

CPB2008

Análisis de la Factibilidad de Colectores Solares Térmicos en Edificios Modelo de Ciudad Parque Bicentenario



gtz



Análisis de la Factibilidad de Colectores Solares Térmicos en Edificios Modelo de Ciudad Parque Bicentenario

Para:

Ciudad Parque Bicentenario (CPB)
Av. Pedro de Aguirre, Cerda 6100, Cerrillos, Santiago, Chile
www.ciudadparquebicentenario.cl

Publicado por:

Proyecto Energías Renovables
No Convencionales (CNE/GTZ)

Comisión Nacional de Energía (CNE)
Teatinos 120, piso 7, Santiago, Chile
www.cne.cl

Deutsche Gesellschaft für
Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
Federico Froebel 1776, Providencia, Santiago, Chile
www.gtz.de

Coordinación y edición:

Trudy Könemund, GTZ
Paola Méndez, GTZ
Mario Reyes, CPB
Javier Ruiz-Tagle, CPB

Consultores:

Poch Ambiental, Santiago, Chile
Transénergie, Ecully, Francia



Energie pour el desarrollo Sostenible





El presente estudio fue preparado por encargo del proyecto “Energías Renovables No Convencionales” implementado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Esta actividad se desarrolló en el marco de un convenio entre el Servicio de Vivienda y Urbanización Región Metropolitana, CNE y GTZ. Sin perjuicio de ello, las conclusiones, opiniones y recomendaciones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GTZ. De igual forma, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar no constituye en ningún caso una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GTZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando se cite la fuente de referencia.

A c l a r a c i ó n

» Índice

Lista de abreviaciones.....	5
Factores de conversión.....	5
1. Introducción.....	6
1.1 Contenidos del informe.....	6
1.2 Presentación de Ciudad Parque Bicentenario.....	7
1.3 Presentación de edificios.....	8
1.4 Ubicación y condiciones climatológicas.....	9
2. Resumen técnico–económico de la factibilidad de implementación de colectores solares térmicos en edificios modelo de CPB.....	11
2.1 Edificio Modelo tipo 1 (ACS).....	11
2.2 Edificio Modelo tipo 1 (ACS y calefacción).....	12
2.3 Edificio Modelo tipo 2 (ACS).....	12
3. Factibilidad técnico-económica de un sistema solar térmico para el calentamiento de agua sanitaria en edificios modelo de CPB.....	13
3.1 Principio de funcionamiento de un sistema solar para el calentamiento de agua en un edificio colectivo.....	13
3.2 Dimensionado de la instalación.....	14
3.3 Hipótesis.....	16
3.4 Resultados.....	17
3.5 Descripción e implementación provisional de los materiales solares.....	20
3.6 Análisis económico.....	27
3.7 Conclusiones.....	39
4. Factibilidad técnico-económica de un sistema solar térmico combinado para el calentamiento de agua sanitaria y la calefacción en el Edificio Modelo tipo 1.....	42
4.1 Principio de funcionamiento de un sistema solar para el calentamiento de agua sanitaria y calefacción.....	42
4.2 Dimensionado de la instalación.....	43
4.3 Hipótesis.....	44
4.4 Resultados.....	45
4.5 Descripción e implementación provisional de los materiales del sistema solar combinado.....	47
4.6 Análisis económico.....	49
4.7 Conclusiones.....	55
Anexo 1: Esquema hidráulico de las instalaciones solares (ACS).....	57

» Lista de abreviaciones

\$	Peso Chileno
AAU	Assigned Amount Unit
ACS	Agua Caliente Sanitaria
cal	caloría
CNE	Comisión Nacional de Energía
CO ₂	Dióxido de carbono
CPB	Ciudad Parque Bicentenario
CST	Colectores Solares Térmicos
dba	decibelio audible
EU ETS	European Union Emission Trading Scheme
GLC	Gas licuado comprimido
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH Cooperación técnica alemana
IGH	Irradiación solar global sobre el plano horizontal
IPCC	International Panel on Climate Change
J	Joule
K	grados Kelvin
kcal	kilocaloría
kJ	kilojoule
kWh	kilowatthora
l	litro
m	metro
m ²	metro cuadrado
mg	miligramo
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
TIR	Tasa interna de retorno
TJ	Terajoule
UF	Unidad de Fomento
VAN	Valor actual neto
W	Watt

Factores de conversión

1 J	0,2778 x 10 ⁻⁶ kWh
1 kcal	4.190 J
1 kWh	3,6 x 10 ⁶ J





1. Introducción

1.1 Contenidos del informe

El presente estudio entrega un análisis de la factibilidad de Colectores Solares Térmicos (CST) para cubrir parte de la demanda energética en edificios modelo residenciales de media densidad con programa de vivienda para ingresos diversos, que serán construidos en Ciudad Parque Bicentenario (CPB).

El objetivo general del presente estudio es determinar la factibilidad técnico-económica de integrar colectores solares térmicos para cubrir parte de la demanda energética de agua caliente sanitaria (ACS) en dos edificios modelo residenciales de media densidad con programa de vivienda para ingresos diversos emplazados en Ciudad Parque Bicentenario y, en base a esto, elaborar criterios de evaluación para la integración de CST en la licitación de terrenos para edificios residenciales.

