles solares (TRANSEN, ARISTON, REHAU, etc.) y finalmente se optó por los paneles TRANSEN, modelo itapua. Esto ya que la relación precio calidad era la más conveniente.

Los coeficientes de pérdidas globales y la eficiencia óptica del colector son las siguientes:

$$F_r(\tau\alpha)_n = 0,709$$

$$F_r U_L = 6,443 [W/m^2 K]$$

Según las cargas térmicas de A.C.S de cada una de las viviendas se obtiene, mediante el método f-chart, la cobertura anual solar para diferentes áreas de colector, tal como se ve en los gráficos siguientes:



Como se puede ver en los gráficos, a diferencia que en la calefacción, la cobertura solar anual sobrepasa el 50% para un área de colectores relativamente baja (menor a 5 m²). Esta diferencia es la que hace rentable el calentamiento de aguas sanitarias por este método, no así para el caleccionamiento de viviendas.

- A.C.S mediante bomba de calor aire-agua utilizando como foco frío la temperatura ambiente.

Consideraciones:

- Para el dimensionamiento se recomienda (⁷) utilizar un consumo por persona de 80-100 l a 45 °C. Con esto se tiene una potencia de 0,2 kW por persona.
- Considerando que en los tres tipos de casas habitan entre 7 – 8 personas, la potencia requerida para las viviendas es de 1,6 kW.

Para esta opción se optó nuevamente por las bombas de calor que comercializa SAVE ENERGY. En este caso la empresa recomendó la bomba de calor modelo Ranco de 2,6 kW de potencia, que es la bomba más pequeña que comercializan.

Tabla #4.28. Bomba aerotérmica Ranco		
Capacidad de calefacción	kW	2,6
Capacidad de estanque agua	l	300
Potencia absorbida	W	810
COP		3,2
Temperatura media salida de agua	°C	55
Temperatura máxima salida de agua	°C	60
Nivel de ruido	dB(A)	49
Peso neto	kg	88

⁷ Manual Dmiplex. Citado anteriormente

4.3.2 Cuantificación de la demanda mensual en combustible.

Consideraciones:

- El combustible para los equipos a gas que se usan en la vivienda es GNL. Sin embargo, para la evaluación se utilizará el precio del gas licuado propanado (GLP) ya que este tiene un valor estándar y no depende del tipo de contrato que se tenga con la distribuidora (Metro Gas en el caso de GNL).
 - La instalación solar térmica considera un sistema de apoyo en base a una resistencia eléctrica ubicada en el tanque de almacenamiento., en consecuencia se tiene un consumo eléctrico asociado al calentamiento de agua sanitaria.
- A.C.S. mediante paneles solares térmicos para líquido.

Tabla #4.29. Demanda eléctrica paneles solares térmicos				
Mes	Casa A y C		Casa B	
	Cap. Requerida	Consumo BT 1	Cap. Requerida	Consumo BT 1
	[kWh/mes]	[\$/mes]	[kWh/mes]	[\$/mes]
Enero	0	\$ 628	0	\$ 628
Febrero	6	\$ 1.280	4	\$ 1.126
Marzo	18	\$ 2.728	12	\$ 2.012
Abril	67	\$ 8.303	49	\$ 6.207
Mayo	149	\$ 23.303	116	\$ 18.224
Junio	199	\$ 30.917	160	\$ 24.868
Julio	197	\$ 30.584	156	\$ 24.358
Agosto	156	\$ 24.352	120	\$ 18.810
Septiembre	94	\$ 14.945	68	\$ 10.953
Octubre	32	\$ 4.339	18	\$ 2.711
Noviembre	4	\$ 1.078	0	\$ 638
Diciembre	0	\$ 628	0	\$ 628
Anual	923	\$ 143.085	703	\$ 111.162

- A.C.S mediante bomba de calor aire-agua utilizando como foco frío la temperatura ambiente.

Tabla #4.30. Demanda eléctrica bomba de calor. Casa A y C				
Mes	Cap. Requerida	Operación	Consumo	Consumo BT 1
	[kWh/mes]	[h/mes]	[kWh/mes]	[\$/mes]
Enero	328	126	102	\$ 12.341
Febrero	301	116	94	\$ 11.370
Marzo	337	130	105	\$ 12.656
Abril	346	133	108	\$ 12.966
Mayo	386	149	120	\$ 18.904
Junio	407	156	127	\$ 19.875
Julio	443	170	138	\$ 21.592
Agosto	453	174	141	\$ 22.070
Septiembre	430	165	134	\$ 20.973
Octubre	418	161	130	\$ 15.539
Noviembre	363	139	113	\$ 13.576
Diciembre	346	133	108	\$ 12.971
Total	4.556	1.752	1.419	\$ 194.833

Tabla #4.31. Demanda eléctrica bomba de calor. Casa B				
Mes	Cap. Requerida	Operación	Consumo	Consumo BT 1
	[kWh/mes]	[h/mes]	[kWh/mes]	[\$/mes]
Enero	281	108	88	\$ 10.667
Febrero	258	99	80	\$ 9.835
Marzo	289	111	90	\$ 10.938
Abril	296	114	92	\$ 11.203
Mayo	331	127	103	\$ 16.293
Junio	349	134	109	\$ 17.126
Julio	380	146	118	\$ 18.597
Agosto	388	149	121	\$ 19.007
Septiembre	368	142	115	\$ 18.067
Octubre	358	138	112	\$ 13.409
Noviembre	311	120	97	\$ 11.726
Diciembre	296	114	92	\$ 11.208
Total	3.905	1.502	1.217	\$ 168.077

CAPITULO 5

EVALUACIÓN ECONÓMICA.

La evaluación económica de las proposiciones en cada uno de los ítems analizados considerará tres diferentes escenarios de precios de combustible.

Tabla #5.1. Tasa inflación anual combustibles ⁽¹⁾. Posibles escenarios económicos	
Caso pesimista ⁽²⁾	4%
Caso base	2%
Caso optimista	0%

Es importante señalar que se calculó el valor actual neto (VAN) en dos casos. El primero sin considerar tasa descuento y el segundo considerando una tasa de descuento del 6% ⁽³⁾ anual.

Además, para ver la conveniencia de invertir en cada una de las proposiciones se comparará la tasa interna de retorno (TIR) de estas con:

- tasa de interés de préstamos para créditos de consumo: ésta es relevante cuando la vivienda ya esta construida y solo es necesario invertir en las proposiciones. En consecuencia el capital necesario es del orden de las 100 UF – 200 UF por lo que puede ser financiado con un crédito de consumo. Las tasas de estos son del orden del 20% anual.
- tasa de interés de préstamos para créditos hipotecarios: ésta es relevante cuando se necesita financiamiento para construir la vivienda. En consecuencia el capital necesario para este tipo de viviendas es superior a las 10.000 UF por lo que debe ser financiado con un crédito de consumo. Las tasas de estos son del orden del 6% anual.
- tasa de retorno de inversiones alternativas: esta es relevante cuando se invertirá capital propio. En consecuencia, la rentabilidad de la inversión se deberá comparar con la rentabilidad de alguna inversión alternativa, en este caso fondos mutuos (Ver anexo E.2)

Por otra parte, se tienen los siguientes precios actuales:

- Valor UF es de \$20.954
- Valor dólar es de \$544

¹ La justificación del uso de estas tasas se encuentra en el Anexo E.

² Pesimista desde el punto de vista del consumidor ya que los precios del combustible se incrementan cada año. Sin embargo, resulta ser optimista para el uso de energías alternativas ya que se ahorra más plata y en consecuencia el periodo de recuperación de la inversión es más corto.

³ La justificación del uso de esta tasa se encuentra en el Anexo E.

5.1 Tecnología de Aislación de la envolvente.

Consideraciones:

- El horizonte de evaluación de las proposiciones es de 10 años.
- No se considerará depreciaciones ni valor residual de las proposiciones. Simplemente se cuantificará el VAN final de los flujos, producto del ahorro energético, y el período de recuperación de la inversión.

Tabla #5.2. Características combustible calefacción. Caldera Rinnai	
Rendimiento equipo	80%
Combustible	GLP
PCI [kcal/m ³]	8500
PCI con pérdidas [kWh/kg]	13,31
Precio actual [\$/kg]	\$ 746
Costo energético unitario [\$/kWh]	\$ 70

5.1.1 Resultados.

➤ Casa A

Tabla #5.3. Características de las proposiciones casa A			
	Caso base	Proposición N° 1	Proposición N° 2
Inversión aislación	-	\$ 8.010.535	\$ 3.838.589
Consumo anual calefacción [kWh]	20.475	13.768	14.295

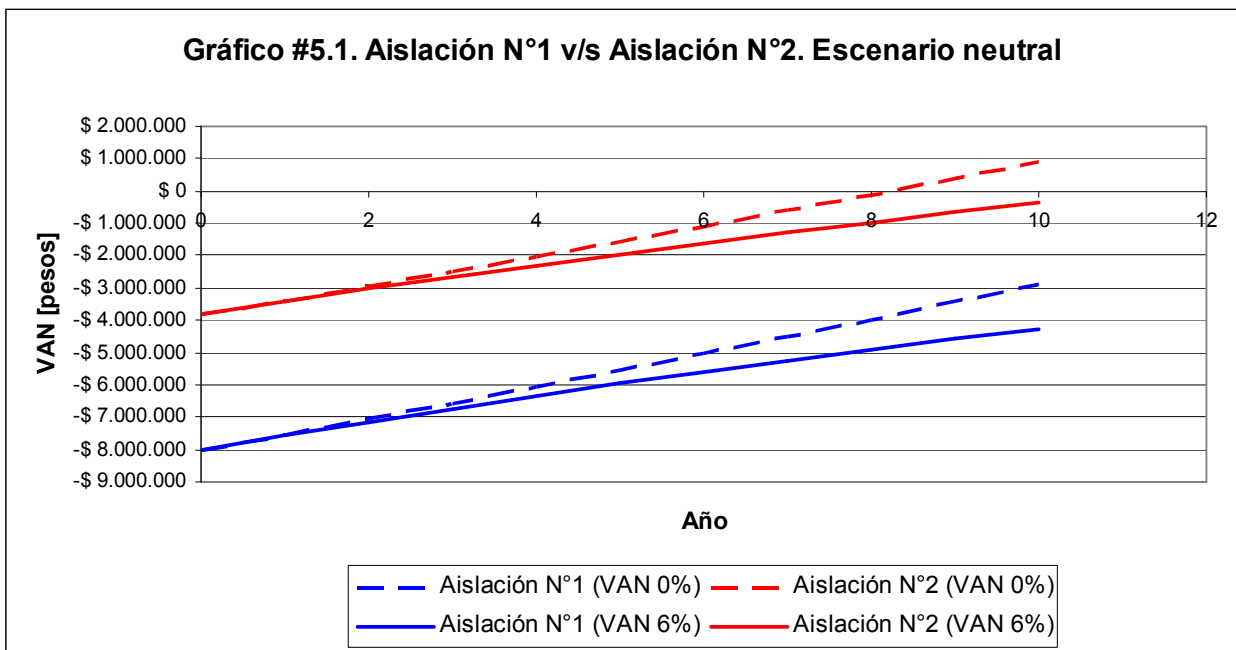


Tabla #5.4. Resultados escenario neutral		
	Aislación N° 1	Aislación N° 2
VAN (0%)	-\$ 2.867.009	\$ 901.479
Amortización [años]	14,8	8,2
VAN (6%)	-\$ 4.260.599	-\$ 382.798
Amortización [años]	29,8	11,4
TIR	-7%	4%

Gráfico #5.2. Aislación N°1 v/s Aislación N°2. Escenario optimista

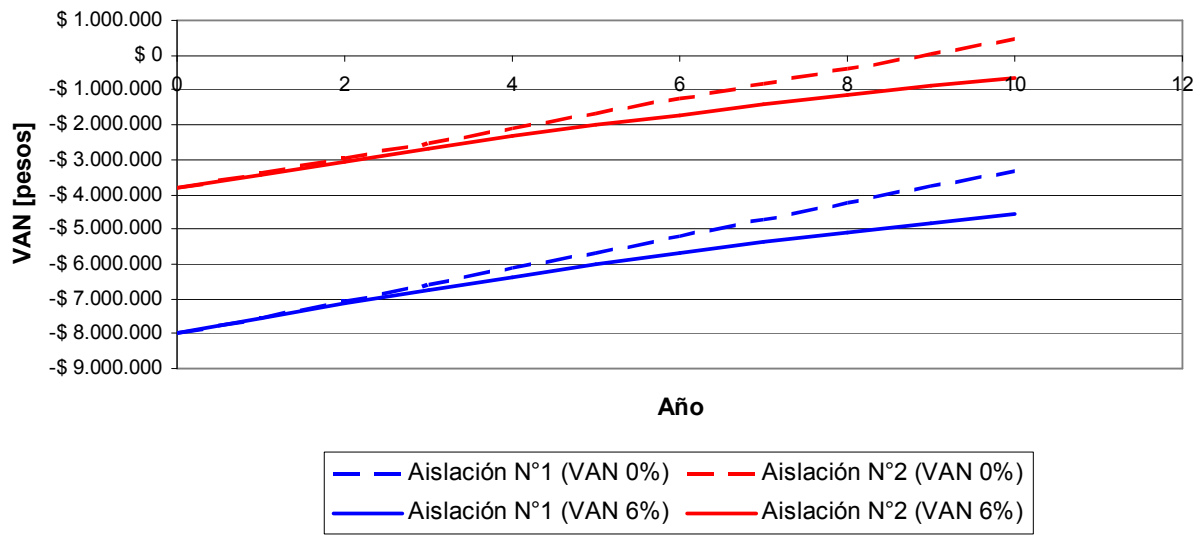


Tabla #5.5. Resultados escenario optimista

	Aislación N° 1	Aislación N° 2
VAN (0%)	-\$ 3.313.131	\$ 490.350
Amortización [años]	17,1	8,9
VAN (6%)	-\$ 4.553.205	-\$ 652.452
Amortización [años]	Indeterminado	13,0
TIR	-9%	2%

Gráfico #5.3. Aislación N°1 v/s Aislación N°2. Escenario pesimista

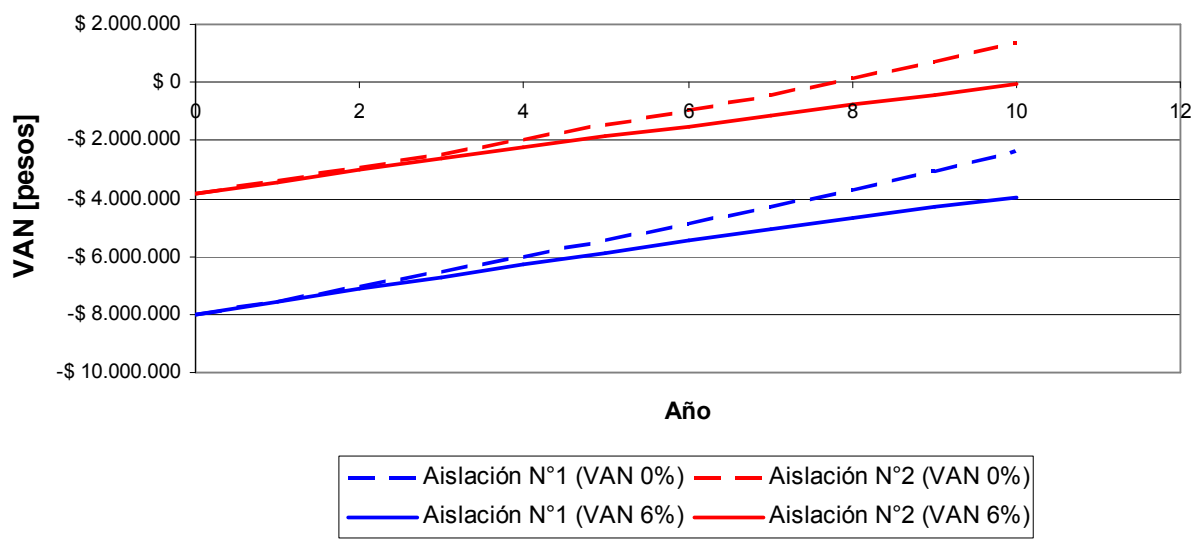


Tabla #5.6. Resultados escenario pesimista

	Aislación N° 1	Aislación N° 2
VAN (0%)	-\$ 2.370.782	\$ 1.358.782
Amortización [años]	13,3	7,7
VAN (6%)	-\$ 3.936.962	-\$ 84.548
Amortización [años]	21,9	10,2
TIR	-6%	6%

➤ Casa B

Tabla #5.7. Características de las proposiciones casa B			
	Caso base	Proposición N° 1	Proposición N° 2
Inversión aislación	-	\$ 7.641.520	\$ 3.756.654
Consumo anual calefacción [kWh]	21.551	14.932	15.431

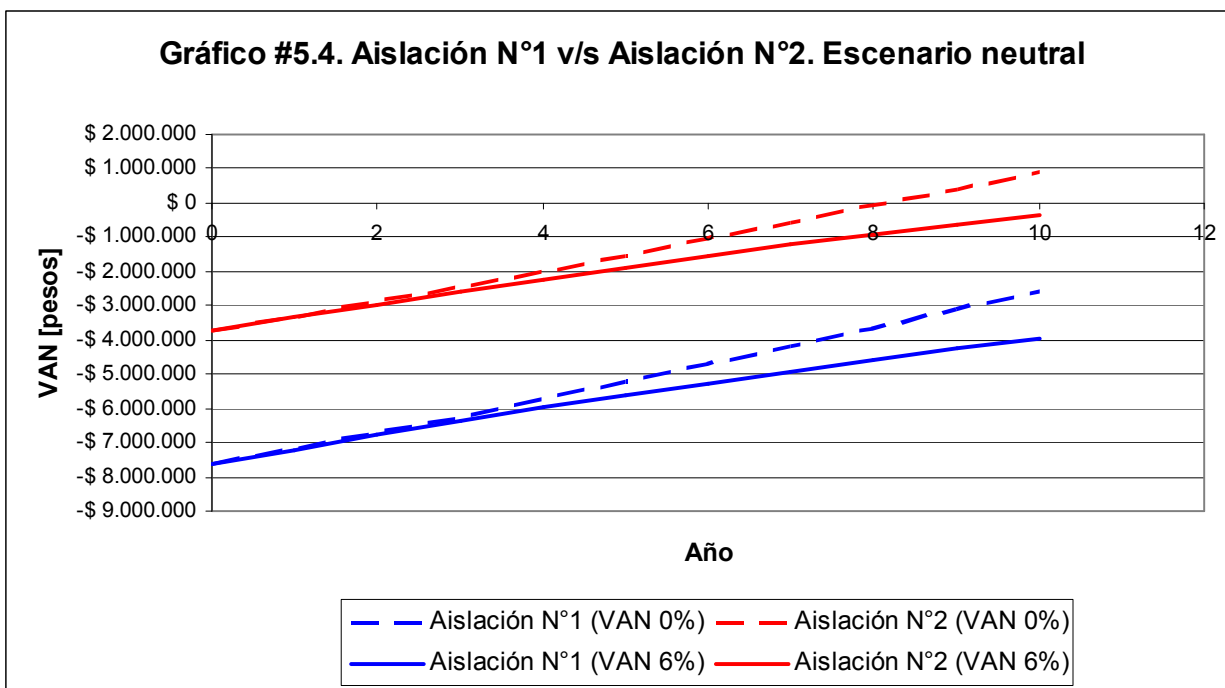


Tabla #5.8. Resultados escenario neutral		
	Aislación N° 1	Aislación N° 2
VAN (0%)	-\$ 2.565.502	\$ 936.489
Amortización [años]	14,4	8,2
VAN (6%)	-\$ 3.940.801	-\$ 335.074
Amortización [años]	28,0	11,2
TIR	-7%	4%

Gráfico #5.5. Aislación N°1 v/s Aislación N°2. Escenario optimista

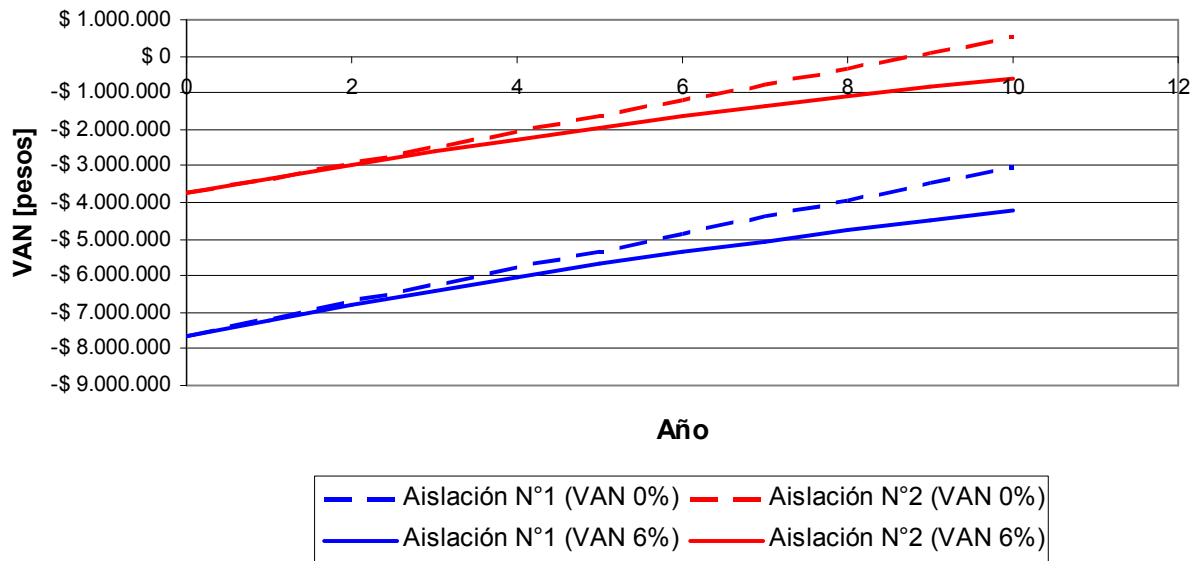


Tabla #5.9. Resultados escenario optimista

	Aislación N° 1	Aislación N° 2
VAN (0%)	-\$ 3.005.769	\$ 529.431
Amortización [años]	16,5	8,8
VAN (6%)	-\$ 4.229.567	-\$ 602.058
Amortización [años]	77,4	12,8
TIR	-8%	2%

Gráfico #5.6. Aislación N°1 v/s Aislación N°2. Escenario pesimista

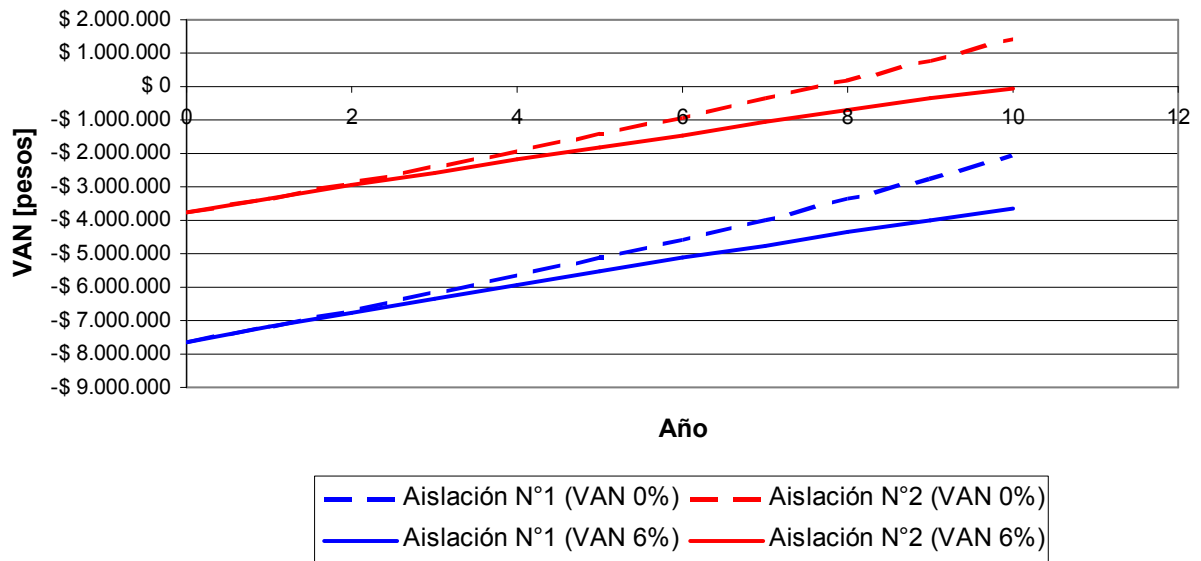


Tabla #5.10. Resultados escenario pesimista

	Aislación N° 1	Aislación N° 2
VAN (0%)	-\$ 2.075.788	\$ 1.389.265
Amortización [años]	12,9	0,5
VAN (6%)	-\$ 3.621.412	-\$ 39.776
Amortización [años]	21,0	10,1
TIR	-5%	6%

➤ Casa C:

Tabla #5.11. Características de las proposiciones casa C			
	Caso base	Proposición N° 1	Proposición N° 2
Inversión aislación	-	\$ 8.010.535	\$ 3.838.589
Consumo anual calefacción [kWh]	21.359	14.483	15.009

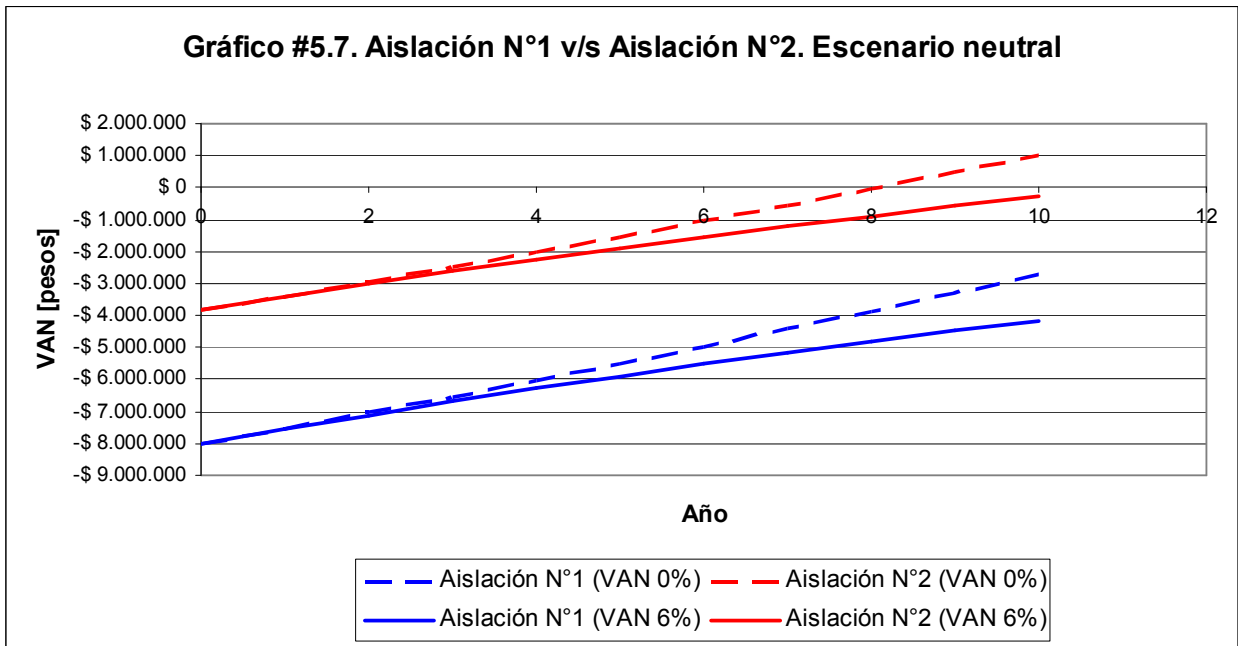


Tabla #5.12. Resultados escenario neutral		
	Aislación N° 1	Aislación N° 2
VAN (0%)	-\$ 2.737.245	\$ 1.031.242
Amortización [años]	14,5	8,0
VAN (6%)	-\$ 4.165.994	-\$ 288.193
Amortización [años]	28,5	11,0
TIR	-7%	4%