Además, se analizará la factibilidad técnico-económica de implementar colectores solares térmicos para cubrir parte de la demanda energética de agua caliente sanitaria y de calefacción en el Edificio Modelo tipo 1 del proyecto Ciudad Parque Bicentenario.

Los elementos presentados en la presente publicación, permiten evaluar el potencial solar de los dos edificios estudiados. Es importante destacar que dichos edificios aún no cuentan con un diseño definitivo, por lo que se hace entrega de recomendaciones o criterios para la integración de los sistemas solares al diseño de arquitectura final de los edificios residenciales que serán construidos en CPB.

Si se opta por la solución solar, considerando las recomendaciones en el diseño de arquitectura final de los edificios, garantizará no sólo una mayor factibilidad técnica de los sistemas solares, sino que también ajustará al mínimo el monto de la inversión.



1.2 Presentación de Ciudad Parque Bicentenario

Ciudad Parque Bicentenario es un proyecto urbano impulsado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en el sector sur-poniente de Santiago que consiste en la reconversión de los terrenos antes ocupados por el ex - aeródromo de Los Cerrillos y comprende 250 hectáreas aproximadamente, localizadas en la zona sur-poniente del Área Metropolitana de Santiago, al interior del Anillo de Américo Vespucio.

A través de esta iniciativa se busca consolidar una nueva forma de “hacer ciudad” mediante la participación del sector público y privado (gestión urbana mixta), con el objetivo de construir barrios socialmente integrados, con excelente dotación de equipamientos y servicios urbanos, junto a una eficiente conectividad con el resto de la ciudad.

El proyecto se inicia en 2001, con un Concurso Internacional de Ideas, en el cual participaron cerca de 70 equipos profesionales. El proyecto ganador marcó los lineamientos para la posterior realización del “Plan Maestro Portal Bicentenario”, que fue elaborado durante los años 2004 y 2005. El Plan Maestro constituye la orientación para el desarrollo del proyecto en sucesivas etapas, ya que contiene la imagen objetivo, normativa urbanística, plan de implementación y estrategia de ventas www.ciudadparquebicentenario.cl.

CPB comienza con la construcción del parque central de 50 hectáreas que se extiende longitudinalmente por todo el terreno, que aprovecha la antigua pista del ex - aeródromo como boulevard de encuentro y crea una laguna artificial en el extremo sur. Se contempla la plantación de una variedad importante de especies arbóreas y que cuenta con fuente propia de riego.

Se muestra a continuación, la imagen objetivo construida para el Plan Maestro de CPB. El proyecto se ubica entre la Avenida Pedro Aguirre Cerda, Calle Pablo Neruda (continuación de Lo Errázuriz), Avenida Departamental y autopista General Velásquez.

Figura 1: Imagen objetivo del proyecto Ciudad Parque Bicentenario



Fuente: Dirección Ejecutiva, Ciudad Parque Bicentenario, 2008

1.3 Presentación de edificios

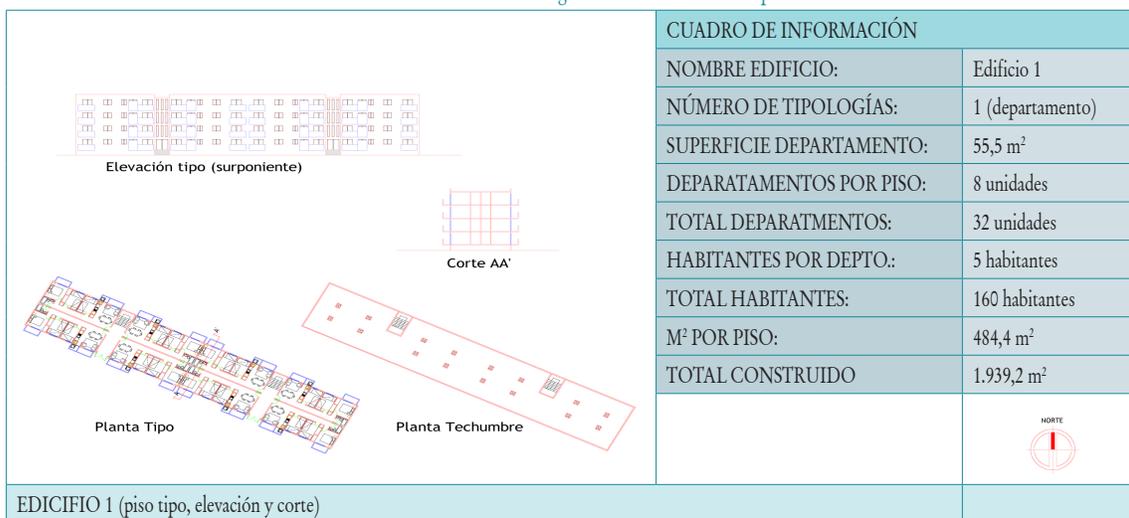
En el presente estudio se analizará el potencial solar de dos edificios modelo, diseñados por arquitectos de CPB, los cuales son presentados en la siguiente figura:

- **El Edificio Modelo tipo 1:**

Es un edificio de 4 pisos de altura. Las plantas son de unos 485 m² aprox., divididas en 8 departamentos con una capacidad promedio de 5 habitantes por departamento (capacidad total de 160 habitantes).

La sala de caldera estará ubicada en la azotea. La producción de agua caliente tradicional será centralizada y se realizará mediante calderas.

Figura 2: Edificio Modelo tipo 1



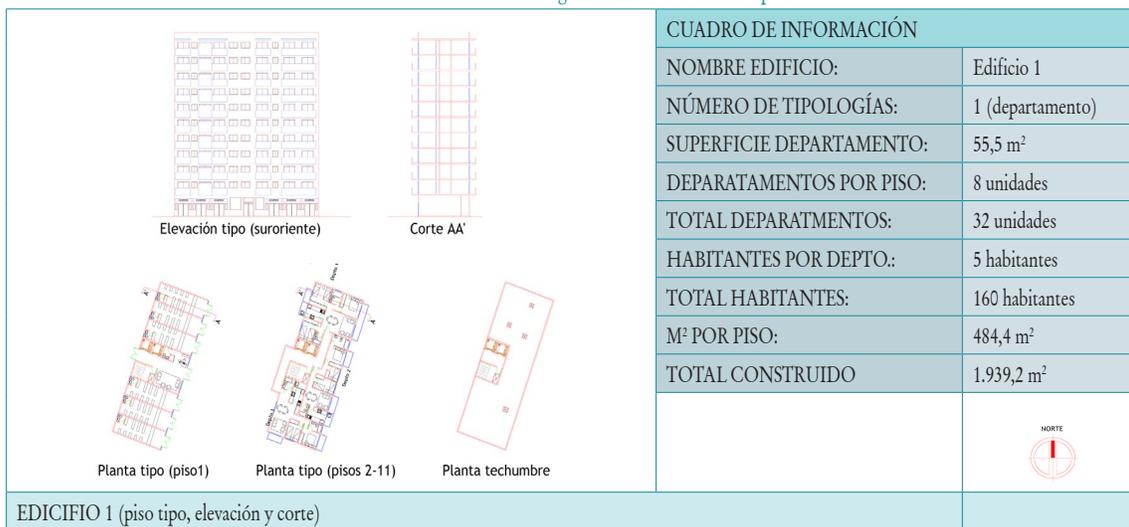
Fuente: Arquitectos CPB, MINVU

- **El Edificio Modelo tipo 2:**

Es un edificio de 11 pisos de altura. Las plantas son de 233 m² aprox., contará con un total de 30 departamentos para una capacidad total estimada de 160 habitantes.

La sala de calderas estará ubicada en el primer piso. La producción de agua caliente tradicional será centralizada y se realizará mediante calderas.

Figura 3: Edificio Modelo tipo 2



Fuente: Arquitectos CPB, MINVU

1.4 Ubicación y condiciones climáticas

Ciudad Parque Bicentenario se ubica en Santiago de Chile según las siguientes coordenadas geográficas:

Longitud: 70°42'
 Latitud: 33°30'
 Altura: 518m

Los datos de radiación solar considerados a continuación resultan de la base de datos de la estación meteorológica de Santiago Pudahuel de la WRDC¹, patrocinada por la Organización Mundial Meteorológica (WMO). Esta base está alimentada regularmente por datos de radiación solar provistos por la Dirección Meteorológica de Chile desde los años 80.

Los datos de la temperatura exterior provienen de la Dirección Meteorológica de Chile.

Las temperaturas del agua de la red están estimadas a partir de las temperaturas exteriores según el método EMS2 (European Simplified Method – DG XII):

$$T_{\text{agua}} = (T_{\text{exterior}} + T_{\text{exterior media}}) / 2$$

Con

- T_{agua} , la temperatura promedio del agua de la red mensual
- T_{exterior} , la temperatura exterior promedio del mismo mes
- $T_{\text{exterior media}}$, la temperatura exterior promedio anual.

¹ Centro Mundial de Datos de Radiación, WRDC por sus siglas en inglés.

La tabla siguiente presenta los promedios mensuales de la temperatura exterior para cada mes del año:

Temperaturas exteriores mensuales promedio (°C)												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T°	21,0	20,2	18,4	14,7	11,0	9,2	8,4	9,8	11,9	14,5	17,4	19,8

Promedio anual de temperatura: 14,7°C

Los datos mensuales de la irradiación solar sobre un plano horizontal y la temperatura del agua de la red están expuestos en las tablas siguientes:

Datos mensuales de la radiación solar (kWh/m²/día)												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
IGH	7,78	6,89	5,36	3,64	2,47	1,83	1,83	2,89	4,11	5,64	7,31	7,86

I_{GH}: Irradiación solar global sobre el plano horizontal

Temperatura del agua de la red (°C)												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T _{agua}	17,8	17,4	16,5	14,7	12,8	11,9	11,5	12,2	13,3	14,6	16,0	17,2