Gráfico #5.8. Aislación N°1 v/s Aislación N°2. Escenario optimista

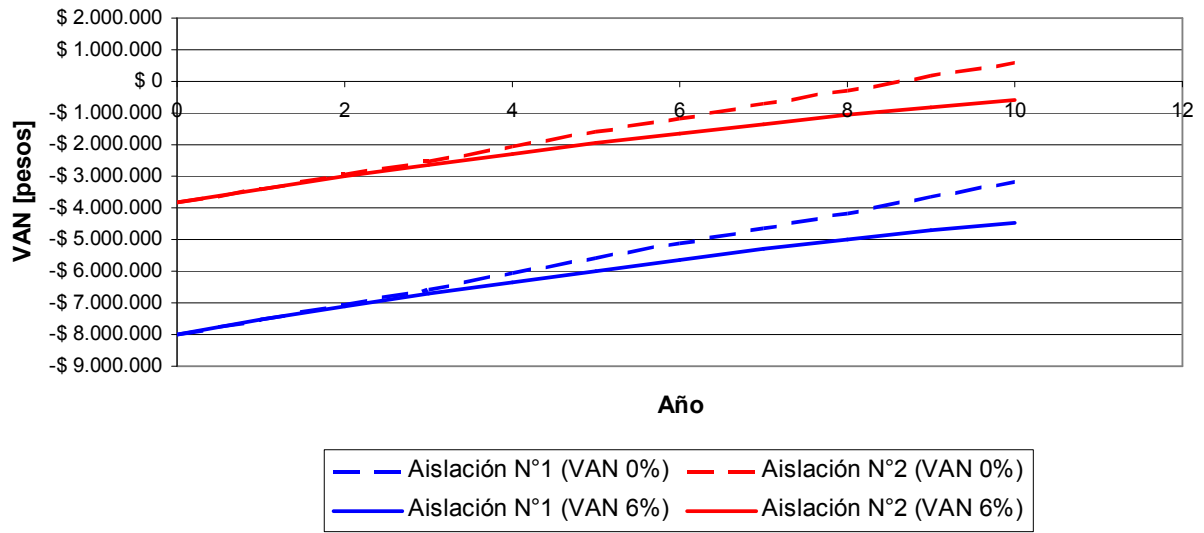


Tabla #5.13. Resultados escenario optimista

	Aislación N° 1	Aislación N° 2
VAN (0%)	-\$ 2.228.499	\$ 1.501.064
Amortización [años]	13,0	7,6
VAN (6%)	-\$ 3.834.192	\$ 18.222
Amortización [años]	21,2	9,9
TIR	-5%	6%

Gráfico #5.9. Aislación N°1 v/s Aislación N°2. Escenario pesimista

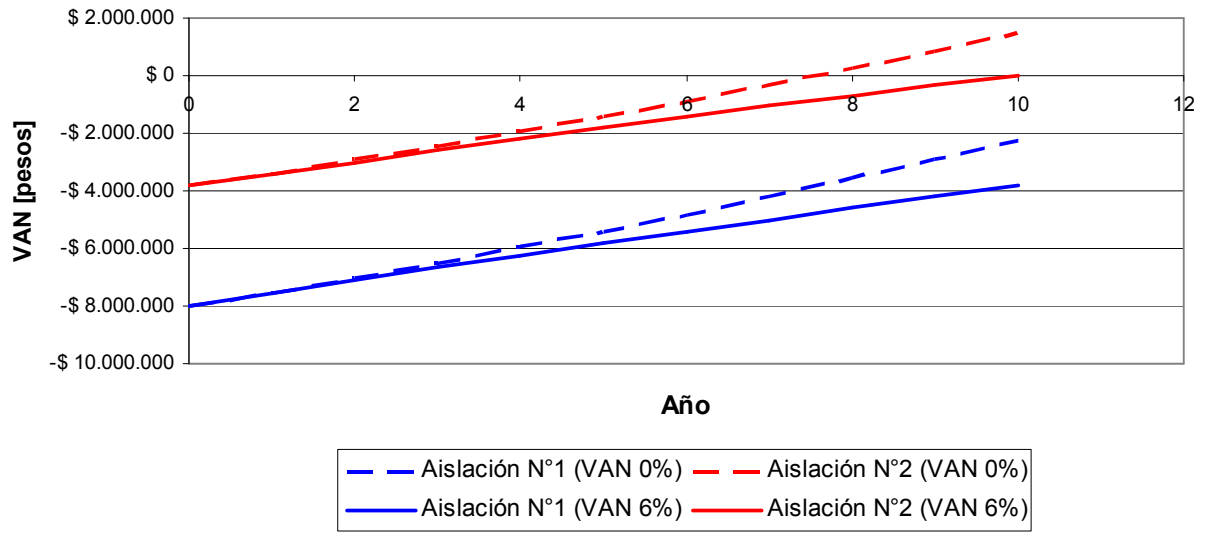


Tabla #5.14. Resultados escenario pesimista

	Aislación N° 1	Aislación N° 2
VAN (0%)	-\$ 3.194.623	\$ 608.859
Amortización [años]	16,6	8,6
VAN (6%)	-\$ 4.465.982	-\$ 565.229
Amortización [años]	106,7	12,5
TIR	-8%	3%

5.1.2 Análisis de los resultados.

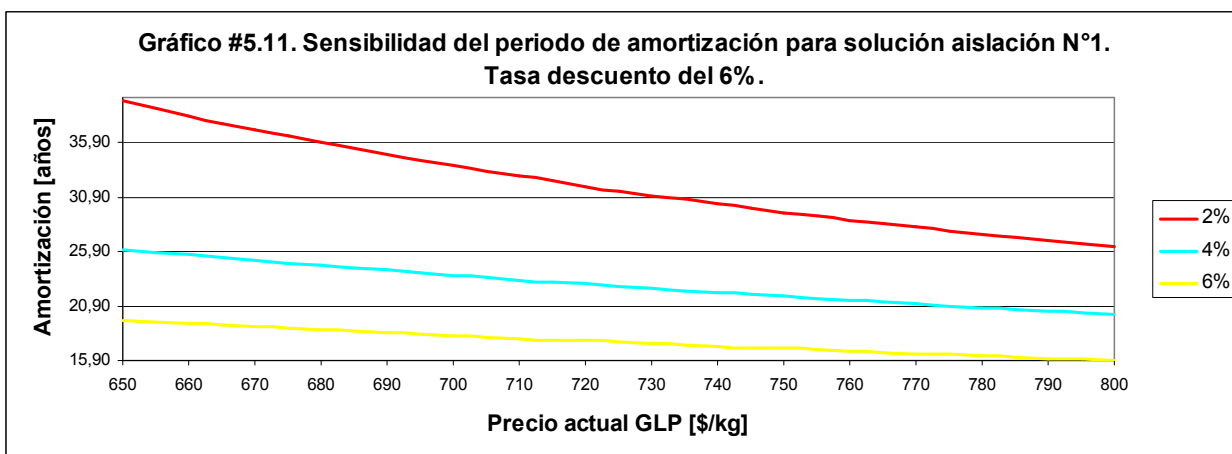
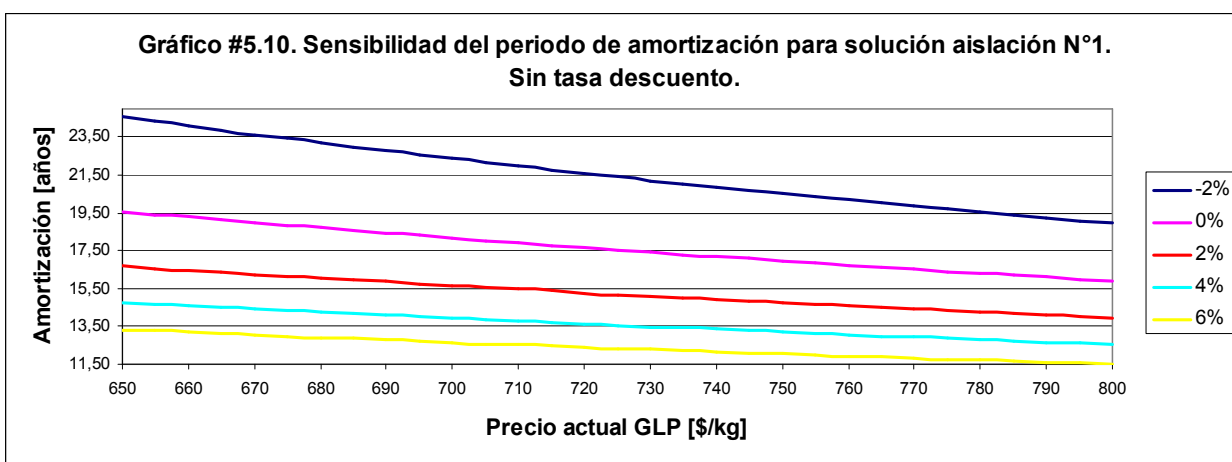
De los gráficos se puede apreciar lo siguiente:

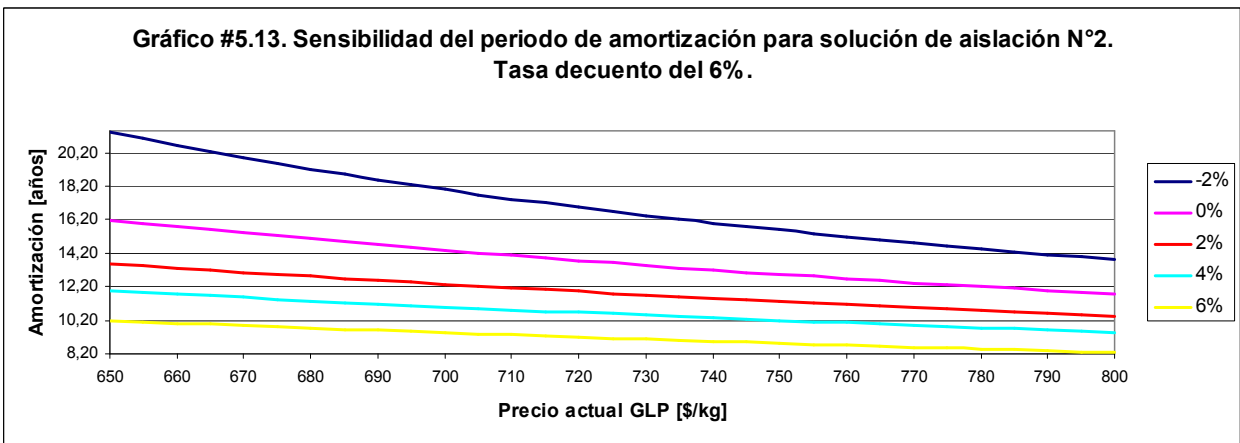
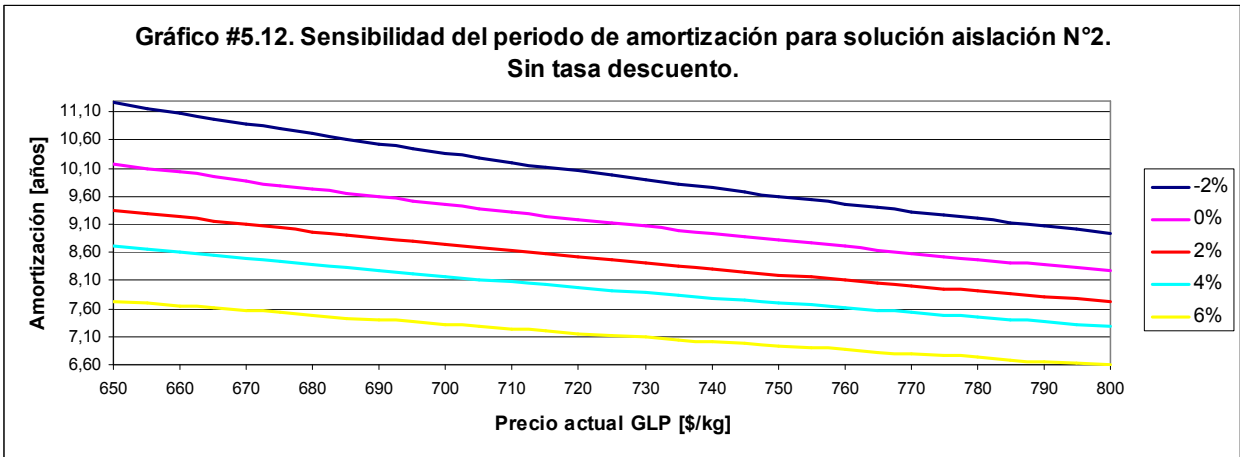
- La tasa de crecimiento del VAN en ambas proposiciones es levemente diferente. En este sentido, el VAN para la proposición de aislación N° 1 se acerca cada vez mas a la proposición de aislación N° 2. Esto se debe a que la proposición de aislación N°1 conlleva una menor demanda energética anual en relación a la proposición N°2, y en consecuencia los flujos (ahorro anual) son levemente superiores.
- Para este horizonte de evaluación se puede notar claramente que el VAN final es superior para la proposición de aislación N° 2 y la razón principal es su menor costo de instalación. En consecuencia, desde el punto de vista netamente económico es más rentable invertir en la proposición de aislación N°2.
- La TIR para la solución de aislación N° 1 es negativa lo que indica que no es conveniente realizar inversiones en esta solución. Esto se debe a que tanto la tasa de interés de créditos (caso que la inversión sea financiada con prestamos) como la tasa de retorno de inversiones alternativas (caso que la inversión sea financiada con capital propio) siempre serán superiores a la TIR. Por otra parte, para la solución de aislación N° 2 se tiene una TIR positiva pero muy baja, y en consecuencia, en la mayoría de los escenarios será inferior a las tasas antes mencionadas y por lo tanto no resulta conveniente realizar inversiones en esta solución.
- Analizando los diferentes escenarios económicos se puede notar que al aumentar el precio del combustible (escenario pesimista) usado para calefaccionar se logran flujos mas altos y en consecuencia se consigue un VAN mayor y períodos de amortización más breves.

5.1.3 Sensibilidad al precio del combustible.

A continuación se muestra un gráfico que permite determinar el periodo de amortización de las soluciones para el precio de combustible actual y bajo 5 supuestos de variaciones en el precio del combustible. En esta sección solo se muestran los gráficos para la casa A, los demás gráficos están en el anexo E.4.

Para usarlos es necesario conocer el precio actual del combustible y entrar al gráfico en el eje X, con este dato se puede obtener el periodo de recuperación de la inversión para 5 posibles escenarios de precios.





5.2 Tecnología de Calefacción.

Consideraciones:

- Como se dijo anteriormente, no se evaluarán sistemas de calefacción que hagan uso de energía solar ni bombas de calor geotérmicas.
- El horizonte de evaluación de las proposiciones a evaluar es de 10 años.
- No se considerará depreciaciones ni valor residual de las proposiciones. Simplemente se cuantificará el VAN final de los flujos, producto del ahorro energético, y el período de recuperación de la inversión.

Tabla #5.15. Características combustible y equipos de calefacción			
Equipo	Caldera Rinnai	Caldera condensación	Bomba de calor 24 kw
Costo ⁽⁴⁾	\$ 799.000	\$ 1.606.500	\$ 3.451.280
Combustible	GLP	GLP	Electricidad
PCI [kcal/m ³]	8500	8500	-
PCI [kwh/kg]	13,31	13,31	-
Rendimiento	80%	109%	290%
PCI con pérdidas [kwh/kg]	10,65	14,51	-
Costo [\$ /kg] - [\$ /kWh]	\$ 746	\$ 746	BT -1
Costo energético unitario [\$ /kwh]	\$ 70	\$ 51	BT -1

Tabla #5.16. Tarifación eléctrica BT-1		
Energía base	\$ 114,59	[\$ /kWh]
Energía invierno	\$ 151,92	[\$ /kWh]
Cargo fijo	\$ 628,26	[\$ /mes]

- La inversión corresponde al capital adicional necesario para adquirir el equipo alternativo, el cual tiene un costo de adquisición mayor (Diferencia entre costo de la caldera y el costo del equipo alternativo).
- Los flujos futuros (anuales) corresponden al capital ahorrado producto de la disminución en los costos operacionales del sistema de calefacción respecto del caso base.

⁴ Los costos de los equipos incluyen instalación y puesta en marcha. No incluyen la instalación de los serpentines internos de cada recinto puesto que las casas cuentan con losa radiante útil para cualquiera de las opciones a analizar.

5.2.1 Resultados

➤ Casa A:

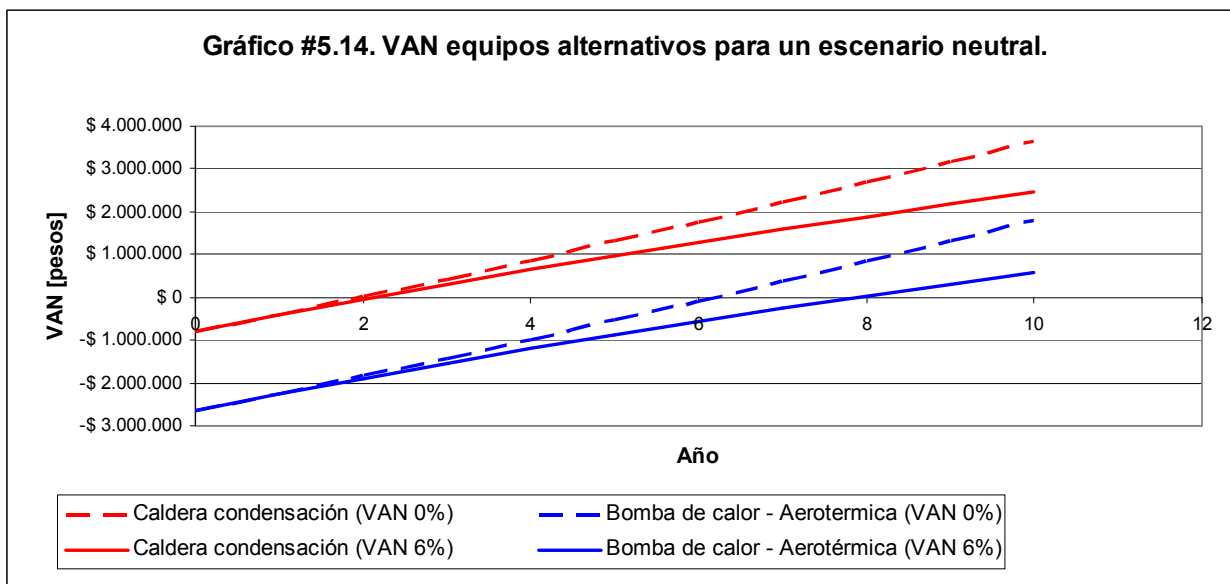


Tabla #5.17. Resultados escenario neutral

	Caldera de condensación	Bomba de calor aerotérmica
VAN (0%)	\$ 3.656.365	\$ 1.795.790
Amortización [años]	2,0	6,2
VAN (6%)	\$ 2.446.923	\$ 590.627
Amortización [años]	2,1	6,2
TIR	52%	10%

Gráfico #5.15. VAN equipos alternativos para un escenario optimista.

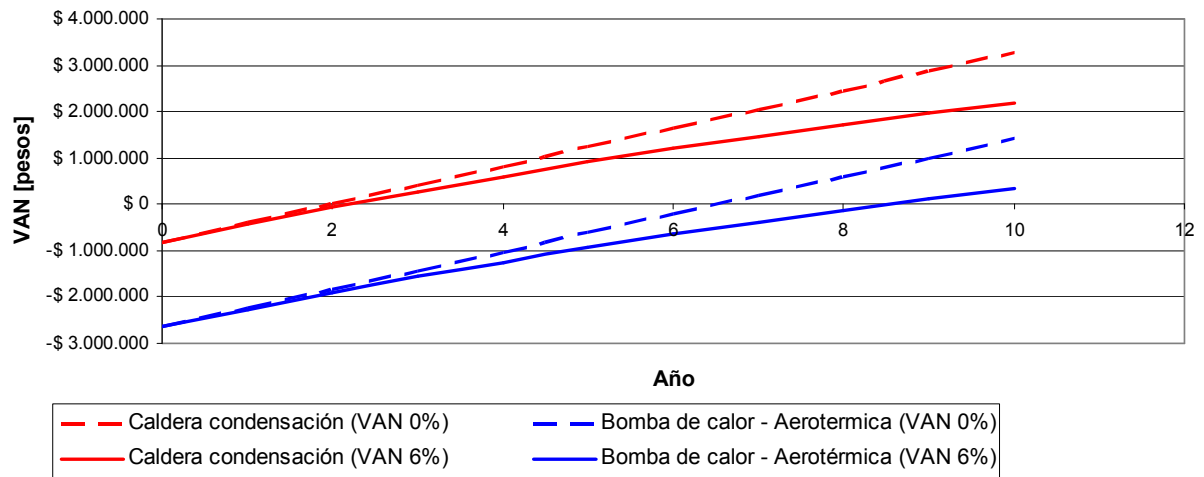


Tabla #5.18. Resultados escenario optimista

	Caldera de condensación	Bomba de calor aerotérmica
VAN (0%)	\$ 3.269.193	\$ 1.409.988
Amortización [años]	2,0	6,5
VAN (6%)	\$ 2.192.981	\$ 337.585
Amortización [años]	2,2	8,5
TIR	50%	9%

Gráfico #5.16. VAN equipos alternativos para un escenario pesimista.