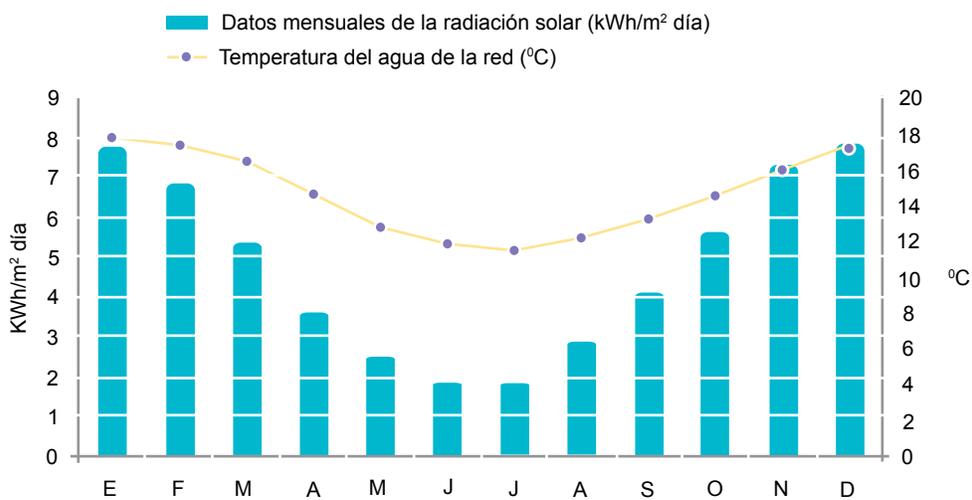


Gráfico 1: Irradiación solar horizontal y temperatura promedio del agua de la red de la estación meteorológica de Pudahuel, Santiago



2. Resumen técnico–económico de la factibilidad de implementación de colectores solares térmicos

2.1 Edificio Modelo tipo 1 (ACS)

<i>Superficie colectora (m²)</i>	50
<i>Volumen de acumulación (litros)</i>	6.000
<i>Necesidades de ACS (kWh/año)</i>	95.678
<i>Aportes solares (kWh/año)</i>	48.285
<i>Tasa de cobertura solar anual</i>	50%
<i>Necesidades de energía de respaldo (kWh/año)</i>	47.393
<i>Gas licuado aborrado (kWh/año)</i>	60.356
<i>Productividad solar (kWh/m²/año)</i>	966
<i>Costo de inversión (UF)</i>	1.200
<i>Costo de inversión (M\$)</i>	24.011
<i>Costo de mantenimiento (UF/año)</i>	4,5
<i>Valor presente neto de realizar la inversión (UF/año)</i>	entre 541 y 3.390
<i>Tiempo de retorno sobre inversión (años)</i>	entre 6 y 9
<i>Emisiones de CO₂ evitadas (toneladas CO₂ en 20 años)</i>	273



2.2 Edificio Modelo tipo 1 (ACS y calefacción)

<i>Superficie colectora (m²)</i>	138
<i>Volumen de acumulación para la producción de ACS (litros)</i>	6.000
<i>Necesidades totales (kWh/año)</i>	180.854
<i>Aportes solares (kWh/año)</i>	85.613
<i>Tasa de cobertura solar anual</i>	47
<i>Gas licuado aborrado (kWh/año)</i>	107.016
<i>Necesidades de energía de respaldo (kWh/año)</i>	95.241
<i>Productividad solar (kWh/m²/año)</i>	620
<i>Costo de inversión (UF)</i>	4.314
<i>Costo de mantenimiento (UF/año)</i>	9
<i>Ahorros generados por la instalación solar (UF/año)</i>	311
<i>Tiempo de retorno sobre inversión (años)</i>	no se recupera la inversión
<i>Emisiones de CO₂ evitadas (toneladas CO₂ en 20 años)</i>	418

2.3 Edificio Modelo tipo 2 (ACS)

<i>Superficie colectora (m²)</i>	58
<i>Volumen de acumulación (litros)</i>	6.000
<i>Necesidades de ACS (kWh/año)</i>	95.678
<i>Aportes solares (kWh/año)</i>	48.312
<i>Tasa de cobertura solar anual</i>	50%
<i>Necesidades de energía de respaldo (kWh/año)</i>	47.366
<i>Gas licuado ahorrado (kWh/año)</i>	60.390
<i>Productividad solar (kWh/m²/año)</i>	833
<i>Costo de inversión (UF)</i>	1.740
<i>Costo de inversión (M\$)</i>	34.816
<i>Costo de la mantención (UF/año)</i>	4,5
<i>Valor presente neto de realizar la inversión (UF)</i>	entre 3 y 2.853
<i>Tiempo de retorno sobre inversión (años)</i>	entre 9 y 20
<i>Emisiones de CO₂ evitadas (toneladas CO₂ en 20 años)</i>	273

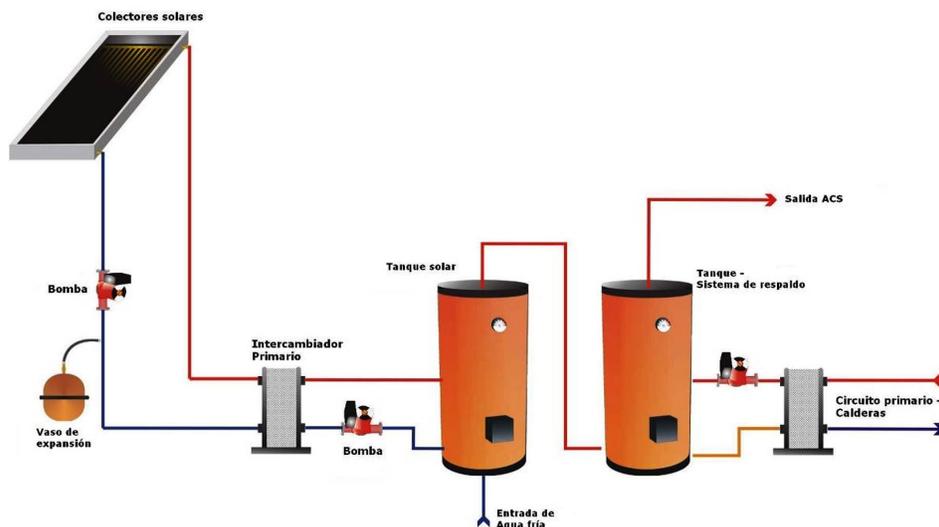


3. Factibilidad técnico-económica de un sistema solar térmico para el calentamiento de agua sanitaria en edificios modelo de Ciudad Parque Bicentenario

3.1 Principio de funcionamiento de un sistema solar para el calentamiento de agua en un edificio colectivo

Los edificios modelos del tipo 1 y del tipo 2 presentan ciertas similitudes en términos de necesidades de ACS y de su sistema de producción de ACS de energía tradicional. Por lo tanto, se recomienda la implementación de sistemas solares de características técnicas similares y cuyo principio de funcionamiento se detalla a continuación:

Figura 4: Sinóptico de las instalaciones solares previstas para el calentamiento de agua sanitaria del Edificio Modelo tipo 1 y del Edificio Modelo tipo 2



El sistema solar térmico está previsto para precalentar el agua caliente sanitaria del edificio.

El agua alcanza la temperatura deseada en dos etapas, en una primera etapa se precalienta el agua mediante el sistema solar térmico y, en una segunda etapa, el sistema de respaldo de energía tradicional completa los aportes solares (cuando es necesario) hasta que el agua alcance la temperatura de consumo deseada.

Los colectores solares, orientados e inclinados de manera óptima para favorecer su productividad anual (según restricciones del sitio de implementación), captan la energía solar y la transmiten al fluido caloportador (mezcla de agua con líquido anticongelante) que circula en su seno. Este fluido transfiere el calor recibido al agua sanitaria del circuito secundario a través del intercambiador de calor del circuito primario que se acumula en el tanque de almacenamiento.

Luego el agua precalentada pasa por el sistema de respaldo de energía tradicional, que en este caso, debería contar con un tanque y un intercambiador de calor conectado al circuito primario de las calderas. El tanque del sistema tradicional será conectado en serie y a la salida del tanque solar. Aquí es donde se elevará, en caso de que sea necesario, la temperatura del agua hasta la temperatura deseada.

El sistema de respaldo se dimensiona de igual manera, que sea conectado o no a un sistema solar, para garantizar la producción de la totalidad de las necesidades de ACS, por ejemplo, en caso de días nublados.

El funcionamiento del sistema solar es optimizado por la unidad de control que controla la activación o el paro de las bombas de los circuitos solares primario y secundario.

3.2 Dimensionado de la instalación

3.2.1 Estimación de las necesidades de agua caliente sanitaria

Para este estudio se requiere evaluar el consumo de ACS futura de los edificios modelos seleccionados.

Para diseñar una instalación solar es importante no sobrevalorar las necesidades de ACS. Se recomienda considerar valores iguales o ligeramente inferiores a la realidad para evitar sobredimensionar una instalación solar que perdería entonces su rentabilidad y su fiabilidad técnica.

Cuando se diseña una instalación clásica de producción de ACS, se consideran valores superiores a la realidad de consumo para asegurar una producción continua de ACS, incluso en el peor de los escenarios (frío importante y máximo uso). Por lo tanto, para diseñar un sistema solar térmico, es preferible no usar los valores de consumos de ACS de la ingeniería térmica clásica, ya que son a menudo sobreestimados; y, cuando existen varios datos para un mismo consumo de ACS, siempre se elige lo más bajo.

A nivel de un departamento, los datos de consumo de agua se evalúan en base a una tasa del consumo diario promedio de agua caliente a 55°C por persona. Se estima a 35 litros por día y por persona².

Por falta de información más detallada sobre una eventual variación mensual del consumo de ACS, se considera un consumo continuo a lo largo de todo el año.

Se estima para los dos edificios un número de habitantes igual a 160 personas. (véase Figura 3 y Figura 4). Se considera entonces un consumo promedio de ACS a 55°C de 5.600 litros por día para cada uno de los dos edificios. Se determina entonces las necesidades energéticas mensuales equivalentes en kWh con el cálculo siguiente:

$$N_{ACS} = c_p \times V_{ACS} \times (55 - T_{\text{agua red}})$$

Siendo:

N_{ACS}	Necesidades energéticas para ACS en kWh/mes
c_p	Capacidad térmica del agua, $c_p=1,16 \text{ Wh} / (l^\circ\text{K})$
V_{ACS}	Volumen promedio mensual de ACS en litros
$T_{\text{agua red}}$	Temperatura promedio mensual del agua de la red (definida anteriormente en el apartado 1.4) en °K

² A priori, no están disponibles mediciones de consumo de ACS en viviendas en Chile. Por lo tanto, se consideraron los valores habitualmente utilizados en Europa recomendados en el manual de conceptualización de instalaciones solares "Eau chaude solaire, Manuel pour la conception, le dimensionnement et la réalisation des installations collectives" ADEME, 2002.