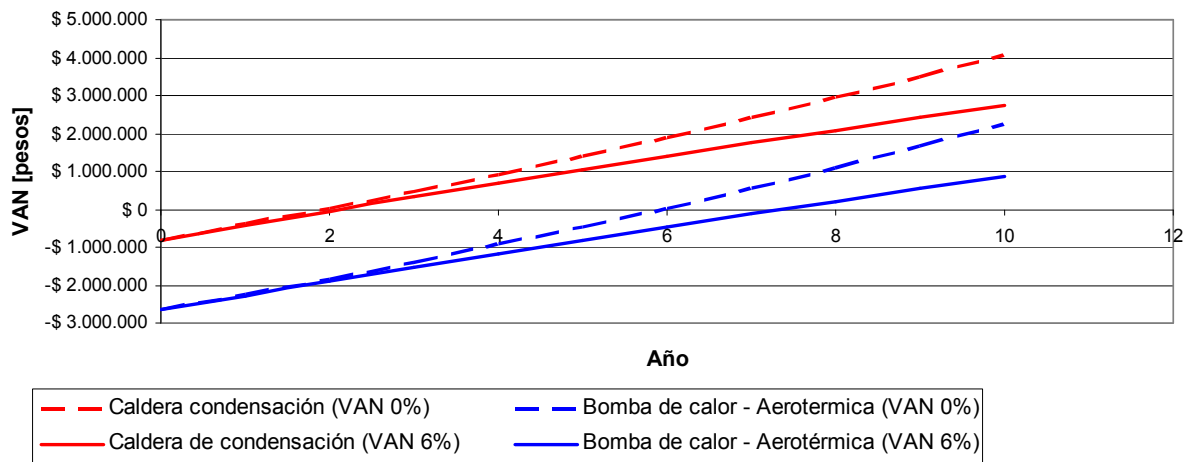


Tabla #5.19. Resultados escenario pesimista

	Caldera de condensación	Bomba de calor aerotérmica
VAN (0%)	\$ 4.087.021	\$ 2.224.923
Amortización [años]	1,9	5,9
VAN (6%)	\$ 2.727.794	\$ 870.505
Amortización [años]	2,1	7,3
TIR	53%	12%

➤ Casa B:

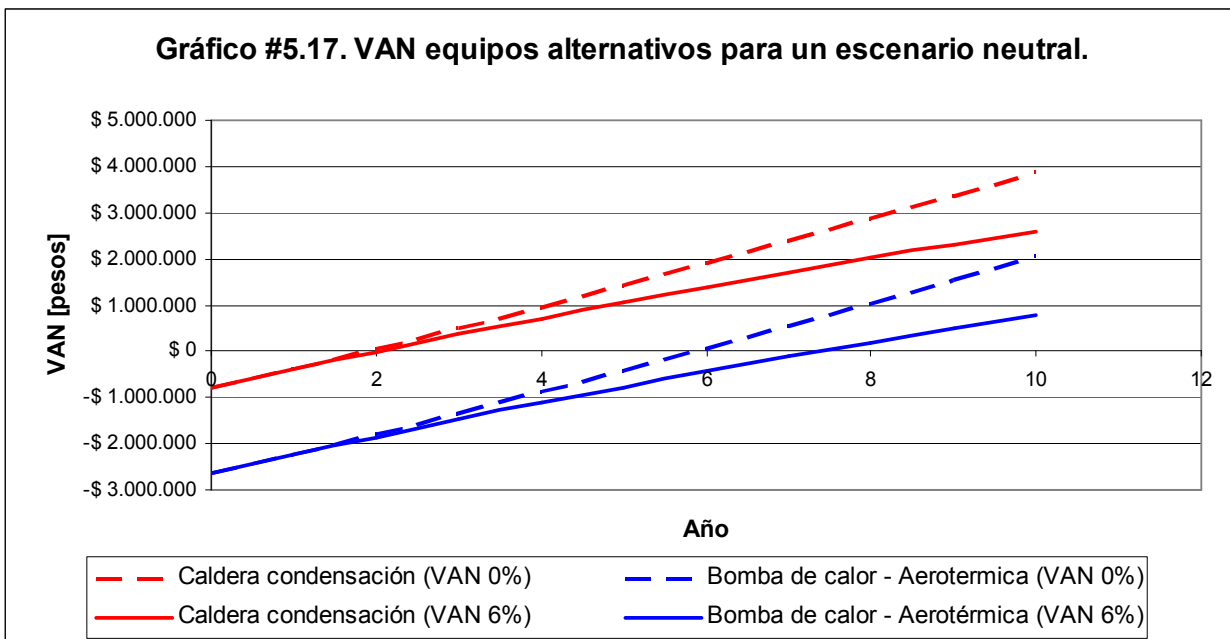


Tabla #5.20. Resultados escenario neutral

	Caldera de condensación	Bomba de calor aerotérmica
VAN (0%)	\$ 3.875.731	\$ 2.046.034
Amortización [años]	1,9	5,9
VAN (6%)	\$ 2.606.854	\$ 773.070
Amortización [años]	2,04	7,4
TIR	54%	12%

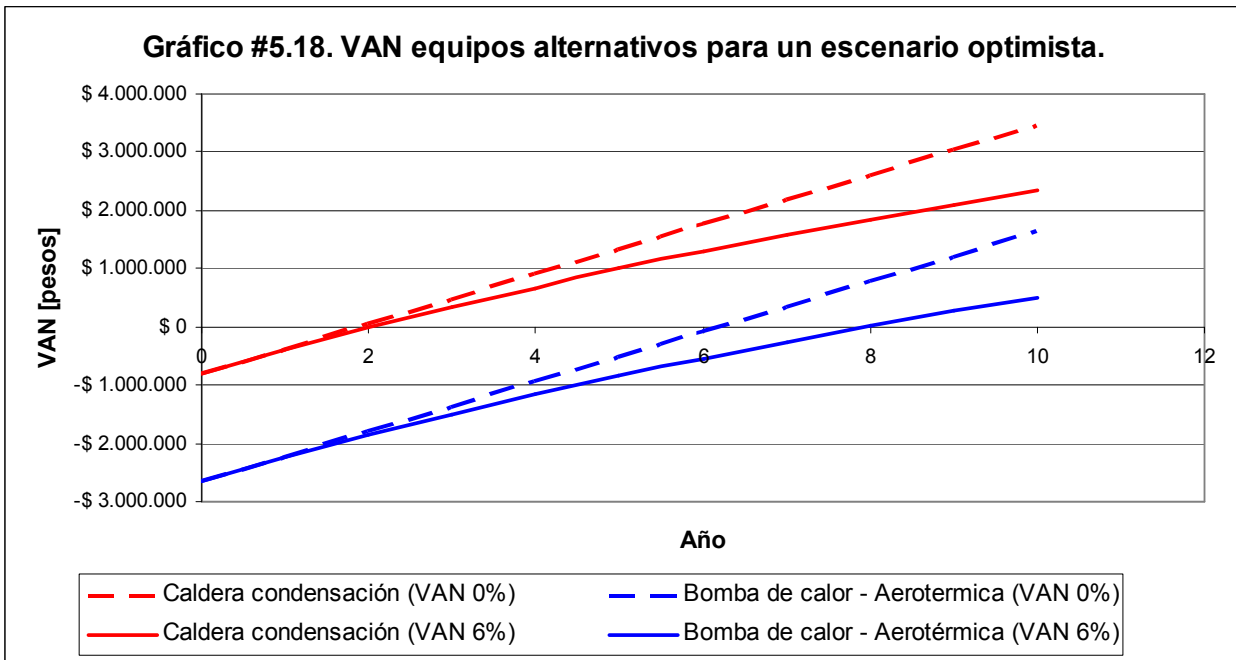


Tabla #5.21. Resultados escenario optimista

	Caldera de condensación	Bomba de calor aerotermica
VAN (0%)	\$ 3.469.533	\$ 1.638.527
Amortización [años]	1,9	6,2
VAN (6%)	\$ 2.340.433	\$ 505.791
Amortización [años]	2,1	8,0
TIR	52%	10%

Gráfico #5.19. VAN equipos alternativos para un escenario pesimista.

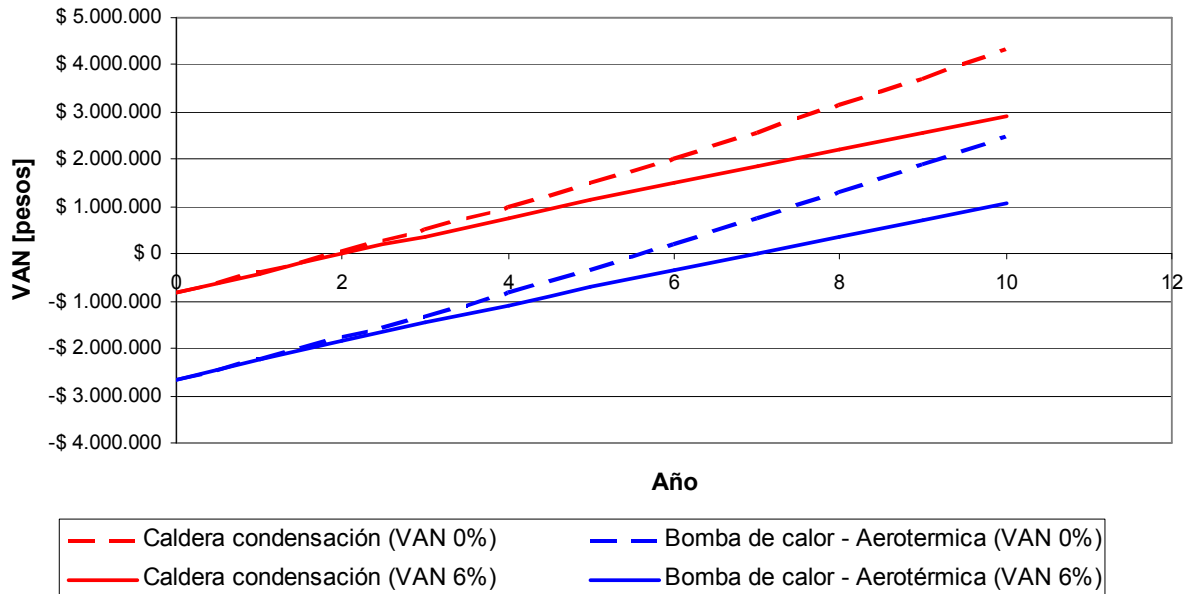


Tabla #5.22. Resultados escenario pesimista

	Caldera de condensación	Bomba de calor aerotérmica
VAN (0%)	\$ 4.327.551	\$ 2.499.309
Amortización [años]	1,9	5,6
VAN (6%)	\$ 2.901.528	\$ 1.068.694
Amortización [años]	2,0	6,9
TIR	56%	13%

➤ Casa C:

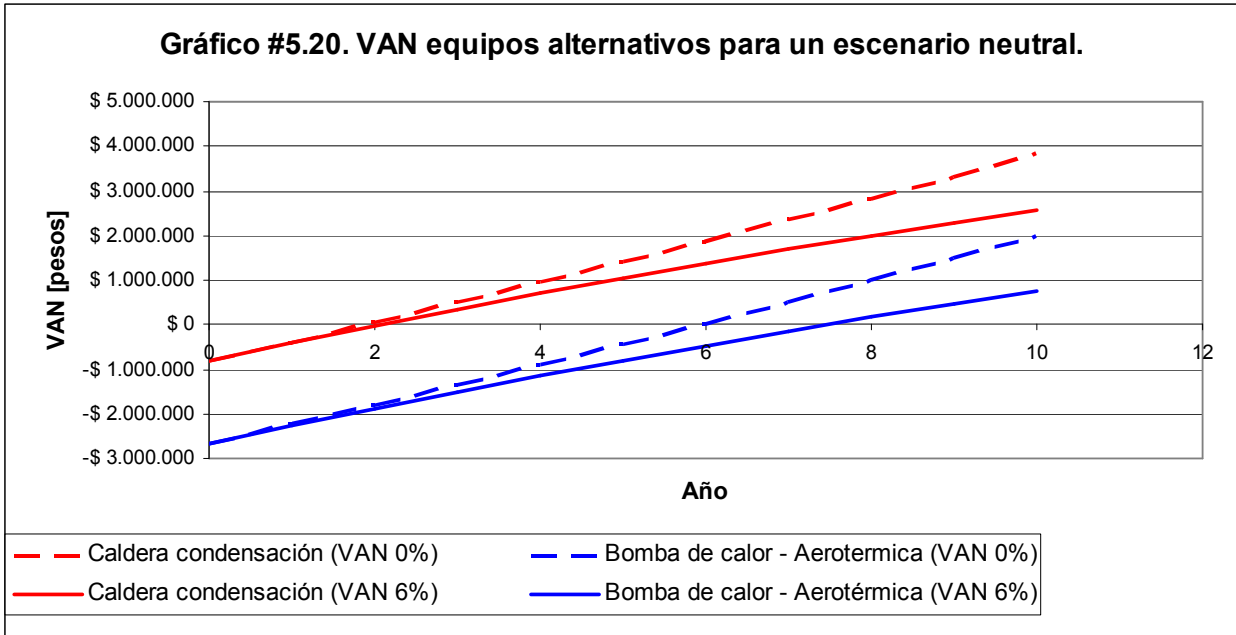


Tabla #5.23. Resultados escenario neutral

	Caldera de condensación	Bomba de calor aerotérmica
VAN (0%)	\$ 3.836.690	\$ 1.997.224
Amortización [años]	1,9	5,9
VAN (6%)	\$ 2.578.390	\$ 737.485
Amortización [años]	2,1	5,9
TIR	54%	8%

Gráfico #5.21. VAN equipos alternativos para un escenario optimista.

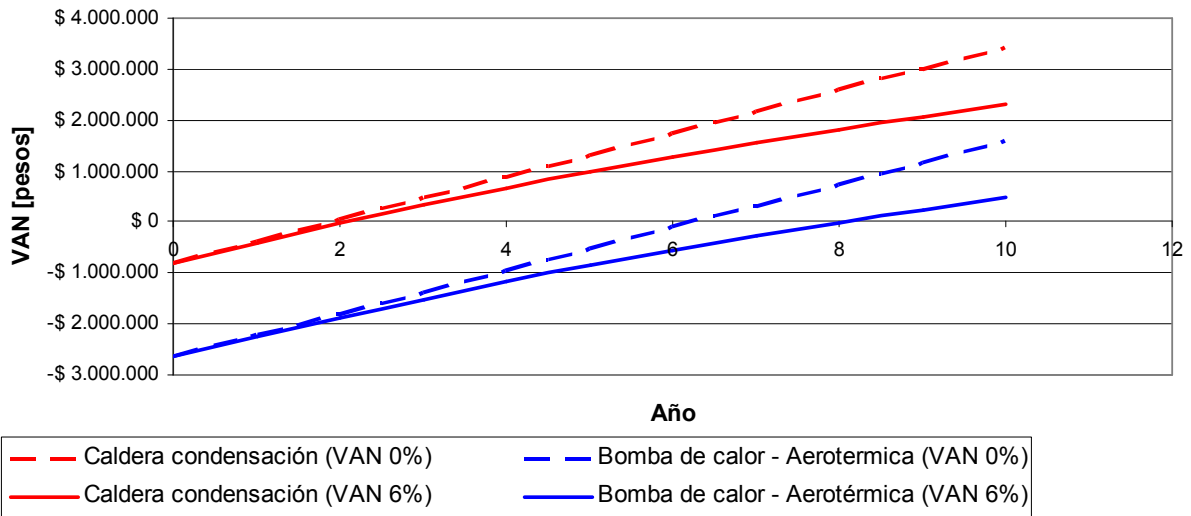


Tabla #5.24. Resultados escenario optimista

	Caldera de condensación	Bomba de calor aerotérmica
VAN (0%)	\$ 3.433.878	\$ 1.593.951
Amortización [años]	1,9	6,2
VAN (6%)	\$ 2.314.191	\$ 472.983
Amortización [años]	2,1	8,1
TIR	52%	6%

Gráfico #5.22. VAN equipos alternativos para un escenario pesimista.

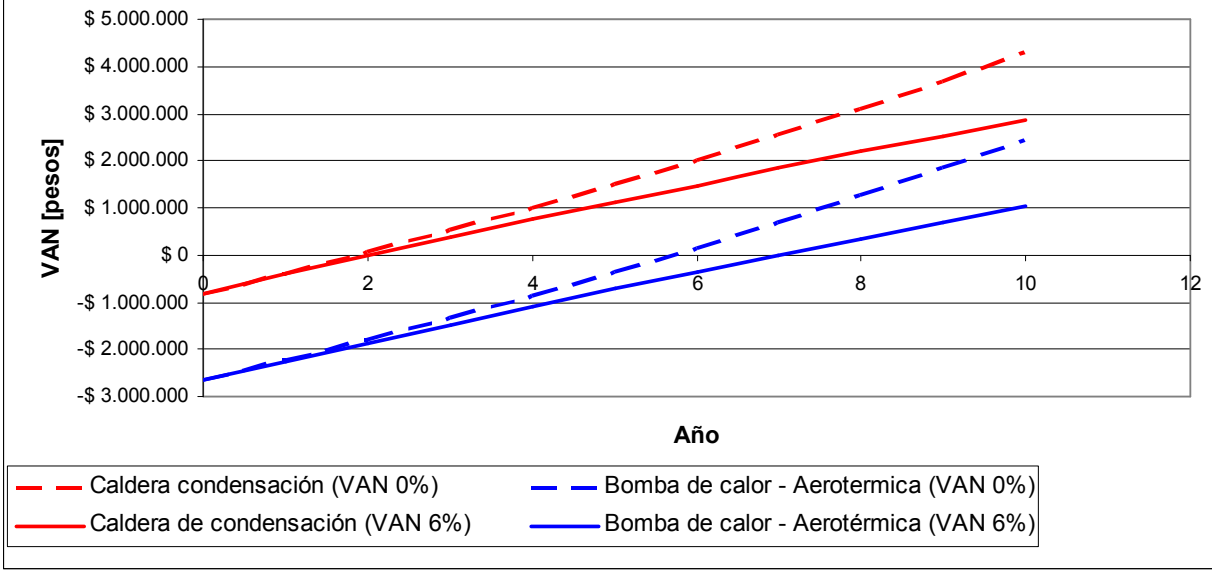


Tabla #5.25. Resultados escenario pesimista

	Caldera de condensación	Bomba de calor aerotérmica
VAN (0%)	\$ 4.284.743	\$ 2.445.790
Amortización [años]	1,9	5,7
VAN (6%)	\$ 2.870.608	\$ 1.030.037
Amortización [años]	2,0	7,0
TIR	56%	10%

5.2.2 Análisis de los resultados.

De los gráficos se puede apreciar lo siguiente:

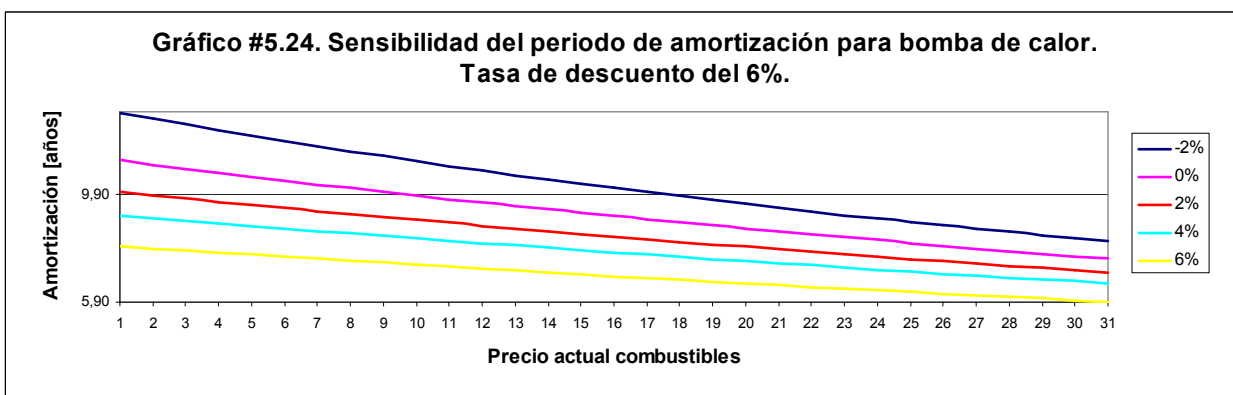
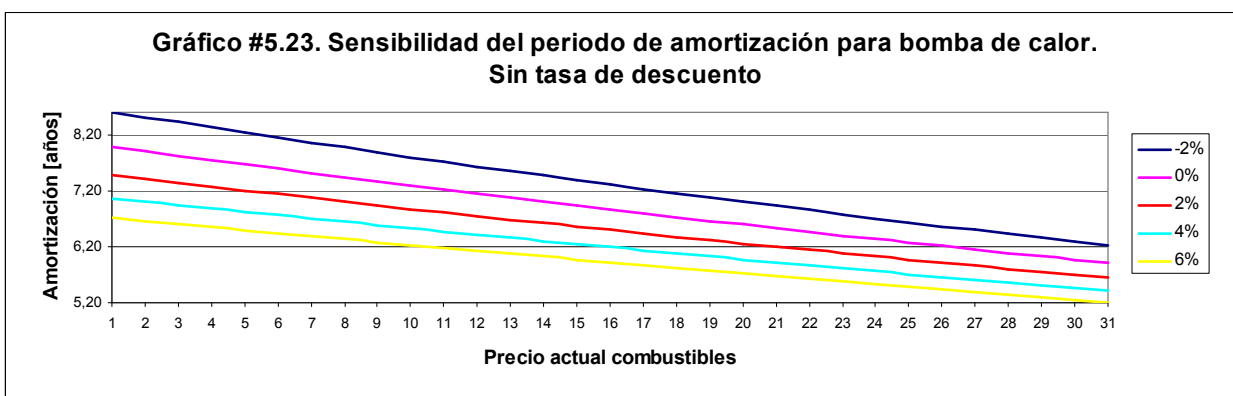
- La tasa de crecimiento del VAN para ambos equipos son bastante similares. Si bien las bombas de calor producen una mayor disminución en el consumo energético, el precio de la electricidad es más elevado que el del GLP por lo que el consumo monetario anual termina siendo similar entre una y otra.
- Para este horizonte de evaluación se puede notar claramente que el VAN final es superior para la caldera de condensación y la razón principal es el menor costo del combustible. En este caso se puede ver claramente que la eficiencia del equipo no logra contrarrestar el alto precio del combustible. En consecuencia, desde el punto de vista netamente económico es más rentable invertir en calderas de condensación.
- La TIR para la caldera de condensación es del orden del 50% para todos los casos, lo cual es muy superior a la tasa de interés de créditos (caso que la inversión sea financiada con préstamos) y a la tasa de retorno de inversiones alternativas (caso que la inversión sea financiada con capital propio), en consecuencia es conveniente realizar inversiones en esta proposición. Por otra parte, para la bomba de calor se tiene una TIR superior al 6% (tasa de rentabilidad inversión alternativa y de crédito hipotecario) pero inferior al 20% (tasa crédito consumo), en consecuencia, solo resulta rentable invertir en casos de que el capital sea propio o que la inversión adicional quede incluida dentro del crédito hipotecario de la vivienda.
- Analizando los diferentes escenarios económicos se puede notar que al aumentar el precio del combustible (escenario pesimista) usado para calefaccionar se logran flujos mas altos y en consecuencia se consigue un VAN mayor y períodos de amortización más breves.

5.2.3 Sensibilidad al precio del combustible.

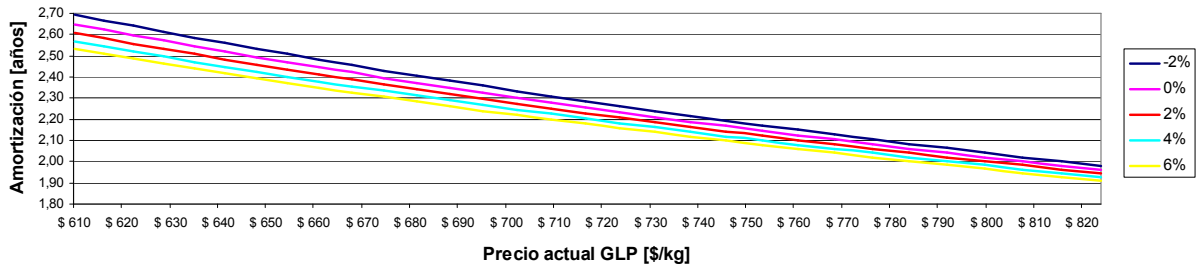
A continuación se muestran gráficos que permiten determinar el periodo de amortización de las soluciones para el precio de combustible actual y bajo 5 supuestos de variaciones en el precio del combustible. En esta sección solo se muestran los gráficos para la casa A, los demás gráficos están en el anexo E.4.

Para usarlos es necesario conocer el precio actual del combustible y entrar al gráfico en el eje X, con este dato se puede obtener el periodo de recuperación de la inversión para 5 posibles escenarios de precios.

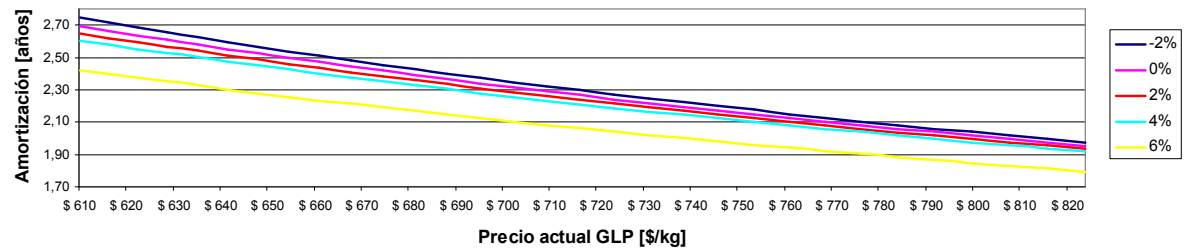
Para el caso de equipos eléctricos, como la bomba de calor, los combustibles que influyen son dos (GLP de la caldera del caso base y electricidad de la bomba de calor), es por esto que el precio actual no es único valor sino una combinación de precios. Esta combinación de precios se encuentra en el anexo E.3.



**Gráfico #5.25. Sensibilidad del periodo de amortización para caldera de condensación.
Sin tasa de descuento.**



**Gráfico #5.26. Sensibilidad del periodo de amortización para caldera de condensación.
Tasa descuento del 6%.**



5.3 Tecnología de calentamiento de agua sanitaria.

Se evaluó primero una instalación de paneles solares térmicos durante toda su vida útil (20 años) con diferentes áreas de panel para saber así cual es el área óptima de la instalación solar térmica. Y luego se realizó la comparación con el otro método de A.C.S propuesto.

Consideraciones:

- El dimensionamiento de la instalación de paneles solares depende, entre otras cosas, del precio del combustible del equipo de comparación y consecuencia para cada escenario de precios de combustible se tendrán distintas áreas de paneles. Sin embargo, no es correcto dimensionar de esta forma ya que al no tener certeza del escenario futuro se puede escoger un área de paneles errónea. Es por esto que la instalación solar será dimensionada para el escenario neutral y una vez obtenida el área de paneles se analizarán los demás escenarios en función de esa área obtenida.
- El horizonte de evaluación de las proposiciones a comparar es de 10 años.
- No se considerará depreciaciones ni valor residual de las proposiciones. Simplemente se cuantificará el VAN final de los flujos, producto del ahorro energético respecto del caso base (calefón), y el período de recuperación de la inversión.
- Para los equipos a gas el precio del combustible a utilizar es el GLP, ya que este tiene un valor estándar y no depende del tipo de contrato que se tenga con la distribuidora (Metro gas en el caso de GNL).
- Para los equipos eléctricos el precio del combustible a utilizar corresponde a la tarifa actual fijada por la empresa distribuidora a nivel residencial (Chilectra), considerando la tarifa de suministro BT-1. Esto ya que se desconocen las demandas adicionales de las viviendas y en consecuencia, si se elige otra tarifa de suministro más conveniente (BT-4.3 por ejemplo), no se podría estimar el costo final de cada uno de los meses.

Tabla #5.26. Características combustible A.C.S.		
	Calefón Trotter	Bomba de calor 2,6 kw
Combustible	GLP	Electricidad BT-1.
PCI [kcal/m3]	8500	Electricidad
PCI [kwh/kg]	13,31	-
Rendimiento	65%	320%
PCI con pérdidas [kwh/kg]	8,65	
Costo [\$/kg] - [\$/kWh]	\$ 746	BT -1
Costo energético unitario [\$/kwh]	\$86	BT -1

Tabla #5.27. Tarificación eléctrica BT-1		
Energía base	\$ 114,59	[\$/kWh]
Energía invierno	\$ 151,92	[\$/kWh]
Cargo fijo	\$ 628,26	[\$/mes]

- La inversión corresponde al capital adicional necesario para adquirir el equipo alternativo, el cual tiene un costo de adquisición mayor (Diferencia entre costo del calefón y el costo del equipo alternativo).

Tabla #5.28. Inversión Instalación solar Transsen	
Área colectores (m2)	Inversión Sist. Solar
0,0	\$ 0
2,00	\$ 1.588.389
4,00	\$ 2.011.553
6,00	\$ 2.434.717
8,00	\$ 2.832.805
10,00	\$ 3.248.086
12,00	\$ 3.671.250
14,00	\$ 4.094.414
16,00	\$ 4.517.578

Tabla #5.29. Calefón Trotter	
2 x 13 lts	\$ 300.000

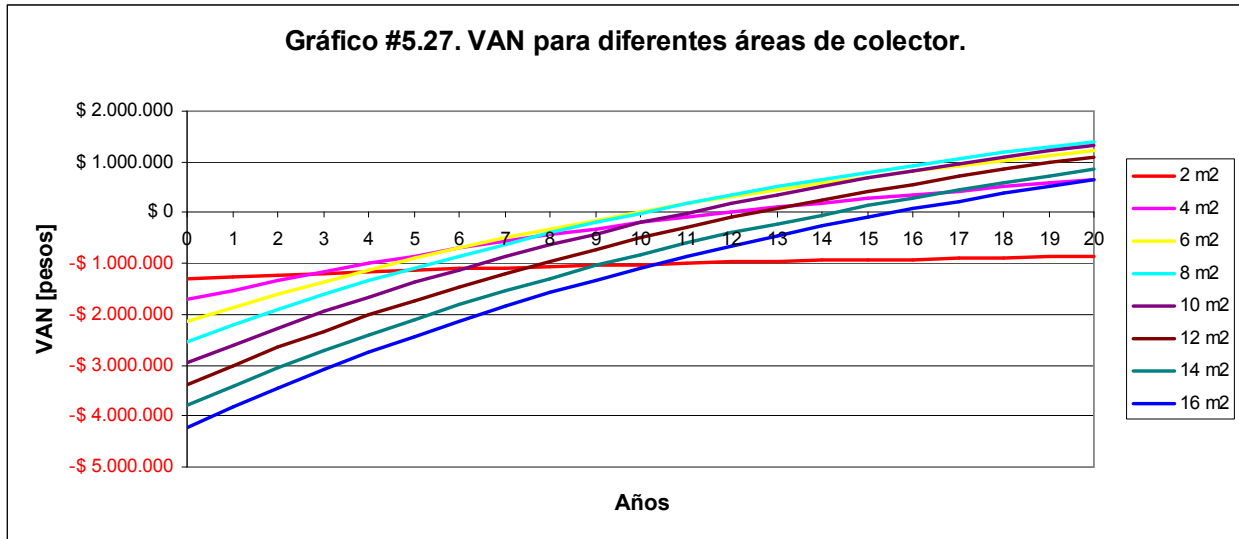
Tabla #5.30. Inversión bomba de calor	
2,6 kW	\$ 1.237.782

- Los flujos futuros (anuales) corresponden al capital ahorrado producto de la disminución en los costos operacionales del sistema de A.C.S.