La repartición mensual del consumo de ACS estimado y las necesidades energéticas útiles correspondientes se presentan en la siguiente tabla:

Consumo de ACS a 55°C y necesidades de energía útil correspondientes												
Edificio Modelo tipo 1 y tipo 2 -												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Consumo (litros/día)	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600
Necesidades (kWhmes)	7.646	6.824	7.606	7.565	8.119	8.160	8.643	8.673	8.316	8.391	7.867	7.868

Las necesidades de energía útil para el calentamiento de agua sanitaria por edificio se evaluaron a 95.678 kWh/año.

3.2.2 Control y/o reducción del consumo en ACS

La implementación de sistemas de energías renovables en edificios y viviendas es uno de los componentes de la eficiencia energética. De hecho, considerar una instalación solar térmica en un edificio donde se consume el ACS de manera irracional representa una aberración.

Por lo tanto, se recomienda la instalación de accesorios específicos que permiten un control eficiente del consumo de ACS. Por ejemplo:

Cabezal de ducha ahorrador: estas duchas llevan incorporadas un reductor de caudal que permite un ahorro de hasta 50%.

Perlizadores para los grifos: estos dispositivos que se adaptan al grifo produciendo una incorporación de aire al agua, por lo que se aumenta el volumen y se reduce el caudal de agua utilizada. Se consiguen ahorros en torno al 40%.

Cabe notar además, que la implementación de dichos dispositivos de control del consumo de agua caliente permitirá, limitando el consumo de ACS, aumentar el grado de la cobertura solar.

3.2.3 Método de cálculo

El dimensionado de la instalación solar se realizó mediante el software de dimensionado SOLO³. El programa SOLO es la transcripción informática del “Método mensual de evaluación de los resultados térmicos de las instalaciones solares de producción de agua caliente sanitaria” desarrollado por el CSTB (Centro Científico y Técnico del Edificio francés) con el apoyo de la ADEME (Agencia de Medio Ambiente y de Eficiencia Energética francesa).

Según las características del sitio (localización, datos meteorológicos, sombra, consumo de ACS, etc.), el software deduce la tasa de cobertura solar, el aporte solar anual, así como la productividad anual de los colectores.

Una cobertura solar del 50% significa que la instalación solar térmica produce el 50% de la energía necesaria para calentar el volumen de ACS considerado, en caso de demanda de ACS continua a lo largo del año y en latitudes de aproximadamente 30-50°; una cobertura del 50% representa un óptimo técnico y económico validado por consultores europeos. Sin embargo,

³ Este software es gratuito y se encuentra disponible, en francés, en la página internet: <http://software.cstb.fr/soft/present.asp?langue=fr&m=lpr&context=Solo2000&imprimer=&cd=>



en caso de que existan restricciones en términos de implementación de los colectores y/o del tanque solar, se puede considerar una cobertura inferior.

Alcances y límites del estudio de predimensionado

- Superficie útil total

El predimensionado de la superficie útil total de los colectores fue determinado en base a estimaciones de consumo de ACS, de las condiciones climáticas disponibles en el lugar de implementación de los colectores, así como las características técnicas de un colector tipo. No obstante, la superficie útil total deberá ser redimensionada por el proveedor de equipos solares oferente en función de las características de los componentes que propondrá.

- Aportes solares

Los valores de contribución solares se presentan a título informativo a partir de los resultados del predimensionado realizado con el colector tipo genérico (véase apartado siguiente). El proveedor oferente deberá establecer una nota de cálculo de contribución energética solar en base a los componentes que haya seleccionado (integrando específicamente las características del colector propuesto). El oferente deberá satisfacer la contribución energética solar estimada en el presente estudio con una diferencia no mayor a -5%.



3.3 Hipótesis

3.3.1 Tipo de colector

En el marco del estudio se considera un colector plano selectivo con cubierta de vidrio genérico con las características técnicas estándares siguientes:

Coefficiente de transmisión (coeficiente K) : 4,5 W/(m²K)
Factores ópticos (coeficiente B) : 0,75

3.3.2 Inclinación y orientación de los colectores

En cada edificio, los colectores se implementarán sobre estructuras metálicas fijadas a la techumbre.

Inclinación: Considerando una ocupación constante del edificio a lo largo de todo el año, se inclinará los colectores de manera de privilegiar un aprovechamiento de la radiación solar a lo largo de todo el año, es decir 35°.

Orientación: Para facilitar la implementación y optimizar la superficie disponible en techumbre para la implementación de colectores, se orientarán los colectores según la orientación del edificio.

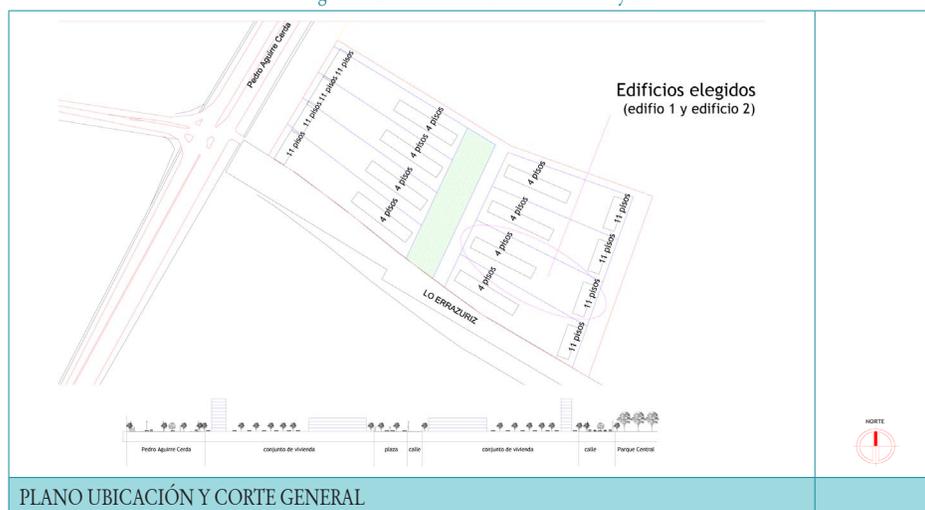
	Edificio Modelo tipo 1	Edificio Modelo tipo 2
Inclinación	35°	35°
Orientación	Norte -27° Azimut 153°	Sur +70° Azimut 290°

3.3.3 Sombra – obstáculos

Una visita realizada a las dependencias de Ciudad Parque Bicentenario permitió confirmar que no existen obstáculos mayores en la proximidad del sitio en estudio (cerros, edificios, etc.) que podrían provocar sombras en los lugares de implementación considerados.

Además, la ubicación y la organización del lote de edificios considerado para los edificios modelos 1 y 2 (véase Figura 4 a continuación) garantizan que las cubiertas de los dos edificios serán totalmente despejadas.

Figura 5: Lote de los edificios modelo 1 y 2



Fuente: Arquitectos CPB, MINVU

3.4 Resultados

3.4.1 Superficie colectora y volumen del tanque solar

Edificio Modelo tipo 1		
Necesidades energéticas anuales	95.678	kWh/año
Superficie colectora	50	m ²
Tanque solar	6.000	litros
Cobertura solar anual	50	%

Edificio Modelo tipo 2		
Necesidades energéticas anuales	95.678	kWh/año
Superficie colectora	58	m ²
Tanque solar	6.000	litros
Cobertura solar anual	50	%

3.4.2 Respaldo energético

Tal como se ha mencionado anteriormente, se supone que los sistemas de respaldo de los dos tipos de edificios serán del mismo tipo, es decir, un tanque conectado a un intercambiador de calor alimentado por calderas a gas licuado.

NOTA: Puede ocurrir que la temperatura del agua a la salida del tanque solar sobrepase la temperatura de distribución deseada. Para evitar riesgos de quemaduras y el mal funcionamiento del sistema de respaldo debido a la alta temperatura, es necesario instalar a la salida del tanque solar una válvula mezcladora de regulación termostática automática. (La temperatura de servicio del equipo se fijará de manera a minimizar el funcionamiento del sistema de respaldo).

3.4.3 Evaluación de la contribución energética de la instalación

Las tablas siguientes dan cuenta de los aportes mensuales solares por edificio. Incluyen:

- Las necesidades mensuales de energía útil para la producción de ACS a 55°C.
- La contribución del sistema solar: resultado de la simulación informática.
- La cobertura solar: aportes solares dividido por necesidades energéticas.
- El consumo de gas licuado evitado considerando el rendimiento de producción de ACS por el sistema de respaldo⁴ (aportes solares / 0,8).
- Aportes del sistema de respaldo: diferencia entre necesidades energéticas y los aportes solares.

Edificio Modelo tipo 1

Balance energético mensual													
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Necesidades energéticas (kWh)	7.646	6.824	7.606	7.565	8.119	8.160	8.643	8.673	8.316	8.391	7.867	7.868	95.678
Aportes solares (kWh)	6.688	5.289	4.354	2.700	1.861	1.373	1.442	2.277	3.304	5.112	6.821	7.064	48.285
Cobertura solar (%)	87%	78%	57%	36%	23%	17%	17%	26%	40%	61%	87%	90%	50%
Gas ahorrado (kWh)	8.360	6.611	5.443	3.375	2.326	1.716	1.803	2.846	4.130	6.390	8.526	8.830	60.356
Aportes del sistema de respaldo (kWh)	958	1.535	3.252	4.865	6.258	6.787	7.201	6.396	5.012	3.279	1.046	804	47.393

Se estima que la cantidad de gas licuado que el sistema solar permite ahorrar en el Edificio Modelo 1 es de 60.356 kWh por año.

⁴ El rendimiento del sistema de respaldo para la producción de ACS se estima en 0,8.