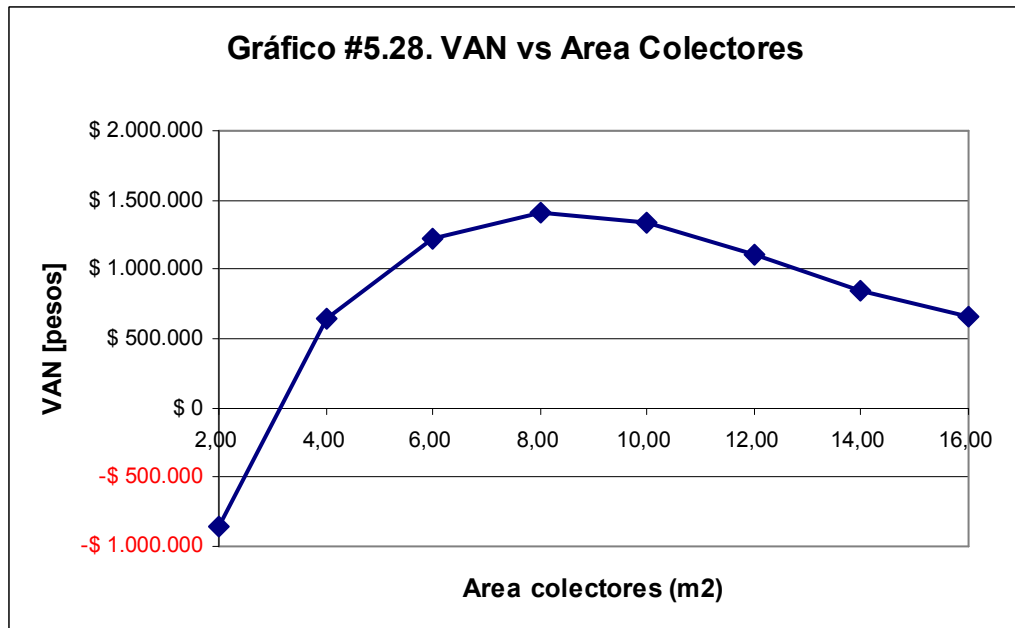
5.3.1 Resultados

➤ Casa A y C

- Instalación solar:



En el gráfico se puede apreciar que para todas las superficies de paneles se logra un VAN positivo, esto es considerando una tasa de descuento del 6% anual. Sin embargo, para unas áreas se tienen valores de VAN más elevados como se ve en el gráfico siguiente:



De este último se puede concluir que el área óptima de paneles es de 8 m² para la cual se obtiene un VAN de \$ 1.403.221 pesos con un periodo de amortización de la inversión de 11 años aproximadamente.

- Instalación solar v/s Boma de calor.

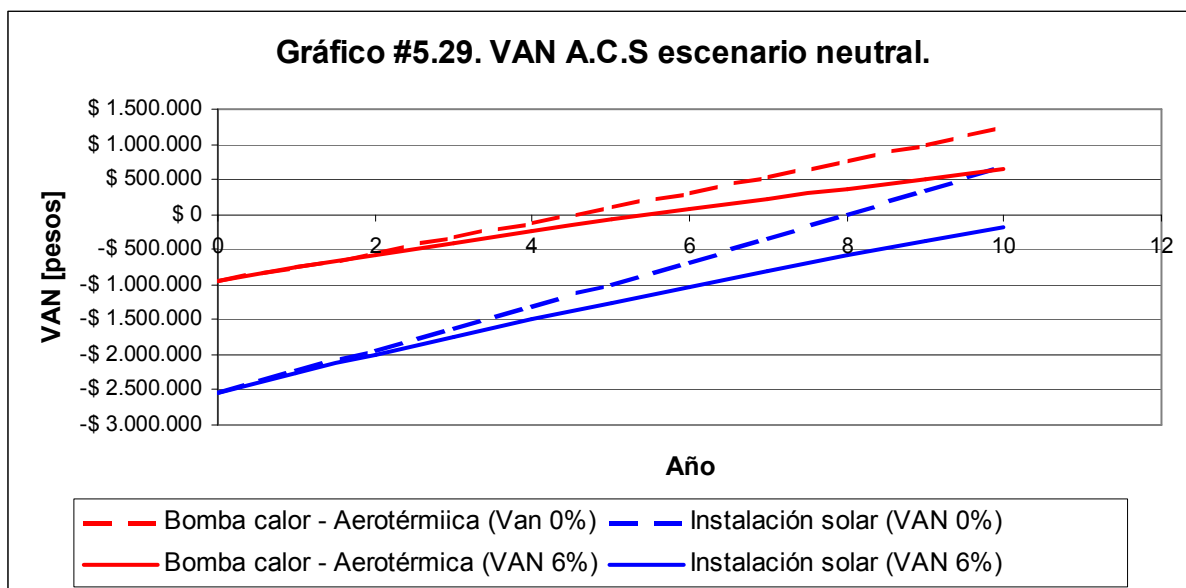


Tabla #5.31. Resultados escenario neutral

	Bomba de calor - Aerotérmica	Instalación solar
VAN (0%)	\$ 1.229.448	\$ 679.450
Amortización [años]	4,6	8,0
VAN (6%)	\$ 642.258	-\$ 190.881
Amortización [años]	5,5	11,0
TIR	18,3%	4,4%

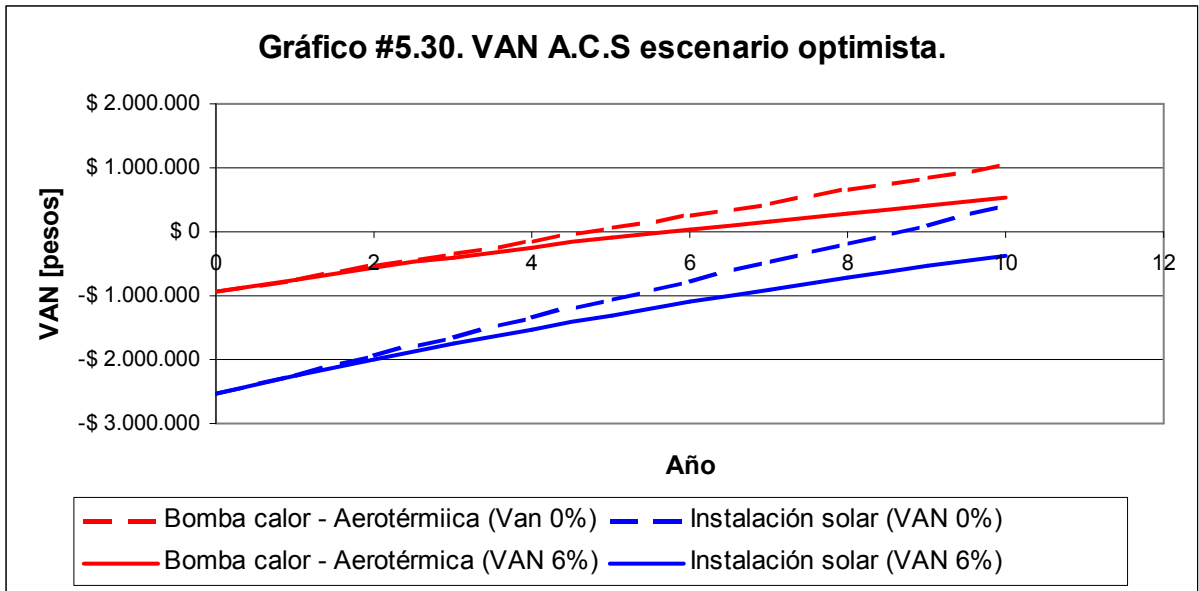


Tabla #5.32. Resultados escenario optimista

	Bomba de calor - Aerotérmica	Instalación solar
VAN (0%)	\$ 1.041.474	\$ 400.836
Amortización [años]	4,7	8,6
VAN (6%)	\$ 518.968	-\$ 373.620
Amortización [años]	5,7	12,5
TIR	16,5%	2,8%

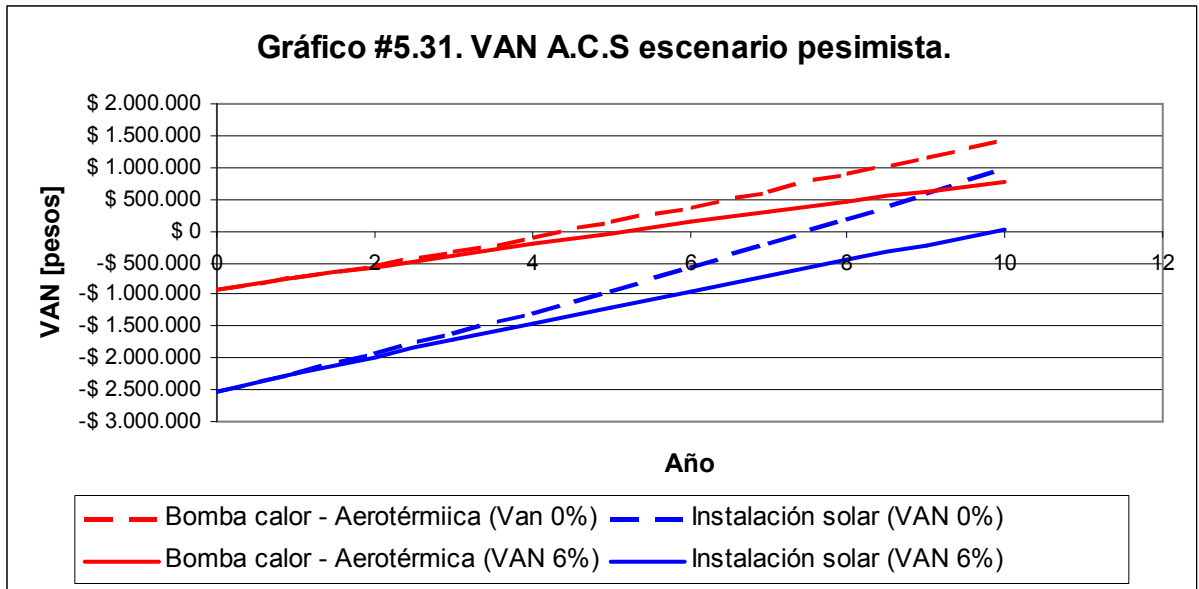
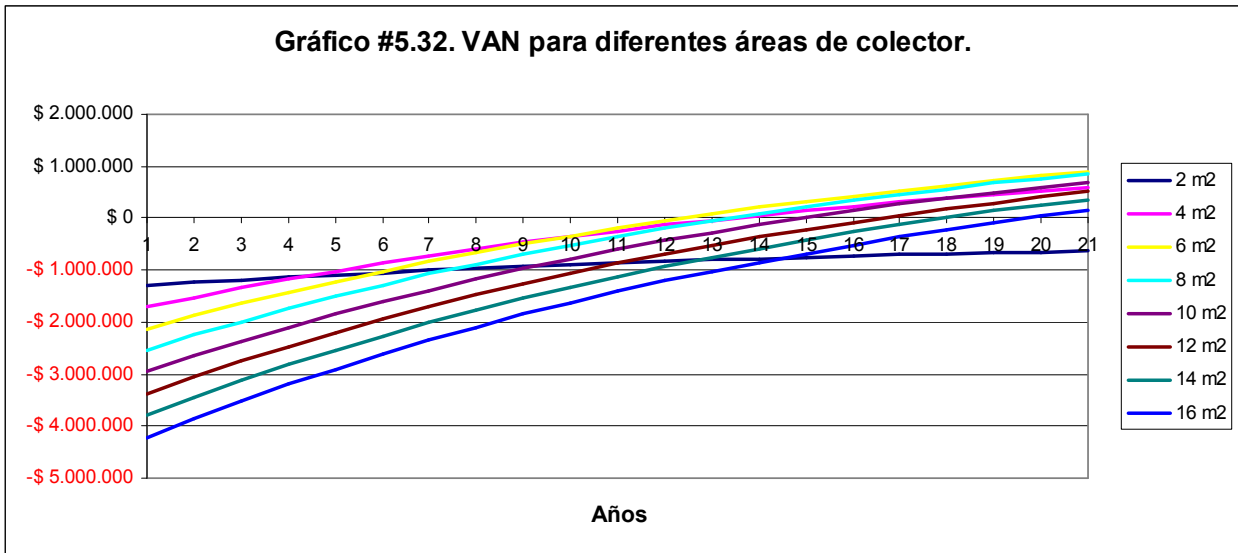


Tabla #5.33. Resultados escenario pesimista

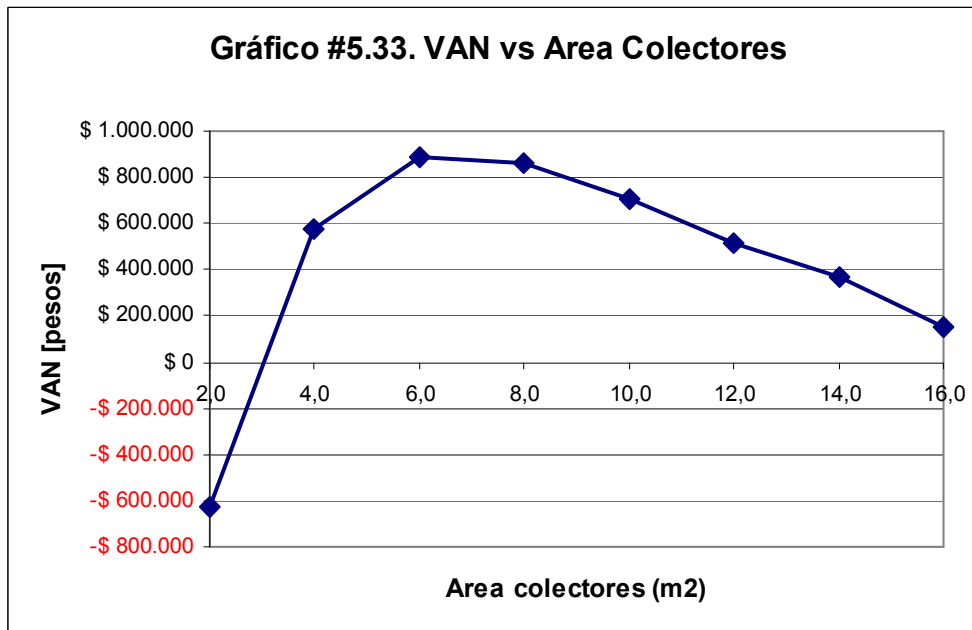
	Bomba de calor - Aerotérmica	Instalación solar
VAN (0%)	\$ 1.438.534	\$ 989.355
Amortización [años]	4,4	7,6
VAN (6%)	\$ 778.622	\$ 11.238
Amortización [años]	5,2	10,0
TIR	20,1%	6,1%

➤ Casa B

- Instalación solar:



En el gráfico se puede apreciar que para todas las superficies de paneles se logra un VAN positivo, esto es considerando una tasa de descuento del 6% anual. Sin embargo, para unas áreas se tienen valores de VAN más elevados como se ve en el gráfico siguiente:



De este último se puede concluir que el área óptima de paneles es de 6 m² para la cual se obtiene un VAN de \$890.628 pesos con un periodo de amortización de la inversión de 12 años aproximadamente.

- Instalación solar v/s Boma de calor.

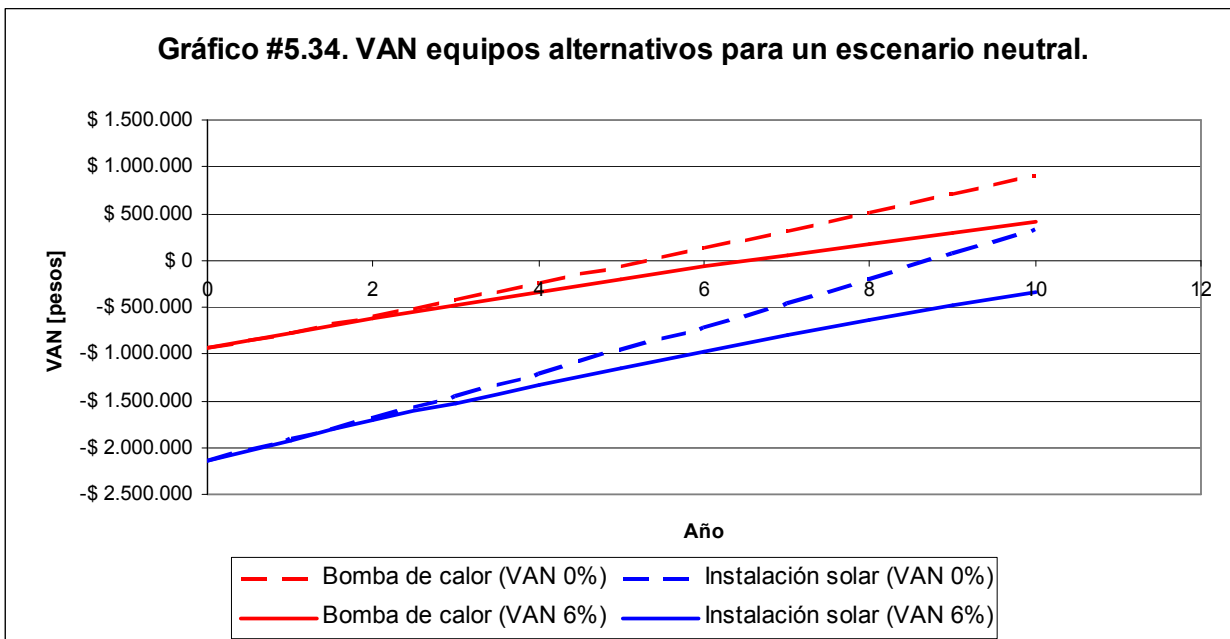


Tabla #5.34. Resultados escenario neutral

	Bomba de calor - Aerotérmica	Instalación solar
VAN (0%)	\$ 908.051	\$ 334.316
Amortización [años]	5,3	8,8
VAN (6%)	\$ 407.940	-\$ 334.645
Amortización [años]	6,5	12,4
TIR	14,1%	2,7%

Gráfico #5.35. VAN equipos alternativos para un escenario optimista.

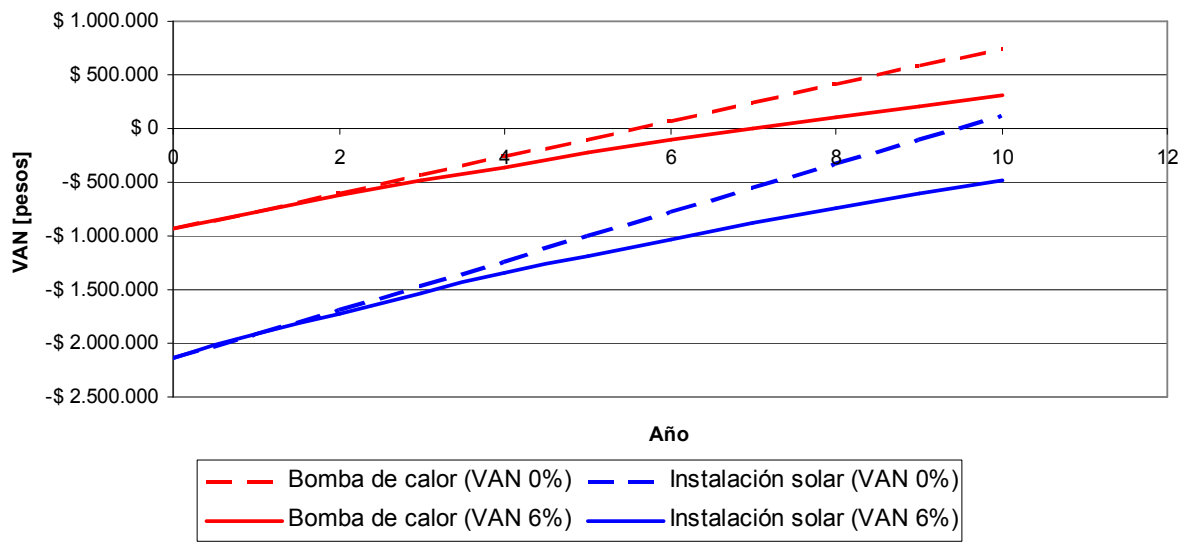


Tabla #5.35. Resultados escenario optimista

	Bomba de calor - Aerotérmica	Instalación solar
VAN (0%)	\$ 747.953	\$ 120.165
Amortización [años]	5,6	9,5
VAN (6%)	\$ 302.934	-\$ 475.104
Amortización [años]	6,2	14,4
TIR	12,4%	1,0%

Gráfico #5.36. VAN equipos alternativos para un escenario pesimista.

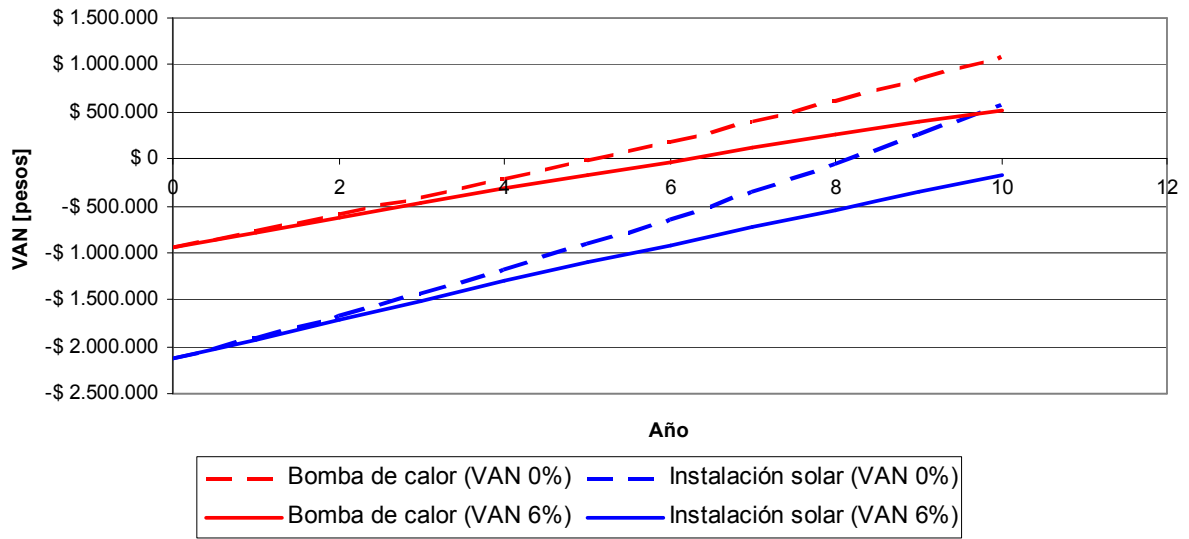


Tabla #5.36. Resultados escenario pesimista

	Bomba de calor - Aerotérmica	Instalación solar
VAN (0%)	\$ 1.086.130	\$ 572.519
Amortización [años]	5,1	8,2
VAN (6%)	\$ 524.082	-\$ 179.291
Amortización [años]	6,2	11,0
TIR	15,9%	4,3%

5.3.2 Análisis de los resultados.

De los gráficos se puede apreciar lo siguiente:

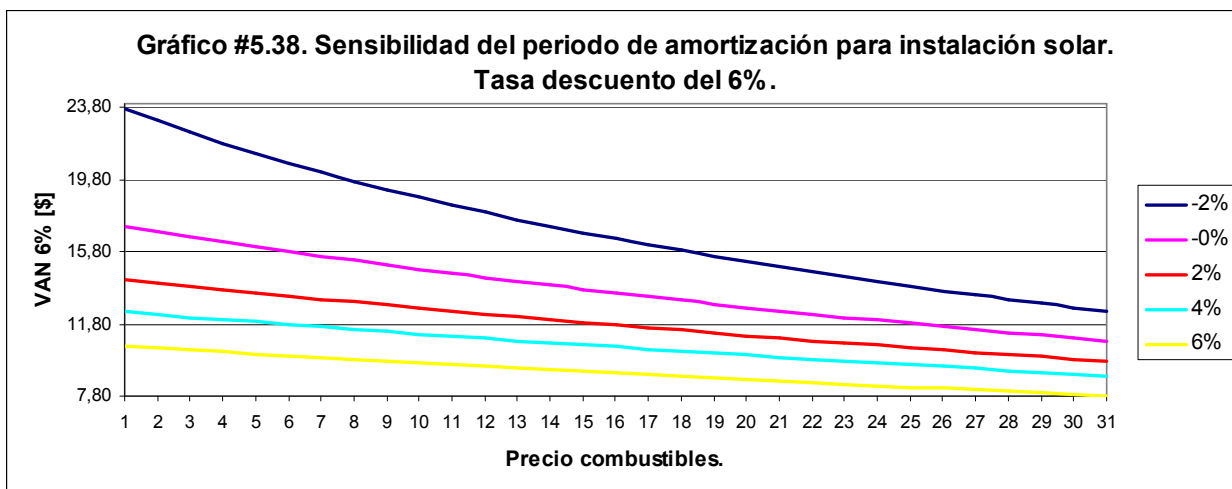
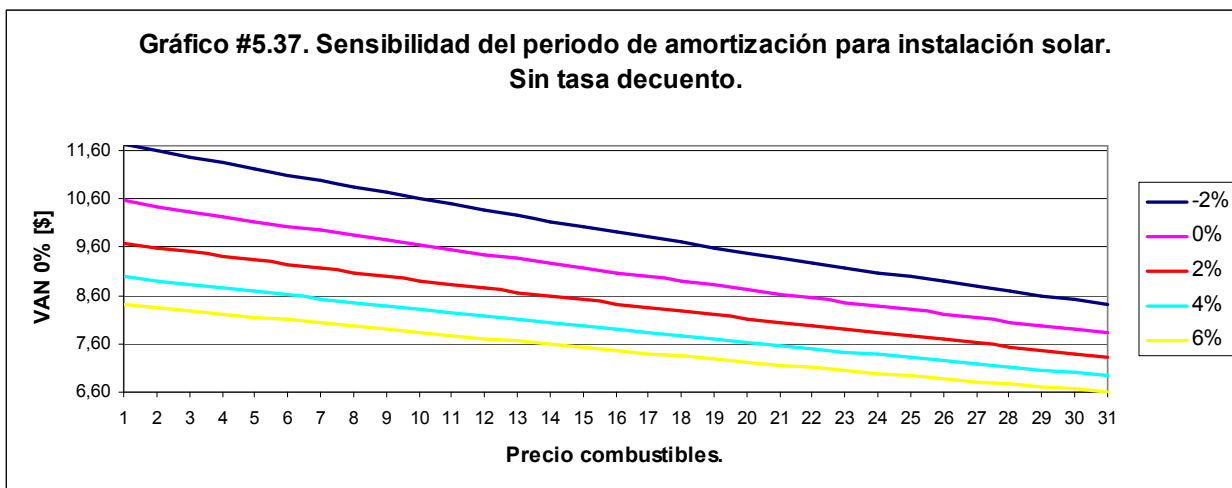
- La tasa de crecimiento del VAN para la instalación solar es mas elevada que la de las bombas de calor. Esto se debe a los mayores flujos (ahorro) anuales que genera este tipo de instalaciones. Sin embargo, estas no logran alcanzar el VAN de una bomba de calor debido a la mayor inversión de una instalación solar.
- Para este horizonte de evaluación se puede notar claramente que el VAN final es superior para la bomba de calor y la razón principal es la menor inversión que se necesita.
- La TIR para la bomba de calor varía entre un 12% y un 20%, lo cual es inferior a la tasa de interés de créditos de consumo pero superior a la tasa de retorno de inversiones alternativas y a la tasa de interés de créditos hipotecarios, en la mayoría de los casos. En consecuencia, solo resulta conveniente invertir en bombas de calor cuando el capital sea propio o cuando la inversión adicional forme parte del crédito hipotecario de la vivienda. Por otra parte, para la instalación solar se tiene una TIR inferior al 6% en la mayoría de los casos, en consecuencia, siempre será inferior a las tasas antes mencionadas y por lo tanto no resulta conveniente realizar inversiones en esta solución.
- El aumento en los precios del combustible tienen un efecto positivo, tanto en las instalaciones solares como en las bombas de calor, ya que por medio de ambas opciones se reducen los gastos operacionales y en consecuencia ante aumentos de precios del combustible el ahorro mensual es mayor puesto que el caso base (calefón) sigue consumiendo lo mismo y más caro. No obstante, la más conveniente ante aumento de precios del combustible es la instalación solar, ya que un porcentaje importante de la energía se obtiene de una fuente inagotable y gratuita, con lo que se logra un cierto grado de independencia energética.

5.3.3 Sensibilidad al precio del combustible.

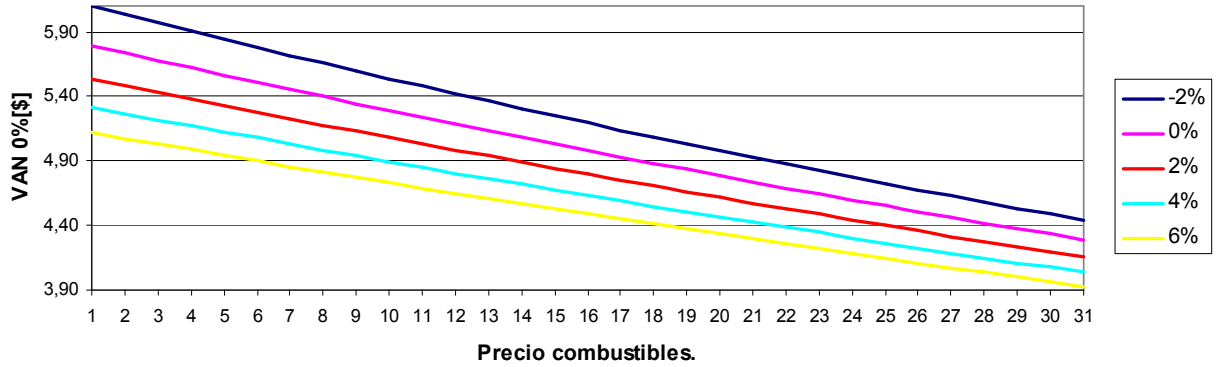
A continuación se muestran gráficos que permiten determinar el periodo de amortización de las soluciones para el precio de combustible actual y bajo 6 supuestos de variaciones en el precio del combustible. En esta sección solo se muestran los gráficos para la casa A y C, los demás gráficos están en el anexo E.4.

Para usarlos es necesario conocer el precio actual del combustible y entrar al gráfico en el eje X, con este dato se puede obtener el periodo de recuperación de la inversión para los 4 posibles escenarios de precios.

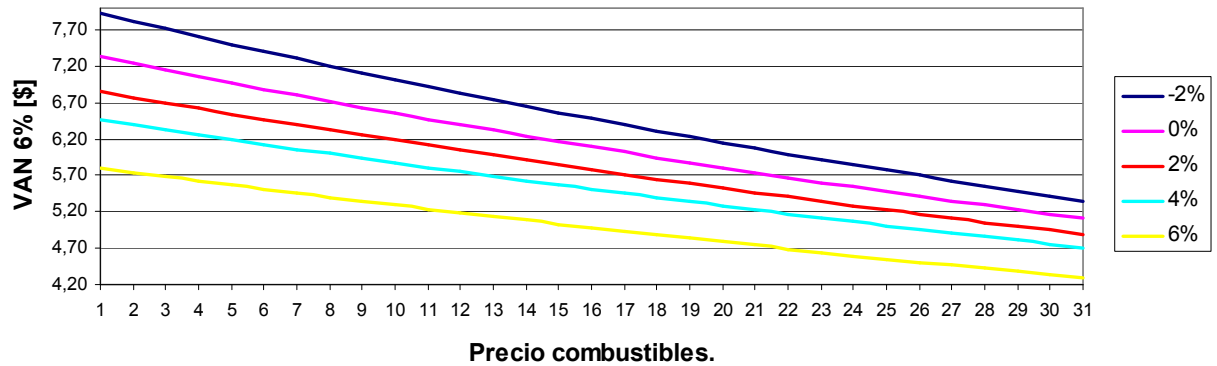
Para el caso de equipos eléctricos, como la bomba de calor, los combustibles que influyen son dos (GLP de la caldera del caso base y electricidad de la bomba de calor), es por esto que el precio actual no es único valor sino una combinación de precios. Esta combinación de precios se encuentra en el anexo E.3. La combinación 21 corresponde a los precios actuales.



**Gráfico #5.39. Sensibilidad del periodo de amortización para bomba de calor.
Sin tasa descuento.**



**Gráfico #5.40. Sensibilidad del periodo de amortización para bomba de calor.
Tasa de descuento del 6%.**



CAPITULO 6 CONCLUSIONES.

DISCUSIONES, RECOMENDACIONES Y

6.1 Discusiones

➤ Tecnología de Aislación de la envolvente

Luego de haber realizado el análisis térmico para las viviendas estudiadas se encontró que es posible realizar las siguientes mejoras en la envolvente de estas.

- Como se dijo en capítulos anteriores, el método de aislación actual presenta una gran cantidad de puentes térmicos debido a la presencia de pilares, cadenas y vigas en los elementos de hormigón. Si bien a primera vista parecen ser despreciables, luego de calcular el área total de puentes térmicos se obtuvo que estos representan el 40% en el área total de muros perimetrales. Si consideramos además la escasa capacidad resistiva al flujo del calor de los elementos de hormigón sin aislación tenemos que cerca del 80% de las pérdidas térmicas por transmisión en estos ocurre por los puentes térmicos.
- La mayoría de las ventanas de las viviendas son de doble vidrio, sin embargo, estas son con marco de aluminio lo que facilita considerablemente el paso de calor por medio de estos elementos.

Las medidas adoptadas para solucionar estas deficiencias fueron dos proposiciones de aislación, las cuales tienen características similares en cuanto a la reducción de pérdidas por transmisión en las viviendas. Sin embargo, la diferencia de precios entre una y otra fue el factor determinante al momento de realizar su evaluación económica, donde se obtuvo que la solución de aislación interior (solución N° 2) es mas conveniente debido a los menores periodos de amortización y el mayor VAN final que se tiene para las viviendas. Es importante señalar que las dos soluciones estudiadas podrían tener periodos de amortización menores si no se hubieran contemplado cambios en los marcos de las ventanas, ya que estos son muy costosos y los beneficios (ahorros en calefacción) no logran contrarrestar su costo.

➤ Tecnología de Calefacción

Luego de haber estudiado otros métodos de calefacción alternativos se tienen las siguientes observaciones:

- El uso de colectores termo solares para líquido en calefacción es prácticamente inviable debido a la poca cobertura anual que alcanzan estas instalaciones, incluso con superficies de paneles bastante altas.
- Los colectores solares térmicos para aire pueden ser aprovechados con resultados mucho más favorables ya que son considerablemente más económicos, sin embargo no existen empresas que se dediquen a su fabricación y comercialización por lo que no son muy utilizados.
- El uso de la geotermia superficial no se justifica en climas como el de Santiago, donde no se tienen las temperaturas extremas de otros países Europeos donde este método es utilizado ampliamente. Si bien en las capas de tierra superficiales se tienen temperaturas constantes que favorecen el funcionamiento de las bombas de calor, la temperatura ambiente en Santiago puede ser aprovechada igualmente ahorrándose así los elevados costos de inversión de estos equipos.

De las dos tecnologías propuestas se tiene que es más conveniente el uso de calderas de condensación, ya que estas logran un VAN considerablemente mayor a lo largo del periodo de evaluación. Además estas tienen menores periodos de amortización y mayores tasas de retorno lo que las hace aun más convenientes.

➤ Tecnología de calentamiento de agua sanitaria.

Luego de haber estudiado otros métodos de calentamiento de agua sanitaria alternativos se tienen las siguientes observaciones:

- El uso de colectores termo solares para líquido en A.C.S es altamente viable ya que se logran coberturas anuales bastante altas para áreas de colector relativamente pequeñas, en comparación con este mismo método para calefacción.
- Las bombas de calor nuevamente tienen resultados favorables producto de su alto grado de eficiencia.

De los dos métodos propuestos se tiene que es más conveniente el uso de bombas de calor, ya que estas logran un VAN considerablemente mayor a lo largo del periodo de evaluación. Además estas tienen menores periodos de amortización y mayores tasas de retorno lo que las hace aun más convenientes.

6.2 Recomendaciones

➤ Tecnología de Aislación.

En este tipo de viviendas el punto débil en aislación son las ventanas, por las cuales se pierde alrededor del 40% de calor generado para calefaccionar. Como se verificó en el presente trabajo, si bien los marcos de ventanas juegan un rol importante en cuanto a la aislación de las mismas, es importante verificar que la mayor inversión se amortice en períodos razonables.

Por otra parte, hay que tener especial cuidado cuando se quieran implementar ventanas termo panel, verificando que estas puedan abrirse para generar una buena ventilación en épocas en que la radiación solar es muy elevada, especialmente en ventanas con orientación poniente.

Siguiendo en la línea de las ventanas, ya que es el elemento más débil térmicamente dentro de una vivienda, es recomendable utilizar otros métodos para protegerlas como el uso de cortinas en horas en que ya no hay luz natural ya que estas ayudan a mantener el calor dentro de la vivienda. Por otra parte, se recomienda disminuir lo mas posible el uso de ventanas que se puedan abrir, esto ya que los rieles(caso de ventanas correderas) no quedan completamente sellados y en consecuencia se producen infiltraciones que puede representar alrededor del 27% de las perdidas totales de la vivienda, tal como se vio en el capítulo 4.

Respecto de las soluciones estudiadas, considerando el nivel socioeconómico al que está dirigido el estudio, se recomienda invertir en la solución de aislación exterior, ya que esta no invade los recintos internos de la vivienda y durante el verano impide el sobrecalentamiento de los muros, manteniendo una temperatura agradable dentro de esta.

➤ Tecnología de Calefacción.

Este ítem es el que tiene asociado el mayor consumo durante el año, y las formas de disminuirlo no tienen que ser soluciones para combatir el problema sino soluciones para prevenirlo. En este sentido, la arquitectura y planificación de los recintos para aprovechar al máximo las condiciones ambientales puede ser de gran ayuda. Para esto es necesario contar con el asesoramiento de un profesional capacitado que permita, por ejemplo, aprovechar al máximo la energía solar sin que esta llegue a ser un problema durante el verano.

Respecto de las soluciones estudiadas se recomienda el uso de calderas de condensación, ya que estas tienen un mayor grado de eficiencia respecto de las calderas tradicionales y producen mayores ahorros que las bombas de calor. Sin embargo, se debe tener especial cuidado ya que estas son relativamente nuevas en nuestro país por lo que el diseño e instalación deben quedar en manos de un especialista.

Si por algún motivo se decidiera optar por una bomba de calor, se debe tener especial cuidado al momento de escoger el lugar donde se ubicará el equipo ya que este necesita de ciertas temperaturas y condiciones de ventilación para operar adecuadamente. Por esto, la instalación de estas debe quedar en manos de un profesional capacitado para estos efectos.

Finalmente, independiente del equipo escogido, se recomienda controlar periódicamente el funcionamiento del equipo y seguir todas las recomendaciones del fabricante respecto de las mantenciones que sea necesario realizarle.

➤ Tecnología de calentamiento de agua sanitaria.

La gran deficiencia en este ítem radica en los bajísimos rendimientos que se alcanzan con los equipos estándares de generación de agua caliente sanitaria. Sin embargo, este no es solo un problema del equipo, sino que también del mal uso que se les da durante su operación. Para aumentar su rendimiento se recomienda regularlos periódicamente a modo de obtener la temperatura deseada sin necesidad de agregar agua fría para adecuar la temperatura. Con esto, no solo se aumenta el rendimiento del equipo, sino que además se prolonga la vida útil del mismo.

Otro punto en el que se pueden realizar mejoras son los dosificadores de las duchas. Hoy en día existen diversos tipos de estos, los que permiten reducir en porcentajes importantes el consumo de agua y en consecuencia la demanda energética para su calentamiento.

Si se utilizan paneles solares térmicos para generar agua caliente sanitaria se recomienda un sistema de apoyo especialmente diseñado para esto. Hay que recordar que el agua proveniente de los paneles estará más caliente por lo que resulta necesario tener un equipo que sea capaz de medir la temperatura del agua para así proporcionar el calor necesario y no gastar demás. Además, los equipos corrientes (calefón) no funcionan bien y pueden dañarse si les ingresa agua a mayores temperaturas. Para esto la mayoría de los fabricantes de paneles ofrecen termo-tanques con resistencias eléctricas que permiten aportar la diferencia de calor.

Si se opta por una bomba de calor, se debe tener especial cuidado al momento de escoger el lugar donde se ubicará el equipo ya que este necesita de ciertas temperaturas y condiciones de ventilación para operar adecuadamente.

Si se quieren realizar inversiones en las tecnologías estudiadas, se recomienda que sean dimensionadas por un profesional capacitado, ya que un dimensionamiento erróneo podría traducirse en pérdidas más que ahorros energéticos. Así mismo, se recomienda realizar los mantenimientos recomendados por los fabricantes ya que de no hacerlos, el rendimiento del sistema puede verse disminuido considerablemente.

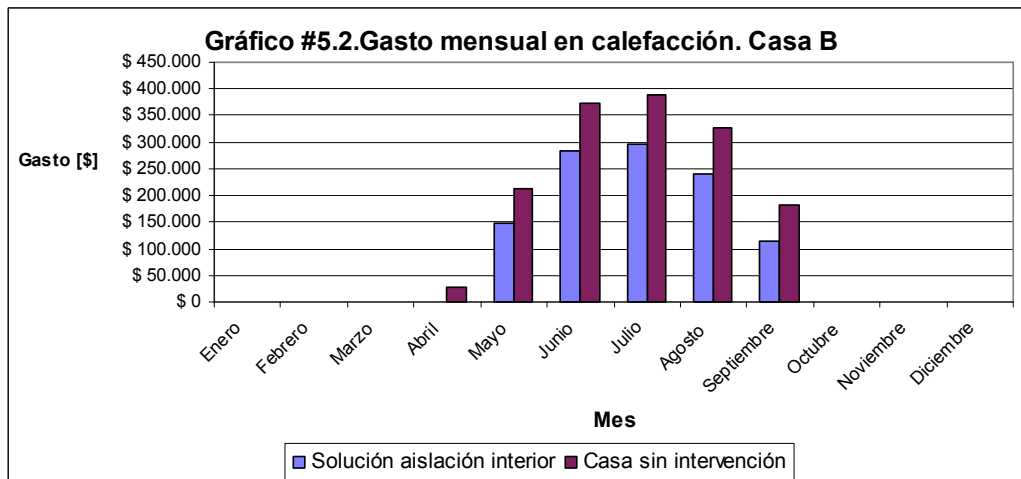
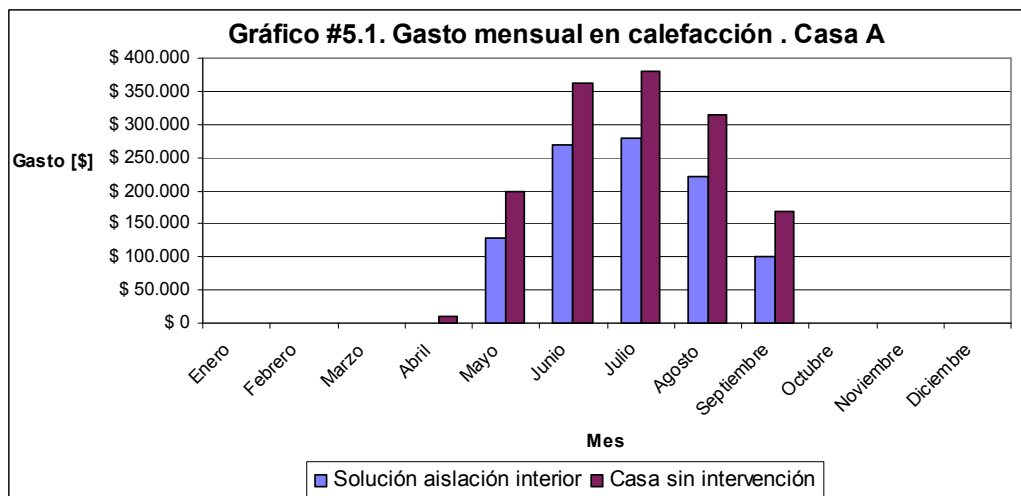
Si al hacer un estudio se tiene que los beneficios entre ambos sistemas son similares, se recomienda optar por paneles solares térmicos ya que con estos se consigue un mayor grado de independencia energética. Esto puede ser muy favorable en escenarios futuros en que el costo de la energía convencional puede alcanzar altos valores.

6.3 Conclusiones

➤ Tecnología de Aislación.

En este ítem se concluye que la solución de aislación interior (solución N° 2) es la más conveniente entre las dos desde el punto de vista económico.

El menor costo de implementación de esta solución y los altos ahorros energéticos que genera anualmente permiten que la inversión se recupere en plazos de 8 a 15 años dependiendo de la tasa de descuento y del precio del combustible. Además, se consiguen los siguientes ahorros durante el primer año si se mantienen constantes los precios actuales de combustible.



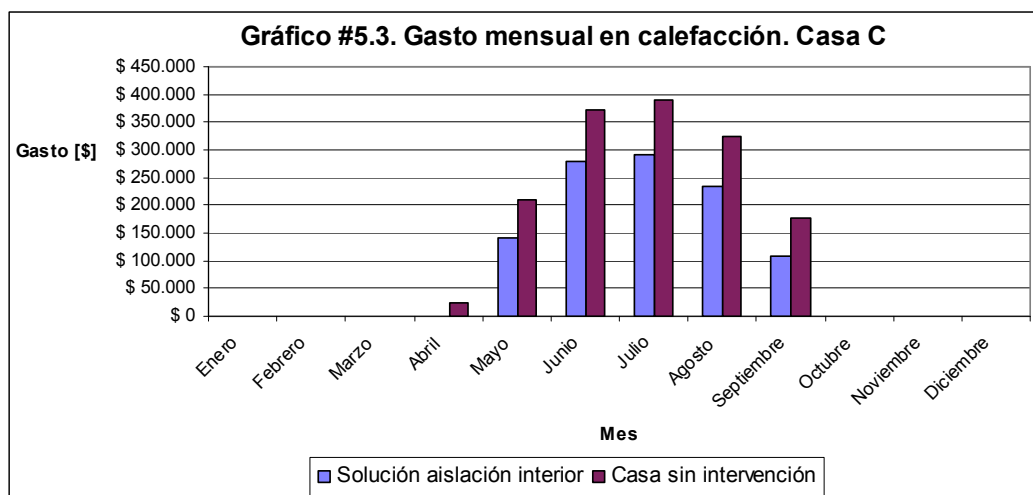


Tabla #6.1. Ahorro en calefacción durante el primer año.

	Casa A	Casa B	Casa C
Ahorro monetario	\$ 432.894	\$ 391.739	\$ 444.745
Porcentaje ahorro	30%	28%	30%

Sin embargo, tal como se dijo en el análisis de resultados de la evaluación económica de este ítem, no es rentable realizar inversiones en ninguna de las proposiciones. Lo que se debe principalmente al alto costo de implementar marco de PVC en las ventanas de la vivienda, en este sentido es importante señalar que dentro del análisis térmico se obtuvo que el cambio de los marcos de aluminio a PVC se traducen en un ahorro de alrededor de \$100.000 anuales a un costo de inversión ⁽⁵⁾ de \$3.000.000, lo que claramente no es rentable ya que los períodos de amortización serían del orden de 30 años sin considerar tasa descuento.

Luego, si se considerara una opción de aislación interior sin intervenir las ventanas se tendrían períodos de amortización del orden de 2 a 3 años con los siguientes ahorros anuales durante el primer año.

Tabla #6.2. Ahorro en calefacción durante el primer año.

	Casa A	Casa B	Casa C
Ahorro monetario	\$ 351.403	\$ 355.559	\$ 363.254
Porcentaje ahorro	25%	24%	24%

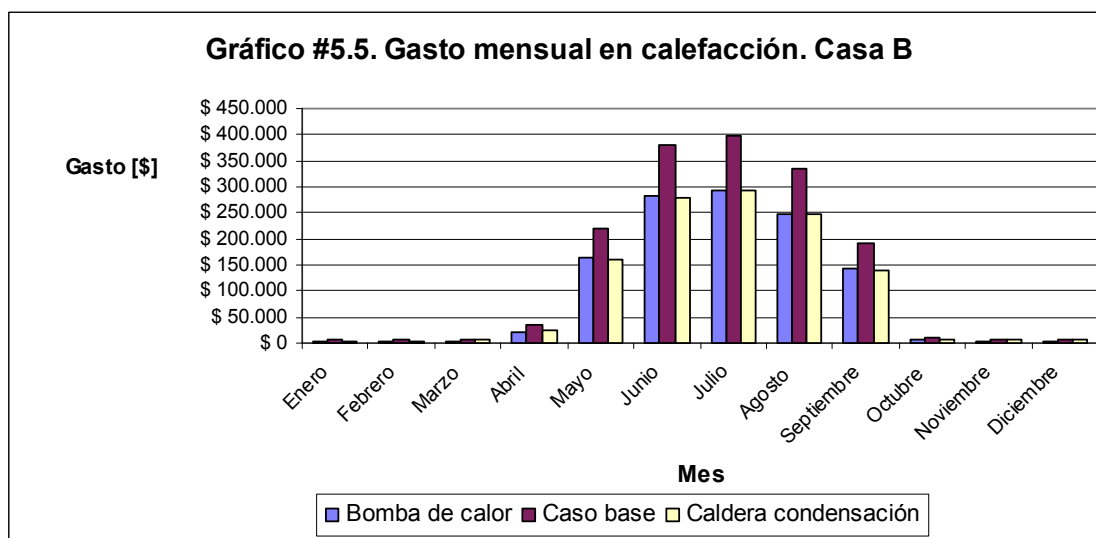
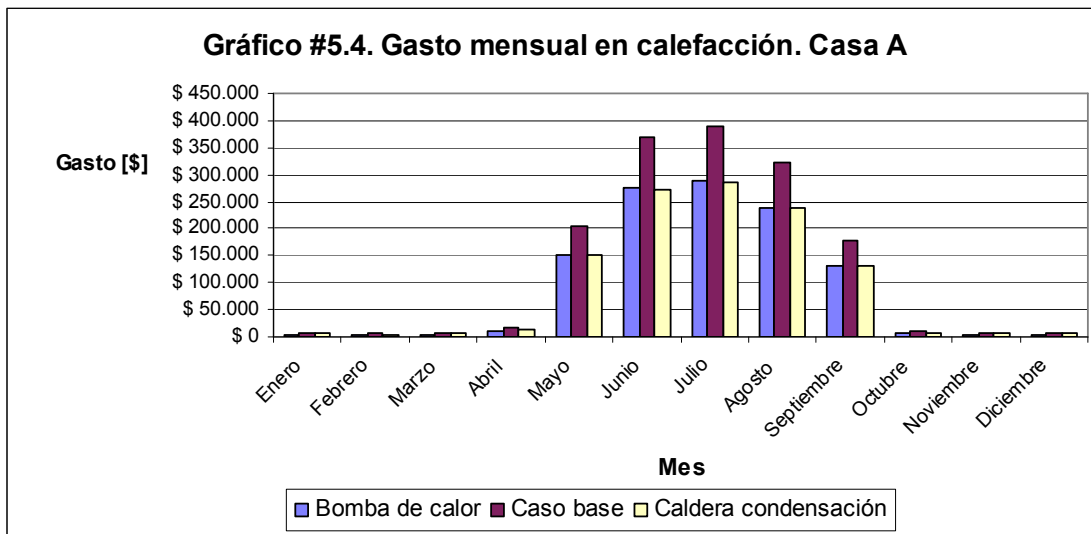
Además, se obtienen tasas internas de retorno del orden del 35% lo que hace que sea altamente conveniente realizar inversiones en este tipo de aislación, ya sea con capital propio o por medio de un préstamo (crédito hipotecario o crédito de consumo).

⁵ La inversión no contempla el cambio en las ventanas sino optar desde un principio por el uso de estas.

➤ Tecnología de Calefacción.

Luego de evaluar las dos proposiciones se tiene como resultado que la caldera de condensación es más conveniente desde el punto de vista económico, ya que esta genera un mayor VAN al final del periodo de evaluación.

Debido a que este tipo de calderas son relativamente nuevas y la gente aún no las comienza a utilizar masivamente, se mostrará también el ahorro anual que producen las bombas de calor.



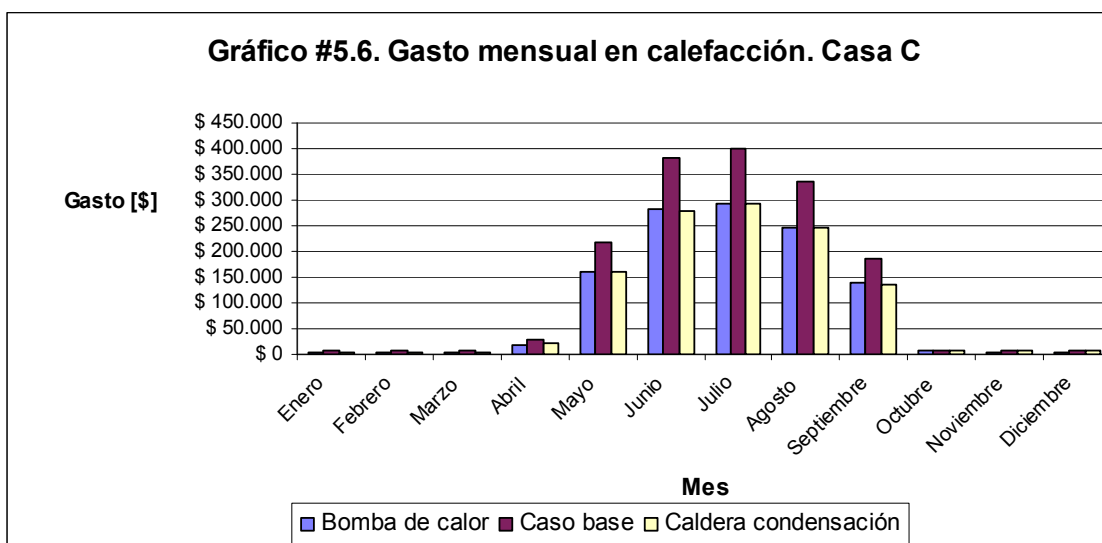


Tabla #6.3. Ahorros en calefacción durante el primer año. Bomba de calor

	Casa A	Casa B	Casa C
Ahorro monetario	\$ 406.227	\$ 429.081	\$ 424.623
Porcentaje ahorro	27%	27%	27%

Tabla #6.4. Ahorros en calefacción durante el primer año. Caldera condensación

	Casa A	Casa B	Casa C
Ahorro monetario	\$ 407.669	\$ 427.703	\$ 424.138
Porcentaje ahorro	27%	27%	27%

Además, es importante mencionar que, tal como se dijo en el análisis de resultados de la evaluación económica, la TIR de las calderas de condensación indica que es conveniente invertir en estas ya sea con préstamos (crédito hipotecario o crédito de consumo) o con capital propio. Mientras que para la bomba de calor la TIR indica que solo es conveniente invertir en estas cuando el capital es propio o cuando la inversión adicional esta incluida dentro del crédito hipotecario de la vivienda.

- Tecnología de calentamiento de agua sanitaria.

Luego de evaluar las dos proposiciones se tiene como resultado que las bombas de calor son más convenientes desde el punto de vista económico, ya que estas generan un mayor VAN al final del periodo de evaluación.

De igual forma, se muestra además el ahorro anual para el caso de una instalación solar térmica. Esto simplemente para cuantificar el ahorro que generan este tipo de instalaciones, que posiblemente tendrán una mayor participación en el futuro.

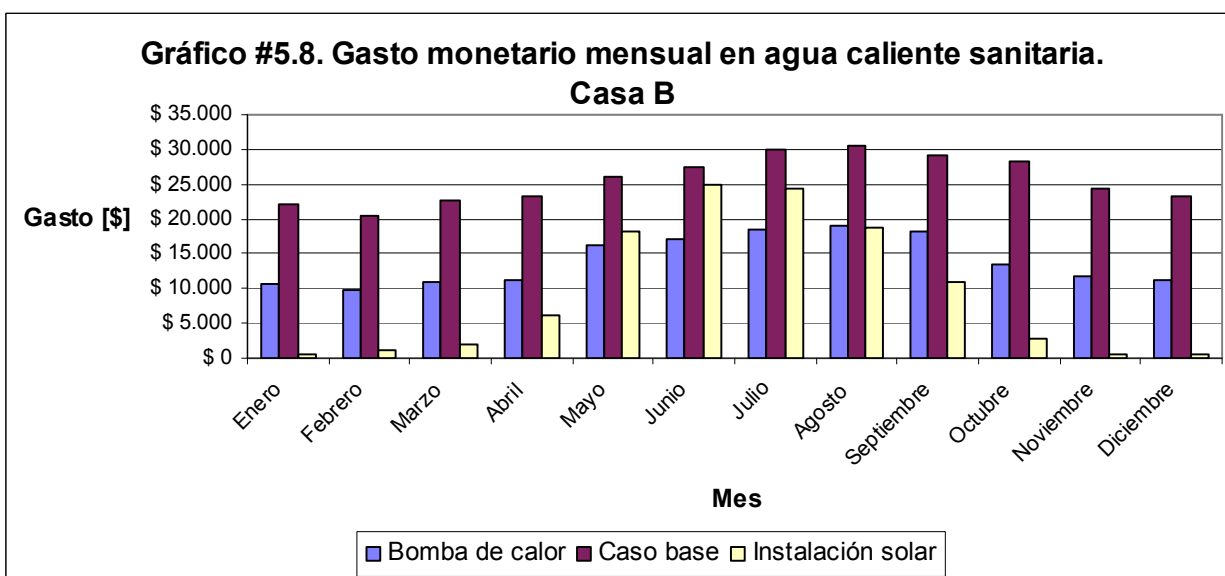
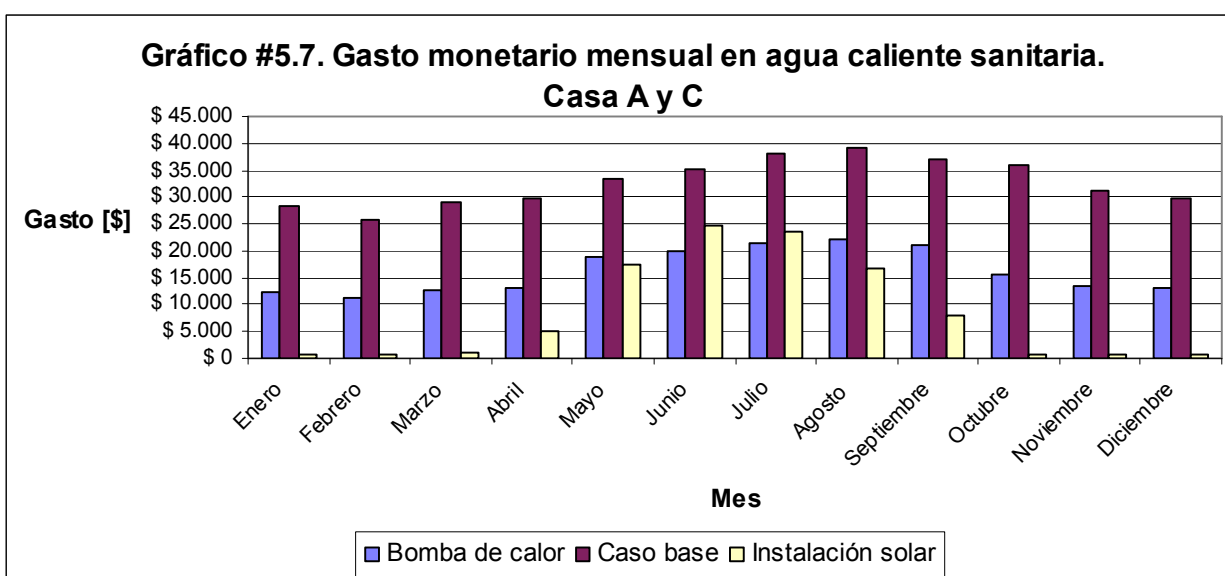


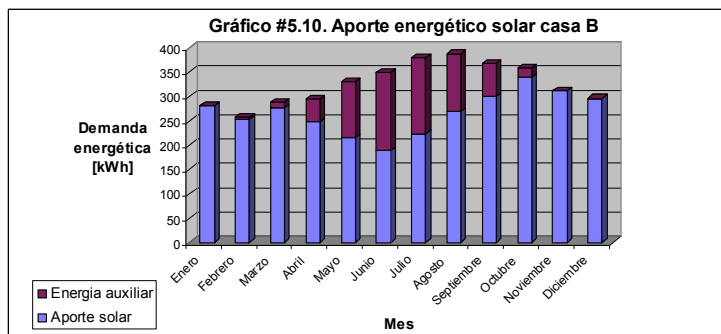
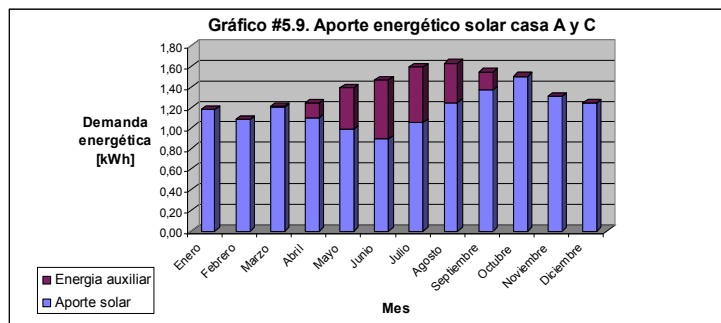
Tabla #6.5. Ahorros en calentamiento de agua sanitaria durante el primer año.

	Bomba de calor		Instalación solar	
	Casa A y C	Casa B	Casa A y C	Casa B
Ahorro monetario	\$ 197.926	\$ 139.614	\$ 293.364	\$ 196.529
Porcentaje ahorro	50%	45%	75%	64%

De esta tabla se puede notar claramente el mayor ahorro que produce una instalación solar, sin embargo el alto costo de estas las hace menos atractivas por el momento. Pero es muy probable que en el futuro el valor de estas sea mas bajo y consecuencia serán mucho más atractivas.

Además, es importante mencionar que, tal como se dijo en el análisis de resultados de la evaluación económica, la TIR de la bomba de calor indica que es conveniente invertir en estas solo cuando el capital es propio o se trata de un crédito hipotecario (tasas del orden del 6% igual que la tasa de rentabilidad de inversiones con capital propio), ya que al ser prestado (crédito consumo) los intereses anuales son del orden del 20% lo que hacen que esta solución no sea rentable. Así mismo, para la instalación solar la TIR indica que no es conveniente invertir en estas.

A continuación se muestran dos gráficos para tener una idea de la magnitud del aporte solar de una instalación solar térmica respecto de la energía total demandada.



6.4 Análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas)

Se estimó conveniente incluir dentro de este capítulo un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) de cada una de las tecnologías evaluadas económicamente.

➤ Paneles solares térmicos.

- Fortalezas:

- Sistema ecológico, ayuda a disminuir las emanaciones de CO₂ al medio ambiente.
- Rentable dentro del horizonte de evaluación (agua caliente sanitaria)
- Otorga cierto grado de independencia energética.

- Oportunidades:

- Alta radiación solar proveniente de una fuente inagotable y gratuita.
- Desarrollo de nuevas tecnologías y aumento en el precio de los combustibles en escenarios futuros provocarán una disminución en el periodo de amortización.
- Se está comenzando a tomar conciencia sobre las energías renovables no convencionales (ERNC)
- Planes de gobierno para incentivar el uso de estas tecnologías. Ya se aprobó el subsidio para viviendas de hasta 4.000 UF.

- Debilidades:

- Mayor radiación se alcanza en las horas del día con mínimo uso de agua caliente sanitaria, y en estaciones del año en que prácticamente no hay demanda de calefacción.
- No es completamente autosuficiente, se necesita de un apoyo auxiliar para satisfacer completamente las demandas.
- Costos de inversión elevados.

- Amenazas:
 - Periodo de amortización de la inversión está fuertemente ligado a las variaciones en los precios de los combustibles.
 - Desconocimiento de los clientes respecto de la efectividad y rentabilidad de esta alternativa.

➤ Bombas de calor.

- Fortalezas:

- Sistema eficiente.
- Rentable dentro del horizonte de evaluación.
- Sistema reversible, útil para climatizar durante épocas de calor.

- Oportunidades:

- Bajos rendimientos de los equipos con que compite.
- Clima de Santiago, altamente favorable, permite cubrir las demandas durante la mayor parte del año sin necesidad de tener un sistema de apoyo.

- Debilidades:

- En climas extremos no alcanza a cubrir las demandas durante el año, en consecuencia necesita de un sistema de apoyo o de algún otro método complementario (geotermia superficial)
- El ruido producido por los ventiladores puede ser molesto para algunas personas.

- Amenazas:

- Periodo de amortización de la inversión está fuertemente ligado a las variaciones en los precios de los combustibles.
- Desconocimiento de los clientes respecto de la efectividad y rentabilidad de esta alternativa.

➤ Calderas de condensación.

- Fortalezas:
 - Sistema eficiente.
 - Sistema con cierto grado de ecología pues ayuda a disminuir las contribuciones de CO₂ al medio ambiente.
 - Rentable dentro del horizonte de evaluación.
 - No necesita apoyo auxiliar.

- Oportunidades:
 - Bajos rendimientos de los equipos con que compite.

- Debilidades:
 - Debido a la menor temperatura de los gases de combustión liberados necesita de ventiladores para dar tiraje, los que consumen una energía adicional.
 - Aún no entran masivamente al mercado nacional por lo que hay muy poca información disponible.

- Amenazas:
 - Periodo de amortización de la inversión está fuertemente ligado a las variaciones en los precios de los combustibles.
 - Desconocimiento de los clientes respecto de la efectividad y rentabilidad de esta alternativa.

CAPITULO 7

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. MINVU (2007) Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago, Chile.
2. Apuntes de física de la construcción. Universidad de Chile. Profesor Gabriel Rodríguez.
3. NCh 1079 Of 1977. Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.
4. NCh 853. Of 2007. Acondicionamiento térmico- envolvente térmica de edificios- calculo de resistencias y transmitancias térmicas.
5. NCh 1960. Of 89. Aislación térmica – Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas.
6. Badilla Donoso, Marcelo (2006). Ahorro de energía en viviendas: soluciones constructivas de elementos perimetrales, Tesis de titulación, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
7. Petersen Oehninger, Hans (2007). Análisis y sistematización de datos para el diseño de sistemas solares térmicos en Chile, Tesis de titulación, Departamento de Ingeniería Civil Mecánica, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
8. Menses Vega, Jose Alejandro (2006). Ahorro de energía en viviendas: Aporte y defensa solar, Tesis de titulación.
9. Duffie, John A. Solar Engineering of Thermal Processes.
10. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, (1997), ASHRAE Handbook-Fundamentals, Atlanta.
11. CARRIER, Handbook of air conditioning system design.
12. DIMPLEX, Manual de dimensionamiento e instalación de bombas de calor para calefacción y preparación de agua caliente.
13. Aislación Térmica Exterior. Manual de diseño para soluciones en edificaciones. Corporación de desarrollo Tecnológico de la Cámara chilena de la construcción.
14. Sistemas solares térmicos. Manual de diseño para el calentamiento de agua. Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción.
15. Irradiancia solar en territorios de la republica de Chile, 2008, CNE / PNUD / UTFSM.
16. Solarthermie, Manual alemán de instalaciones solares. Dr. Sonne Team
17. Comisión Nacional de Energía Chile, CNE. www.cne.cl
18. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, www.minvu.cl

19. Chilectra. www.chilectra.cl
20. www.RetScreen.com
21. www.rehau.cl

CAPITULO 8

ANEXOS

A. Zonificación térmica y exigencias de la OGUC.

A.1. Requisitos de acondicionamiento térmico en complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados.

Tabla # 1 Requisitos acondicionamiento térmico						
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	0,25	3,6	0,28
2	0,6	1,67	3	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,7	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,6	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,5	2
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4	0,6	1,67	0,32	3,13

A.2. Requisitos en superficies para ventanas.

Tabla # 2 Requisitos acondicionamiento térmico			
ZONA	VENTANAS		
	% MÁXIMO DE SUPERFICIE VIDRIADA RESPECTO A PARAMENTOS VERTICALES DE LA ENVOLVENTE		
	VIDRIO MONOLÍTICO (b)	DVH	
		DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO (c)	
		3.6 W/m ² K ≥ U > 2.4 W/m ² K (a)	U ≤ 2.4 W/m ² 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%

A.3. Zonificación de grados día de calefacción a nivel comunal Región Metropolitana.

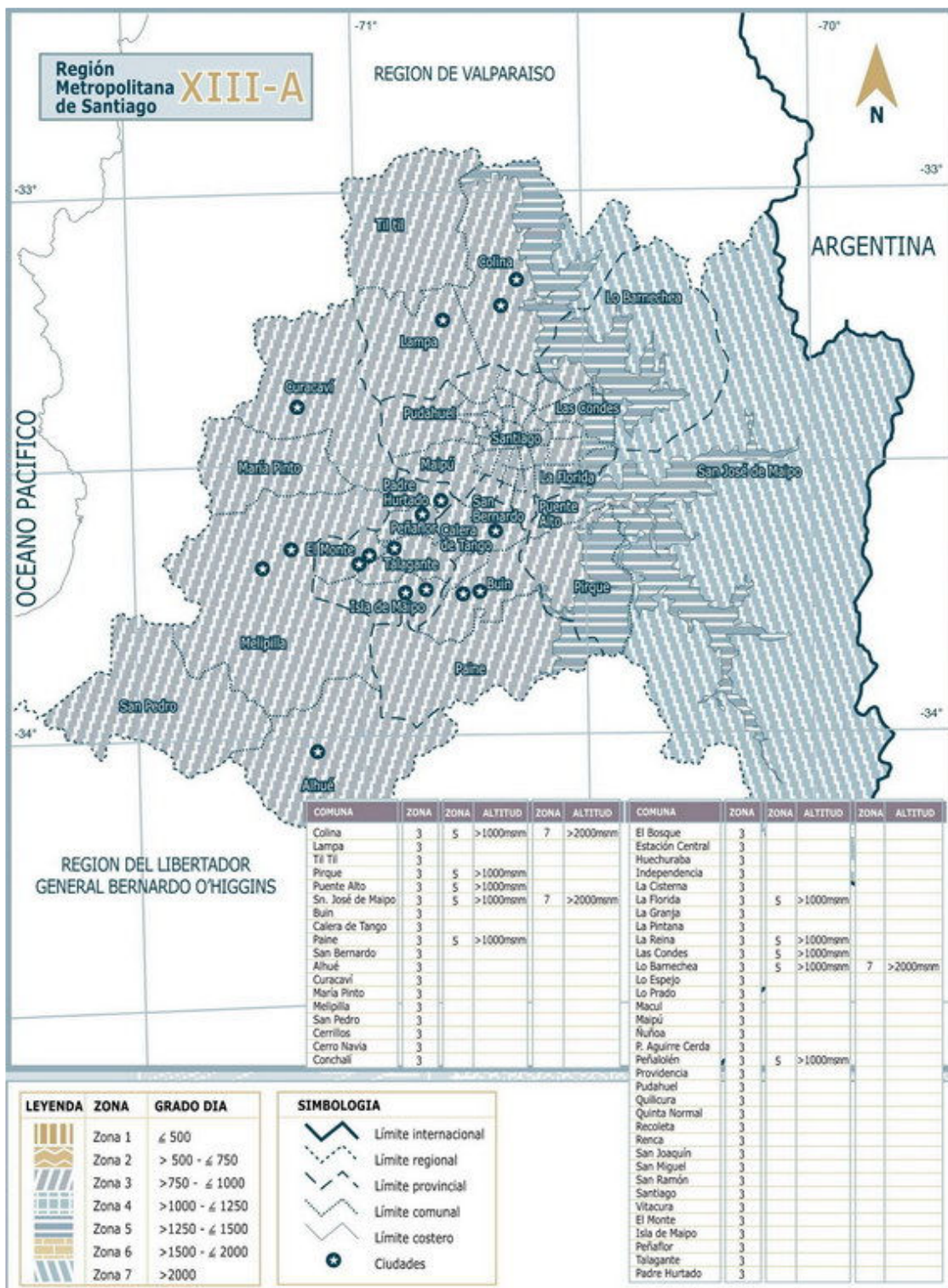


Figura #1 Zonificación térmica para Región Metropolitana.

B. Consideraciones para el cálculo del gasto energético.

B.1. Pérdidas térmicas por transmisión.

- Características de materiales constructivos utilizados⁽⁶⁾.

Tabla #3. Conductividades		
Material	Densidad [kg/m ³]	Conductividad [W/m ² K]
Hormigón	2400	1,63
Mortero	2000	1,4
Yeso	1000	0,44
EPS 10	10	0,043
EPS 15	15	0,0413
EPS 30	30	0,0361
Yeso - cartón	700	0,26
Piedra pizarra	2500 - 3000	3,5
Hojalata	2700	210
Poliuretano 40	40	0,025
OSB	560	0,102
Malla fibra vidrio	-	1
Piedra	2500 - 3000	3,5
Vidrio	2500	1,2
Aluminio	2700	210
Madera	410	0,1
Alfombra	1000	0,05
Cerámica	-	1,75
Parquet	850	0,23
Lana de Vidrio	12	0,041
PVC	-	0,17

⁶ Fuente Nch 853.

B.2. Perdidas térmicas por infiltración, renovaciones de aire. Método de las rendijas, ASHARE 1997.

- Parámetros necesarios para obtener las renovaciones.

Tabla #4. Coeficiente de encajonamiento C_s		
Numero de pisos		
Uno	Dos	Tres
0,000145	0,00029	0,000435

Tabla #5. Coeficiente de viento C_w			
Tipo de obstrucción	Numero de pisos		
	Uno	Dos	Tres
1	0,000319	0,00042	0,000494
2	0,000246	0,000325	0,000382
3	0,000174	0,000231	0,000271
4	0,000104	0,000137	0,000161
5	0,000032	0,000042	0,000049

Tabla #6. Tipos de obstrucción	
Tipo	Descripción
1	No existe obstrucción
2	Poca obstrucción. Algunos árboles cercanos.
3	Obstrucción local moderada. Alguna casa adyacente.
4	Obstrucción fuerte. Obstrucciones alrededor de todo el perímetro. Edificaciones o árboles dentro de 10 m en todas las direcciones.
5	Extremadamente obstruido. Grandes construcciones alrededor de todo el perímetro. Obstrucción típica del centro.

- Ejemplo de cálculo.

Primero se debe calcular el área total efectiva de fugas de la vivienda. Para esto es necesario verificar el tamaño o cantidad de cada componente de la envolvente y ponderarlo por un área efectiva de fugas estandarizada⁽⁷⁾ que entrega el ASHRAE tal como se muestra a continuación.

Tabla #7. Ejemplo determinación área efectiva de fugas.				
Componente	Descripción	Tamaño ó cantidad	Área efectiva por unidad	Área efectiva [cm2]
Muros	Panel prefabricado hormigón	100 [m2]	1,2 [cm2/m2]	120
Marcos de Ventanas	Madera	10 [m2]	0,3 [cm2/m2]	3
Ventanas	Correderas Simples	5000 [lms]	0,67 [cm2/lms]	3350
Marcos de Puertas	Madera	1 [m2]	0,3 [cm2/m2]	0,3
Puertas	Acceso	1 [unidad]	12 [cm2/unidad]	12
	Cristal Correderas	30 [m2]	5,5 [cm2/m2]	165
Techo	Cielo 2do piso	100 [m2]	1,8 [cm2/m2]	180
Aberturas en techo	Luces empotradas	10 [unidad]	10 [cm2/unidad]	100
	Luces colgantes	5 [unidad]	0,82 [cm2/unidad]	4,1
Total				3934

Luego se deben identificar los parámetros expuestos en las tablas del anexo B.1. Para este ejemplo se considerará una casa de 2 pisos ubicada en el centro de Santiago. En consecuencia se tiene que:

$$C_s = 0,000290$$

$$C_w = 0,000042$$

Así mismo, para el mes de junio la velocidad del viento es de 2,6 m/s y se tiene una temperatura media diaria de 8,5 °C, considerando además una temperatura interior de 20 °C, se tiene que:

$$\Delta t = 11,5[^\circ\text{C}]$$

$$V = 2,6[m/s]$$

Finalmente, reemplazando los valores en la ecuación (III) y (IV) se obtienen las infiltraciones y renovaciones de aire en la vivienda:

$$Q = \frac{A_L}{1000} \cdot \sqrt{C_s \Delta t + C_w V^2} = \frac{3934}{1000} \cdot \sqrt{0,000290 \cdot 11,5 + 0,000042 \cdot 2,6^2} = 0,2367[m^3/s]$$

$$n = \frac{Q \cdot 3600}{\text{Volumen}} = \frac{0,2367 \cdot 3600}{500} = 1,7 \left[\frac{\text{renovaciones}}{\text{hora}} \right]$$

⁷ 1997 AHRAE Fundamentals Handbook, página 509.

B.3. Ganancias térmicas. Ocupación de la vivienda.

Consideraciones:

- Padre trabaja.
- Madre trabaja medio día y en la tarde hace actividades fuera de la casa.
- Hijos estudian (van al colegio/universidad)
- Empleada puertas adentro, pero no trabaja fin de semana.

Ocupación tipo de una vivienda. Lunes - viernes.												
	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
Padre												
Madre												
Hijos												
Empleada												

Ocupación tipo de una vivienda. Lunes - viernes.												
	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Padre												
Madre												
Hijos												
Empleada												

Ocupación tipo de una vivienda. Sábado y domingo.												
	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
Padre												
Madre												
Hijos												
Empleada												

Ocupación tipo de una vivienda. Sábado y domingo.												
	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Padre												
Madre												
Hijos												
Empleada												

C. Consideraciones para el dimensionamiento del sistema de energía solar.

C.1. Factores de corrección según inclinación.

Tabla #8. Factores de corrección según inclinación.												
LAT = 34° S	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inclinación	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5	1	1,02	1,04	1,07	1,1	1,12	1,11	1,08	1,05	1,02	1,01
	10	1	1,03	1,08	1,14	1,19	1,23	1,21	1,16	1,09	1,04	1
	15	0,99	1,04	1,11	1,19	1,28	1,33	1,3	1,22	1,13	1,05	1
	20	0,98	1,04	1,13	1,25	1,36	1,43	1,39	1,29	1,16	1,06	0,99
	25	0,96	1,03	1,14	1,29	1,44	1,52	1,48	1,34	1,18	1,06	0,97
	30	0,93	1,02	1,15	1,33	1,5	1,6	1,55	1,39	1,2	1,05	0,95
	35	0,9	1	1,16	1,36	1,56	1,67	1,62	1,43	1,21	1,04	0,92
	40	0,87	0,98	1,15	1,38	1,61	1,74	1,67	1,46	1,22	1,02	0,89
	45	0,83	0,95	1,14	1,4	1,65	1,79	1,72	1,49	1,21	0,99	0,85
	50	0,79	0,92	1,13	1,41	1,69	1,84	1,76	1,5	1,2	0,96	0,81
	55	0,74	0,88	1,1	1,4	1,71	1,87	1,79	1,51	1,18	0,93	0,76
	60	0,68	0,83	1,07	1,39	1,72	1,9	1,8	1,5	1,16	0,88	0,71
	65	0,63	0,78	1,03	1,37	1,72	1,91	1,81	1,49	1,13	0,84	0,65
	70	0,57	0,72	0,99	1,35	1,71	1,91	1,81	1,47	1,08	0,78	0,59
	75	0,51	0,66	0,94	1,31	1,69	1,9	1,79	1,44	1,04	0,72	0,53
	80	0,44	0,6	0,88	1,26	1,66	1,88	1,76	1,39	0,98	0,66	0,47
85	0,38	0,53	0,82	1,21	1,61	1,84	1,72	1,34	0,92	0,59	0,4	
90	0,32	0,46	0,75	1,14	1,56	1,79	1,66	1,28	0,85	0,52	0,34	

C.2. Temperatura del agua de la red. Manual de Energía Solar.

Mes	[°C]
Enero	19
Febrero	18,6
Marzo	18,3
Abril	16,7
Mayo	14,4
Junio	11,7
Julio	9,9
Agosto	9,1
Septiembre	9,8
Octubre	11,9
Noviembre	15,3
Diciembre	17,6

C.3. Consumo diario de agua caliente sanitaria para diferentes recintos. Manual de Energía Solar.

Criterio de consumo	Consumo [lts/dias]	Observaciones
Viviendas unifamiliares	40	por persona
Viviendas multifamiliares	30	por persona
Hospitales y clínicas	80	por cama
Hoteles (4 estrellas)	100	por cama
Hoteles (3 estrellas)	80	por cama
Hoteles /Hostales (2 estrellas)	60	por cama
Camping	60	por emplazamiento
Hostales /Pensiones (1 estrella)	50	por cama
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	80	por cama
Vestuarios /Duchas colectivas	20	por servicio
Escuelas	5	por alumno
Cuarteles	30	por persona
Fábricas y talleres	20	por persona
Oficinas	5	por persona
Gimnasios	30 a 40	por usuario
Lavanderías	5 a 7	por kilo de ropa
Restaurantes	8 a 15	por comida
Cafeterías	2	por almuerzo

D. Detalle de precios para las diferentes proposiciones a evaluar.

D.1. Soluciones de aislación.

Tabla #11. Inversión solución aislación N° 1. Casa A y C			
EIFS muros perimetrales sin mampostería de piedra	Costo unitario	Cantidad	Costo total
EIFS [m2]	\$ 17.392	170	\$ 2.956.609
EIFS [ml]	\$ 10.477	2,1	\$ 22.002
Refuerzo esquinas [ml]	\$ 1.886	37	\$ 69.777
Retornos [m]	\$ 3.772	206	\$ 776.974
Bow window [ml]	\$ 31.431	36	\$ 1.131.516
Mano de obra			Incluido
Aislación interior muros perimetrales con mampostería de piedra			
Volcapol [m2]	\$ 3.995	22	\$ 86.132
Adhesivo Volcafix [m2]	\$ 576	22	\$ 12.415
Mano de obra			\$ 25.000
Ventanas con marcos de PVC			
Ventanas con marcos de aluminio			\$ 3.055.588
Ventanas con marcos de PVC			\$ 5.985.698
Costo adicional			\$ 2.930.110
TOTAL			\$ 8.010.535

Tabla #12. Inversión solución aislación N° 2. Casa A y C			
Aislación interior muros perimetrales	[\$/m2]	[m2]	[\$]
Volcapol	\$ 3.995	155	\$ 619.225
Adhesivo Volcafix	\$ 576	155	\$ 89.254
Mano de obra			\$ 200.000
Ventanas con marcos de PVC⁽⁸⁾			
Ventanas con marcos de aluminio			\$ 3.055.588
Ventanas con marcos de PVC			\$ 5.985.698
Costo adicional			\$ 2.930.110
TOTAL			\$ 3.838.589

⁸ La inversión corresponde al adicional que se habría tenido que gastar para haber comprado directamente las ventanas con marcos de PVC.

Tabla #13. Inversión solución aislación N° 1. Casa B			
EIFS muros perimetrales sin mampostería de piedra	Costo unitario	Cantidad	Costo total
EIFS [m2]	\$ 17.392	160	\$ 2.782.691
EIFS [ml]	\$ 10.477	2,1	\$ 22.002
Refuerzo esquinas [ml]	\$ 1.886	37	\$ 69.777
Retornos [m]	\$ 3.772	171	\$ 644.964
Bow window [ml]	\$ 31.431	35	\$ 1.100.085
Mano de obra			Incluido
Aislación interior muros perimetrales con mampostería de piedra			
Volcapol [m2]	\$ 3.995	22	\$ 86.132
Adhesivo Volcafix [m2]	\$ 576	22	\$ 12.415
Mano de obra			\$ 25.000
Ventanas con marcos de PVC			
Ventanas con marcos de aluminio			\$ 2.672.244
Ventanas con marcos de PVC			\$ 5.570.698
Costo adicional			\$ 2.898.454
TOTAL			\$ 7.641.520

Tabla #14. Inversión solución aislación N° 2. Casa B			
Muros perimetrales	[\$/m2]	[m2]	[\$]
Volcapol	\$ 3.995	144	\$ 575.280
Adhesivo Volcafix	\$ 576	144	\$ 82.920
Mano de obra			\$ 200.000
Ventanas con marcos de PVC⁹			
Ventanas con marcos de aluminio			\$ 2.672.244
Ventanas con marcos de PVC			\$ 5.570.698
Costo adicional			\$ 2.898.454
TOTAL			\$ 3.756.654

⁹ La inversión corresponde al adicional que se habría tenido que gastar para haber comprado directamente las ventanas con marcos de PVC.

D.2. Soluciones de calefacción.

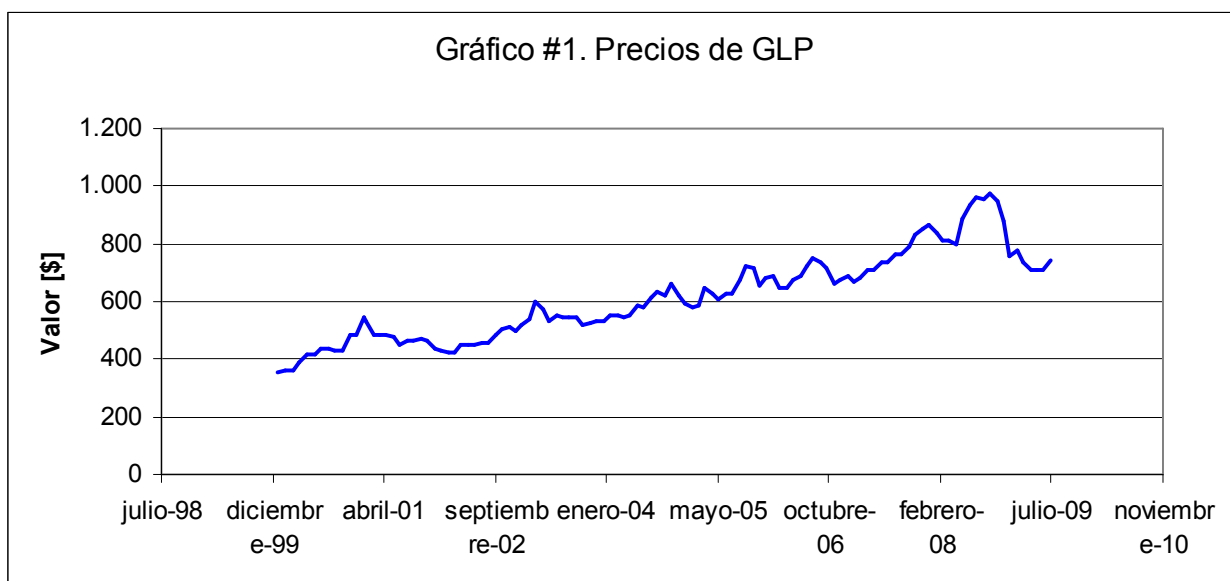
Tabla #15. Costos instalación solar Transsen	
Acumulador 400 l y Accesorios	\$ 1.165.225
Acumulador 500 l y Accesorios	\$ 1.140.149
Acumulador 600 l y Accesorios	\$ 1.132.266
Placas de colector [m ²]	\$ 423.164
Inversión	Depende del área instalada

E. Evaluación económica.

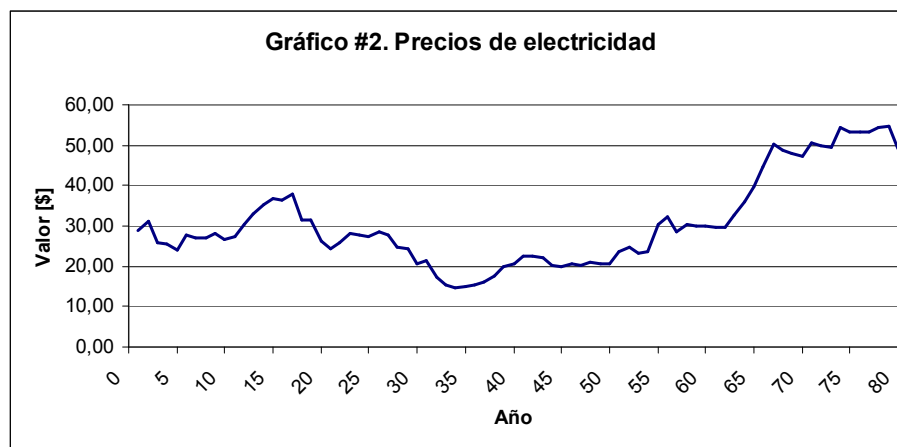
E.1. Inflación de precios de combustible.

Se consultaron los precios históricos en la página web de la Comisión Nacional de Energía (CNE) para los dos tipos de combustibles utilizados en la evaluación económica, electricidad y GLP.

A continuación se muestran los gráficos con las tendencias que han tenido estos combustibles.



Dejando de lado los últimos meses en que el GLP ha experimentado un descenso importante en su precio producto de la baja de precios del barril de petróleo, se puede apreciar que este combustible ha tenido una tendencia al alza sostenida.



Como se puede ver en este gráfico, la electricidad ha tenido precios bastante variables a lo largo de la historia.

Si bien los precios de los combustibles son bastante inciertos, más aun cuando dependen de las condiciones macroeconómicas, es de esperarse que estos tengan una tendencia al alza. Es por esto que para el análisis económico de las proposiciones se consideraran tres escenarios de precios. El primero será un escenario neutral considerando un aumento del 2% del precio del combustible, el segundo será un escenario pesimista en que el precio del combustible aumenta a una tasa del 4 % anual y el tercero un escenario optimista en que los precios de los combustibles no aumentan.

Tabla #15. Numeración de fechas

1	Oct de 1982	17	Abr de 1990	33	Abr de 1998	49	Oct de 2003	65	Jun de 2007
2	Nov de 1982	18	Oct de 1990	34	Oct de 1998	50	Ene de 2004	66	Sep de 2007
3	Abr de 1983	19	Abr de 1991	35	Abr de 1999	51	Abr de 2004	67	Oct de 2007
4	Oct de 1983	20	Oct de 1991	36	Oct de 1999	52	Sep de 2004	68	Feb de 2008
5	Abr de 1983	21	Abr de 1992	37	Abr de 2000	53	Oct de 2004	69	Abr de 2008
6	Oct de 1984	22	Oct de 1992	38	Oct de 2000	54	Abr de 2005	70	Jun de 2008
7	Abr de 1985	23	Abr de 1993	39	Nov de 2000	55	Jun de 2005	71	Ago de 2008
8	Oct de 1985	24	Oct de 1993	40	Abr de 2001	56	Oct de 2005	72	Sep de 2008
9	Abr de 1986	25	Abr de 1994	41	Sep de 2001	57	Dic de 2005	73	Oct de 2008
10	Oct de 1986	26	Oct de 1994	42	Oct de 2001	58	Abr de 2006	74	Nov de 2008
11	Abr de 1987	27	Abr de 1995	43	Dic de 2001	59	Jun de 2006	75	Dic de 2008
12	Oct de 1987	28	Oct de 1995	44	Abr de 2002	60	Ago de 2006	76	Ene de 2009
13	Abr de 1988	29	Abr de 1996	45	Oct de 2002	61	Sep de 2006	77	Feb de 2009
14	Oct de 1988	30	Oct de 1996	46	Sep de 2002	62	Oct de 2006	78	Mar de 2009
15	Abr de 1989	31	Abr de 1997	47	Feb de 2003	63	Nov de 2006	79	Abr de 2009
16	Oct de 1989	32	Oct de 1997	48	Abr de 2003	64	Abr de 2007	80	May de 2009

E.2. Tasa de descuento para la evaluación económica.

Se optó por hacer dos análisis. El primero sin utilizar tasa de descuento y el segundo utilizando una tasa del 6%.

Los privados, a diferencia de las empresas, no manejan tasas de descuento para sus inversiones, y la única forma de poder comparar sus rentabilidades es con instrumentos de inversión disponibles en el mercado (bonos, letras hipotecarias, fondos mutuos, etc.).

Considerando esto, se optó por utilizar las rentabilidades de uno de los instrumentos más comunes de inversión, los fondos mutuos. Estos tienen rentabilidades que pueden variar mucho dependiendo del escenario macroeconómico del momento. Por ejemplo, hace unos meses atrás su rentabilidad era negativa, producto de la crisis financiera por la que se está pasando, y luego de un repunte se tuvieron los meses de mayor rentabilidad desde que existen estos fondos. Sin embargo, en tiempos de calma económica estos fondos tienen una rentabilidad anual relativamente estable.

Por ultimo, si bien se puede hablar de una cierta estabilidad de sus rentabilidades, estas dependen directamente del riesgo del fondo mutuo en cuestión. A continuación se muestran algunos fondos del Banco de Chile para formar una idea de las rentabilidades de estos durante los últimos 12 meses.

Tabla #16. Inversión en instrumentos de deuda de mediano y largo plazo	
Nombre Fondo	Rentabilidad últimos 12 meses
Renta futura	8,73%
Ahorro	9,52%
Operacional	11,41%
Horizonte	4,28%
Deposito XXI	8,31%
Alianza	6,86%
Dollar fund	4,62%

Como se puede ver en esta tabla las rentabilidades son bastante diferentes entre uno y otro, sin embargo, se optó por escoger un valor único para utilizarlo como tasa de descuento,

E.3. Posibles combinaciones de precios de combustible.

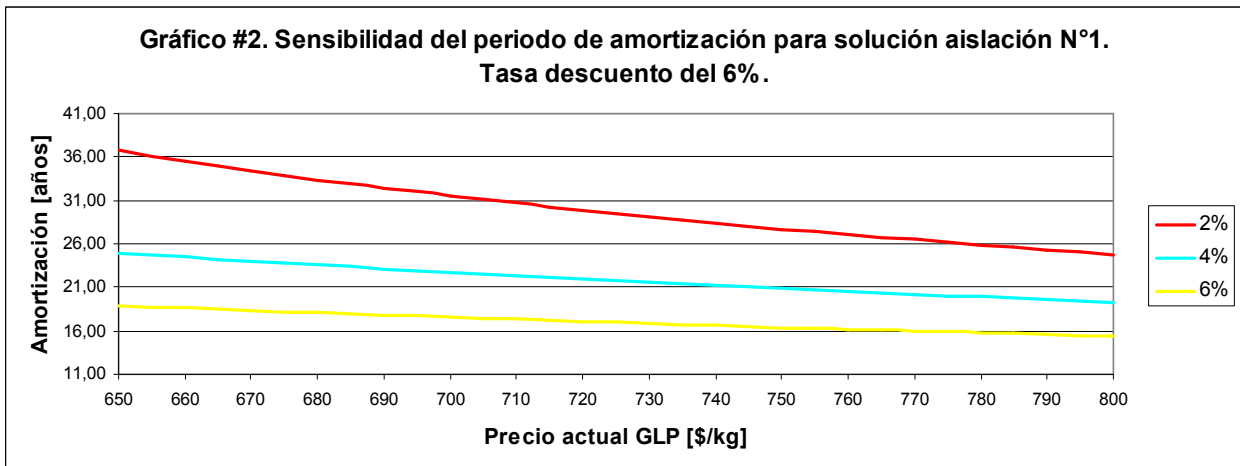
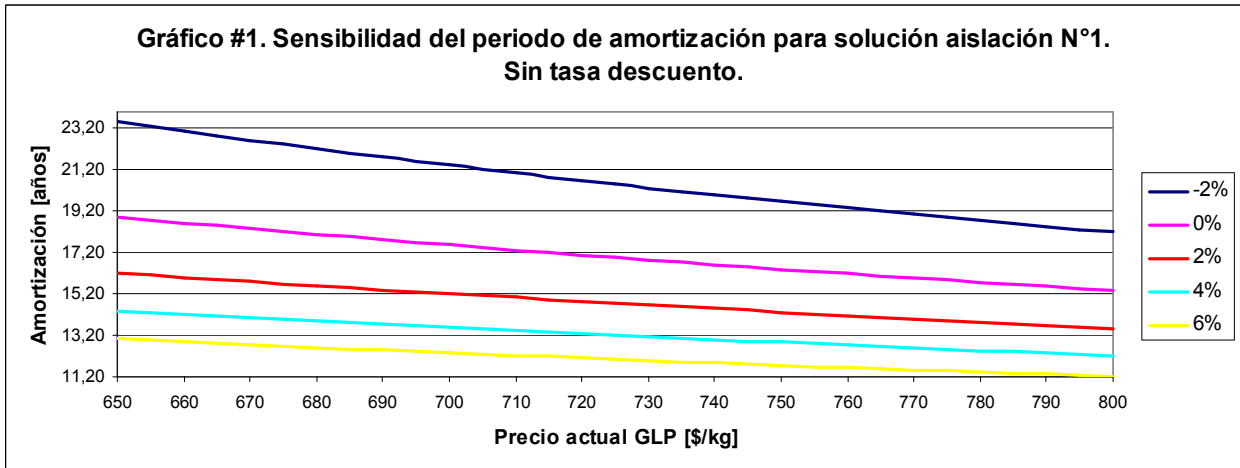
Las siguientes combinaciones de precios de combustibles se escogieron partiendo de la base de precios actuales y variándolas un 1% hacia arriba y hacia abajo, con lo que se obtuvo lo siguiente:

Tabla #17. Posibles combinaciones de precios				
Combinación	Tarifa Electrica BT -1-			Gas licuado
	Cobro fijo	Tarifa normal	Tarifa invierno	Tarifa GLP
	[\$/mes]	[\$/kWh]	[\$/kWh]	[\$/kg]
1	\$ 514	\$ 94	\$ 124	\$ 610
2	\$ 519	\$ 95	\$ 126	\$ 616
3	\$ 524	\$ 96	\$ 127	\$ 623
4	\$ 530	\$ 97	\$ 128	\$ 629
5	\$ 535	\$ 98	\$ 129	\$ 635
6	\$ 540	\$ 99	\$ 131	\$ 642
7	\$ 546	\$ 100	\$ 132	\$ 648
8	\$ 551	\$ 101	\$ 133	\$ 655
9	\$ 557	\$ 102	\$ 135	\$ 661
10	\$ 563	\$ 103	\$ 136	\$ 668
11	\$ 568	\$ 104	\$ 137	\$ 675
12	\$ 574	\$ 105	\$ 139	\$ 681
13	\$ 580	\$ 106	\$ 140	\$ 688
14	\$ 586	\$ 107	\$ 142	\$ 695
15	\$ 591	\$ 108	\$ 143	\$ 702
16	\$ 597	\$ 109	\$ 144	\$ 709
17	\$ 604	\$ 110	\$ 146	\$ 717
18	\$ 610	\$ 111	\$ 147	\$ 724
19	\$ 616	\$ 112	\$ 149	\$ 731
20	\$ 622	\$ 113	\$ 150	\$ 739
21	\$ 628	\$ 115	\$ 152	\$ 746
22	\$ 635	\$ 116	\$ 153	\$ 753
23	\$ 641	\$ 117	\$ 155	\$ 761
24	\$ 647	\$ 118	\$ 157	\$ 769
25	\$ 654	\$ 119	\$ 158	\$ 776
26	\$ 660	\$ 120	\$ 160	\$ 784
27	\$ 667	\$ 122	\$ 161	\$ 792
28	\$ 674	\$ 123	\$ 163	\$ 800
29	\$ 680	\$ 124	\$ 165	\$ 808
30	\$ 687	\$ 125	\$ 166	\$ 816
31	\$ 694	\$ 127	\$ 168	\$ 824

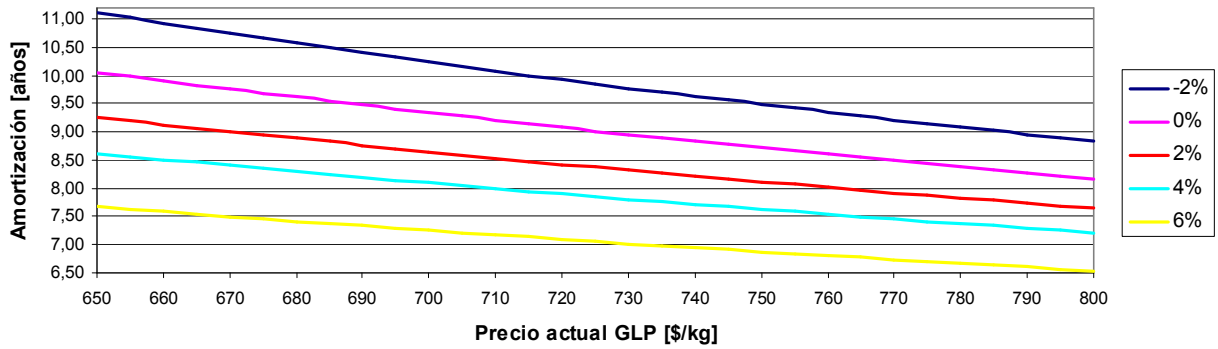
E.4. Gráficos de sensibilidad precio combustibles.

➤ Aislación

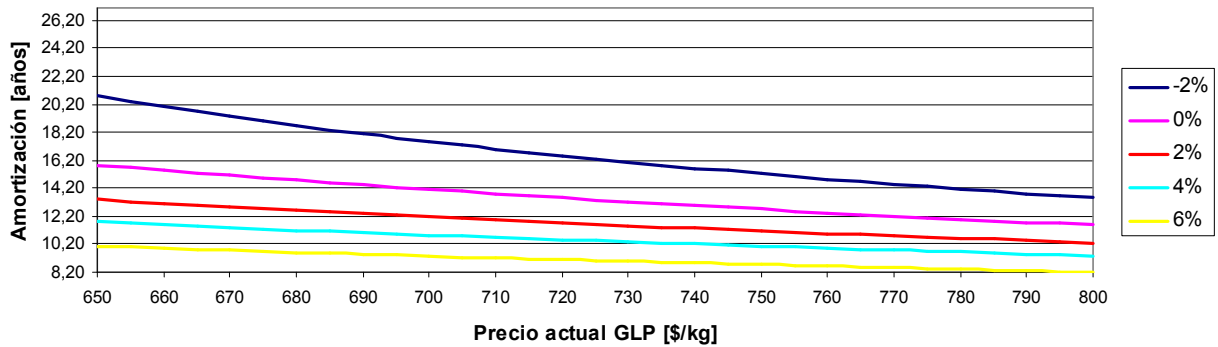
- Casa B



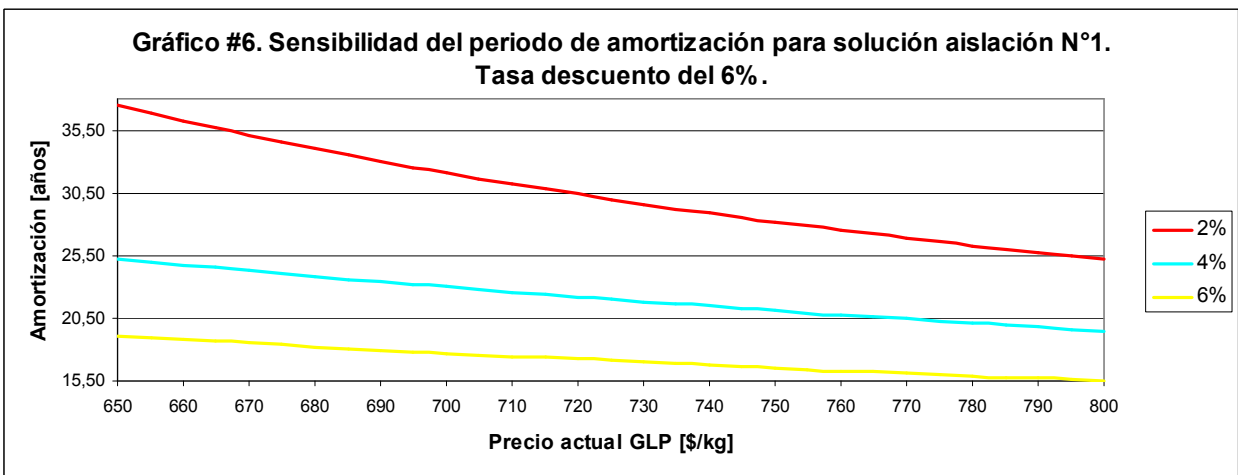
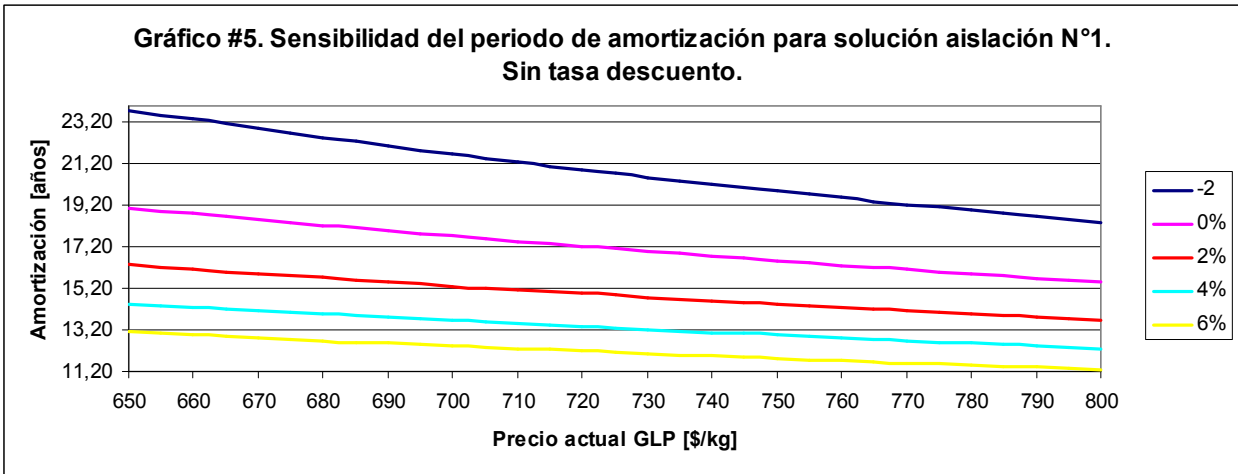
**Gráfico #3. Sensibilidad del periodo de amortización para solución aislación N°2.
Sin tasa descuento.**



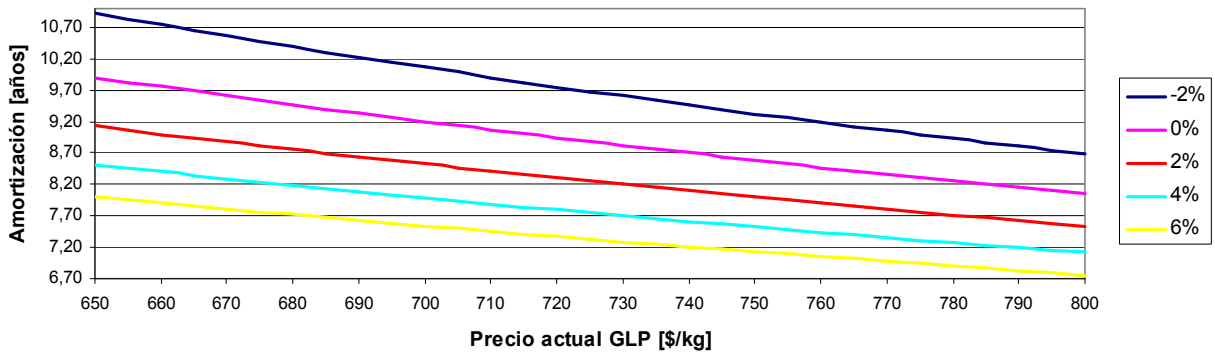
**Gráfico #4. Sensibilidad del periodo de amortización para solución aislación N°2.
Tasa descuento del 6%.**



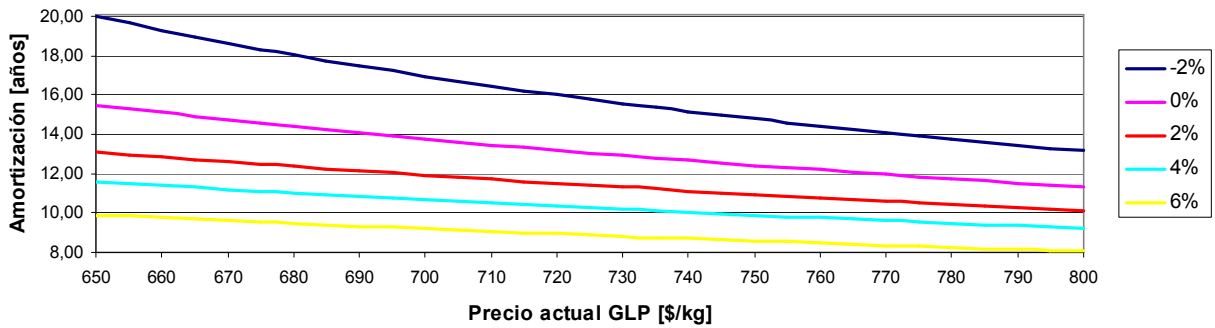
- Casa C



**Gráfico #7. Sensibilidad del periodo de amortización para solución aislación N°2.
Sin tasa descuento.**

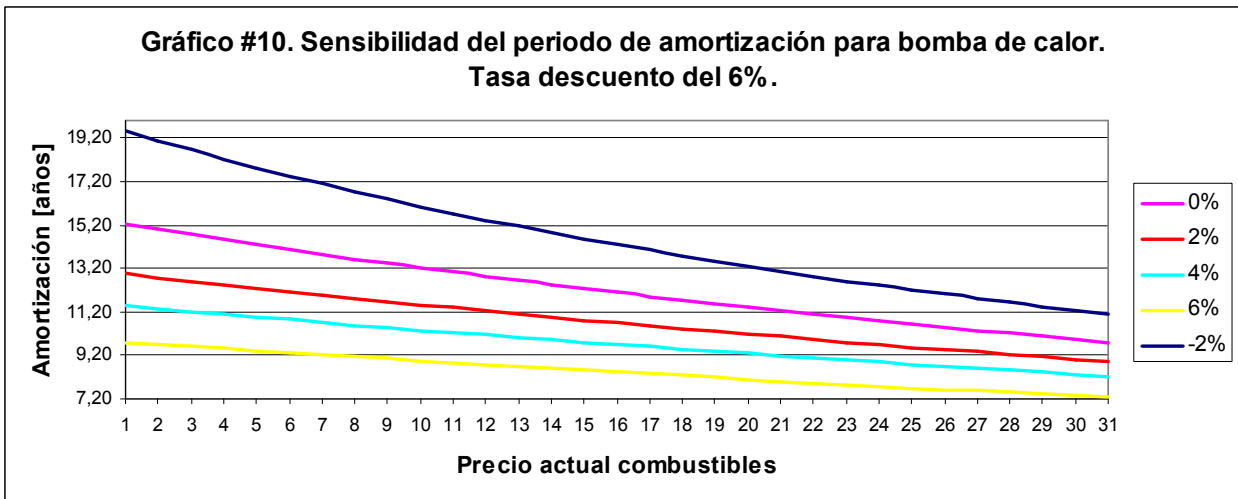
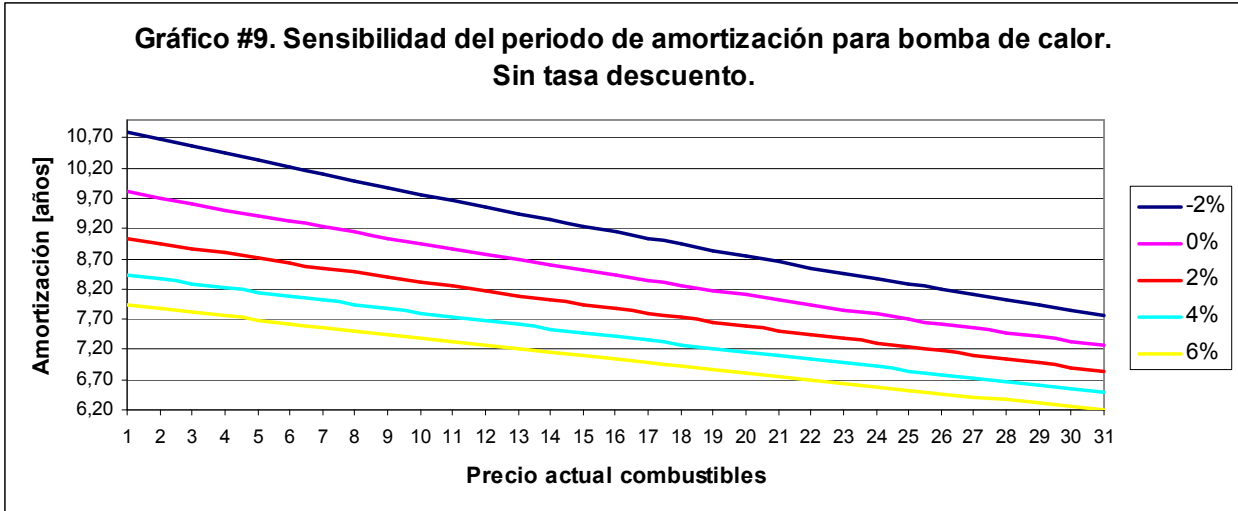


**Gráfico #8. Sensibilidad del periodo de amortización para solución aislación N°2.
Tasa decuento del 6%.**

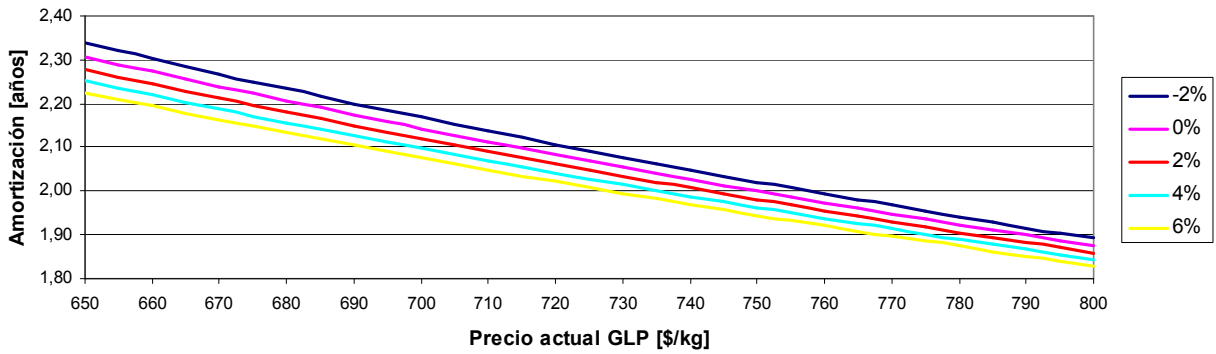


➤ Calefacción

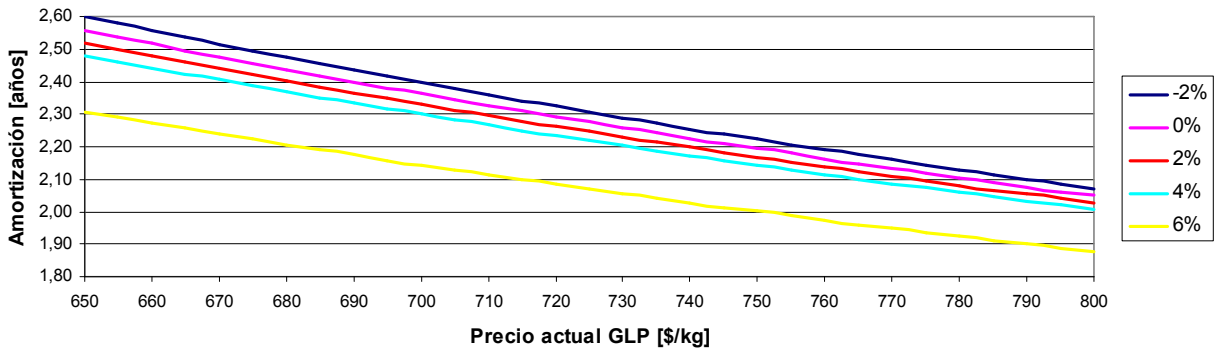
- Casa B



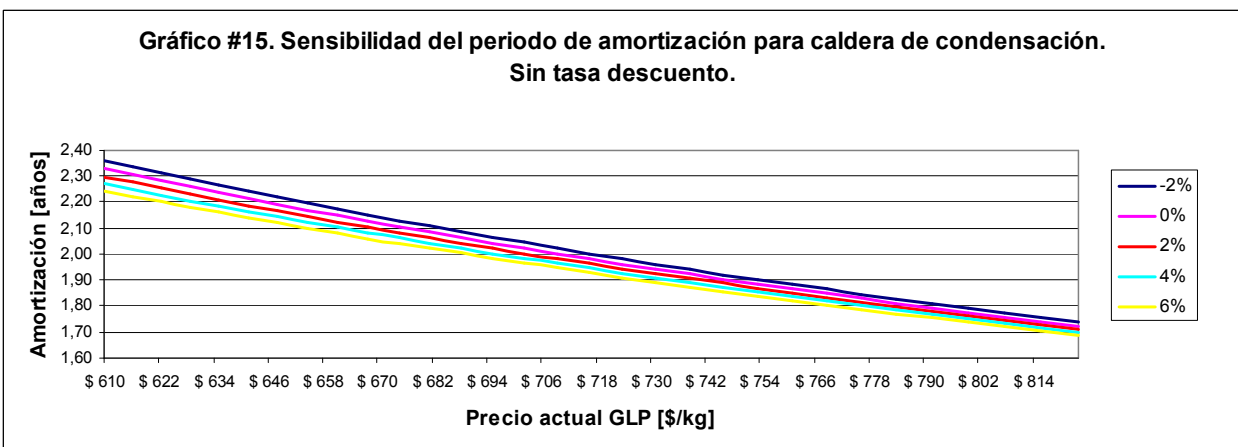
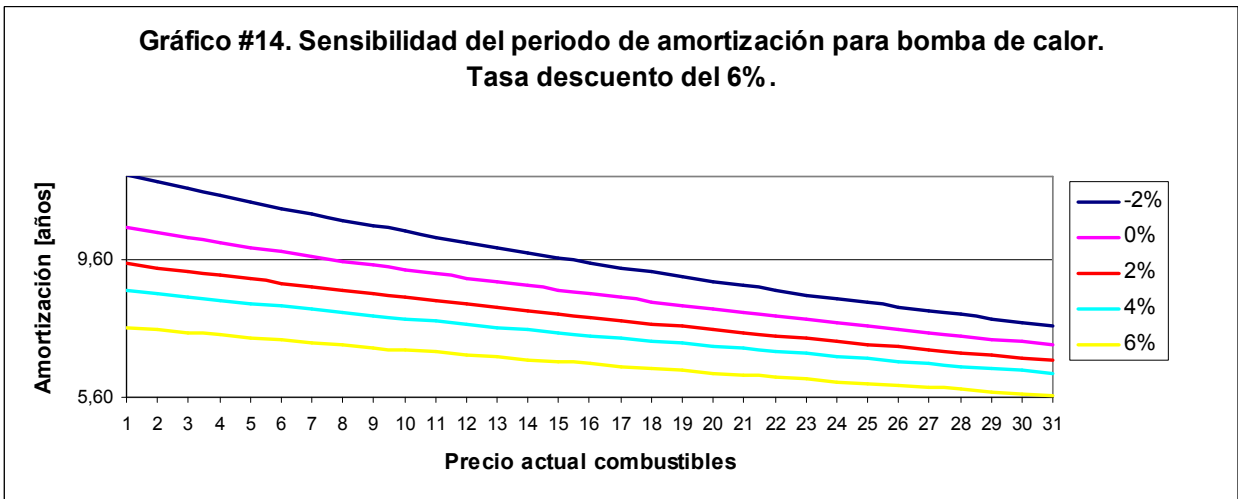
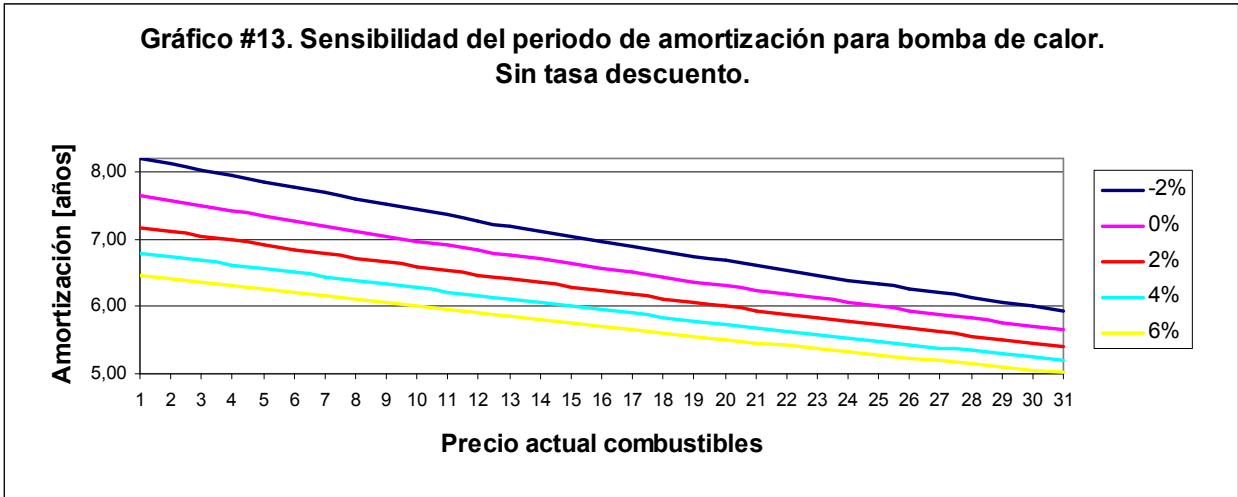
**Gráfico #11. Sensibilidad del periodo de amortización para caldera condensación.
Sin tasa descuento.**



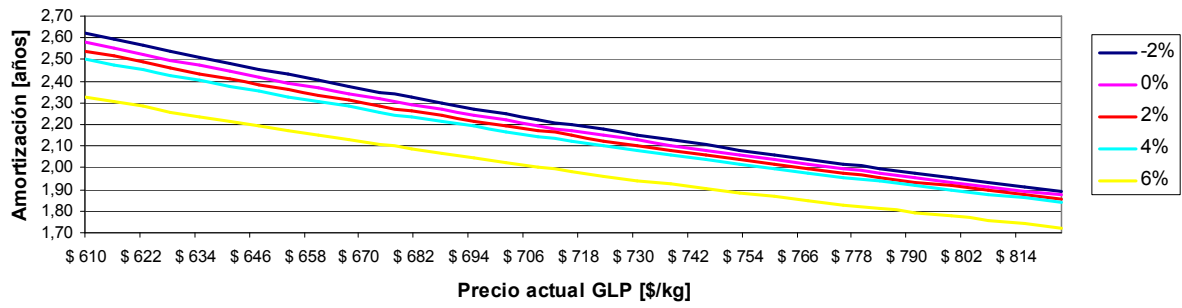
**Gráfico #12. Sensibilidad del periodo de amortización para caldera condensación.
Tasa descuento del 6%.**



- Casa C

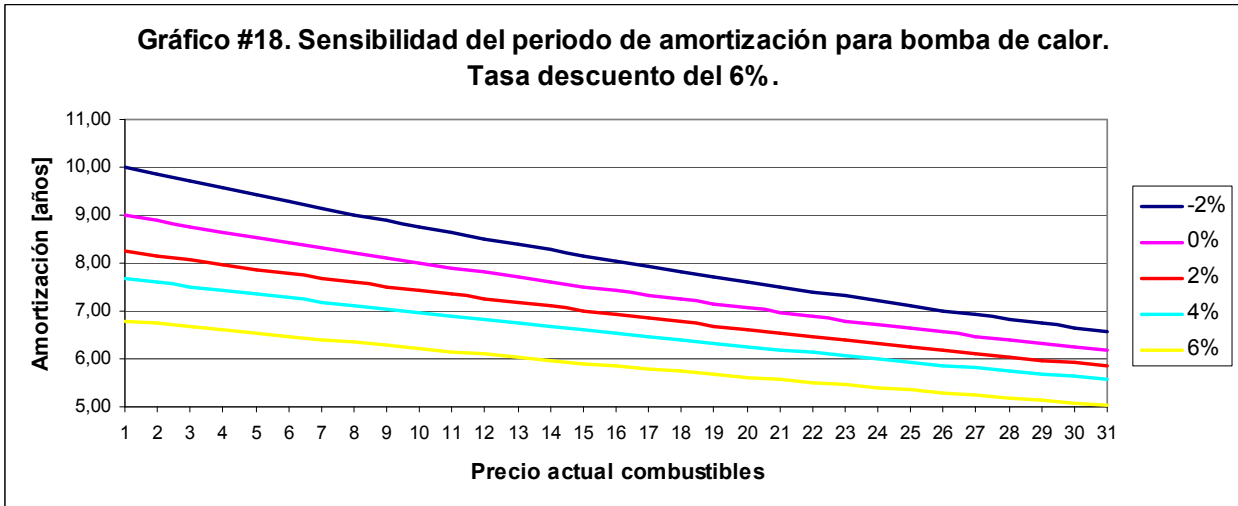
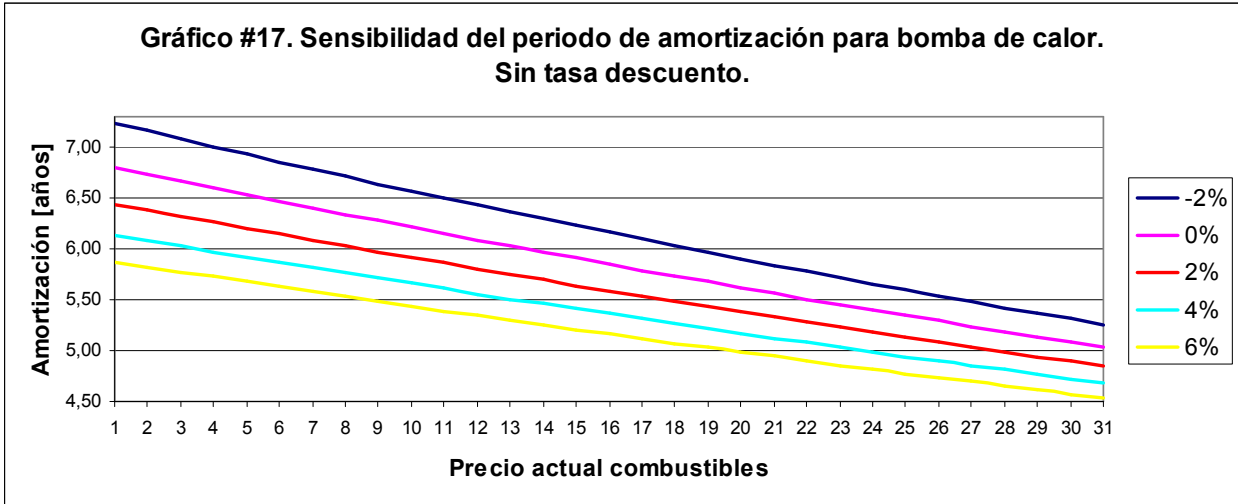


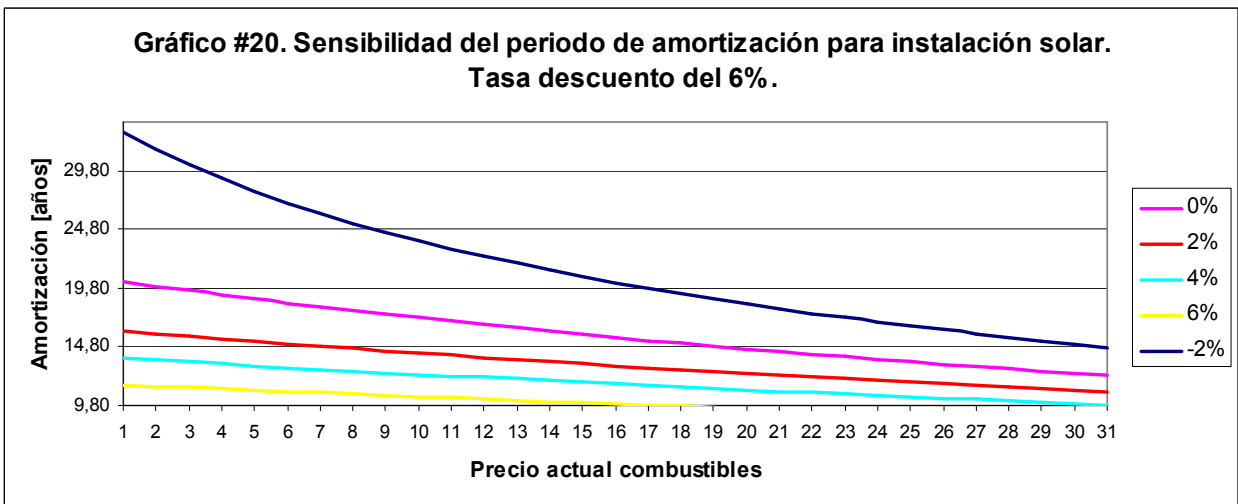
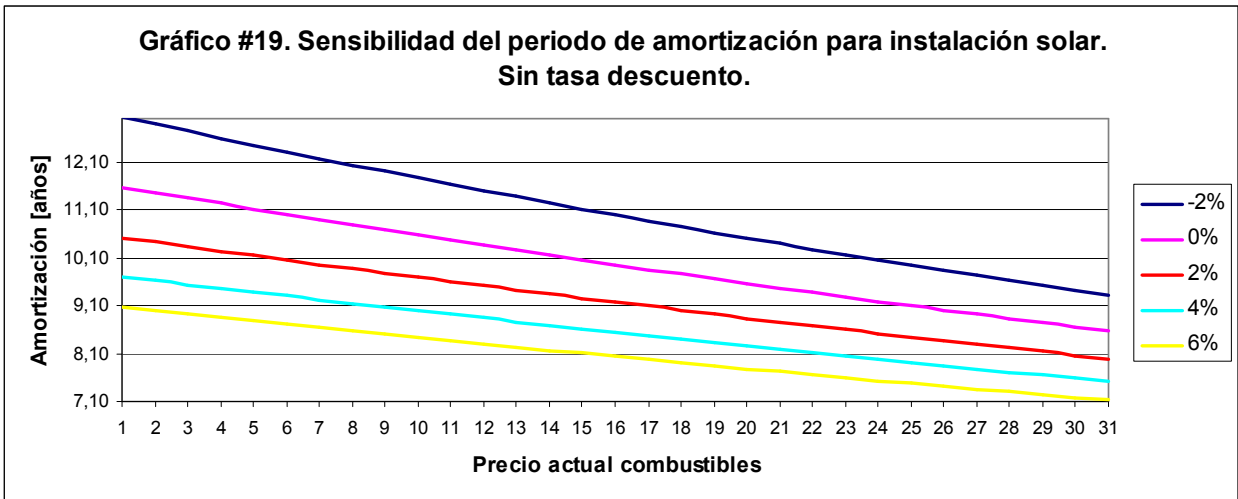
**Gráfico #16. Sensibilidad del periodo de amortización para caldera de condensación.
Tasa descuento del 6%.**



➤ A.C.S

- Casa B





Ejemplo de uso gráficos de sensibilidad:

Si se tiene un precio actual de combustible de \$760 para el GLP, y consideramos que se tendrá un escenario de aumento en el precio del combustible de un 4% anual, entonces el periodo de recuperación para el caso de aislación del gráfico #1 en la casa B, se tiene que el periodo de recuperación sería de un 10,7 años aproximadamente.

**Gráfico #1. Sensibilidad del periodo de amortización para solución aislación N°1.
Sin tasa descuento.**