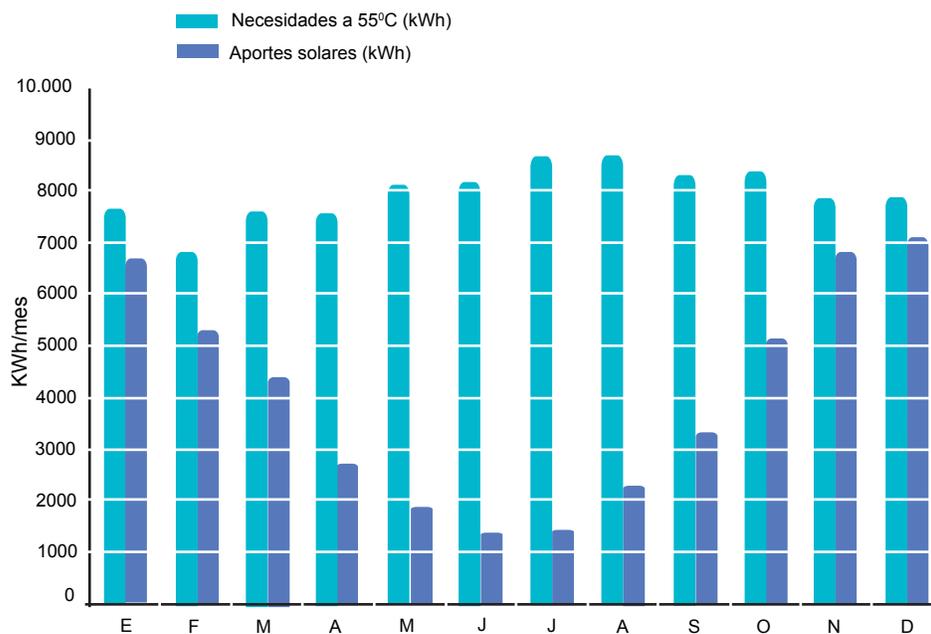


Gráfico 2: Necesidades energéticas mensuales totales versus aportes solares mensuales totales, Edificio Modelo 1

La productividad de la instalación solar del Edificio Modelo 1 se estima en 966 kWh/m² por año.

Edificio Modelo tipo 2

Balance energético mensual													
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Necesidades energéticas (kWh)	7.646	6.824	7.606	7.565	8.119	8.160	8.643	8.673	8.316	8.391	7.867	7.868	95.678
Aportes solares (kWh)	6.607	5.115	4.488	2.997	2.126	1.557	1.617	2.505	3.430	4.842	6.129	6.899	48.312
Cobertura solar (%)	86%	75%	59%	40%	26%	19%	19%	29%	41%	58%	78%	88%	50%
Gas ahorrado (kWh)	8.259	6.394	5.610	3.746	2.658	1.946	2.021	3.131	4.288	6.053	7.661	8.624	60.390
Aportes del sistema de respaldo (kWh)	1.039	1.709	3.118	4.568	5.993	6.603	7.026	6.168	4.886	3.549	1.738	969	47.366

Se estima que la cantidad de gas licuado que el sistema solar permite ahorrar en el Edificio Modelo 2 es de 60.390 kWh/año.



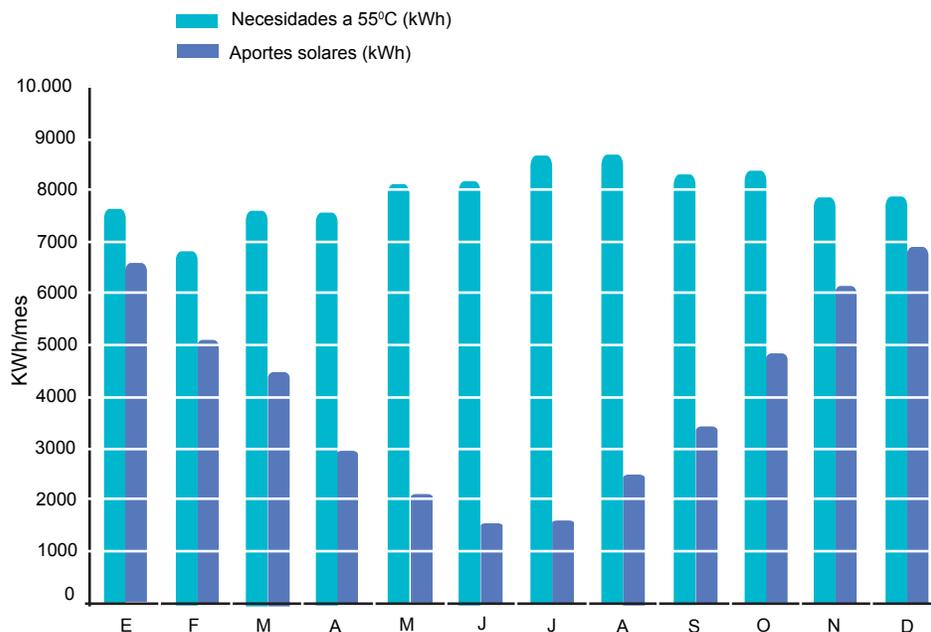


Gráfico 3: Necesidades energéticas mensuales totales versus aportes solares mensuales totales, Edificio Modelo 2

La productividad de la instalación solar del Edificio Modelo 2 se estima en 833 kWh/m² por año.

3.5 Descripción e implementación provisional de los materiales solares

Cada instalación solar térmica contará con equipos en la cubierta del edificio (colectores solares, canalización, etc.) y equipos en la sala de calderas (tanque, sistema de regulación, bomba, etc.)

3.5.1 Colectores solares

Se requerirán colectores solares de tipo plano con cubierta de vidrio templado y absorbedor selectivo. Los colectores deberán cumplir con las normas técnicas nacionales.

Se recomienda además que cuenten con certificaciones técnicas internacionales, tal como la certificación europea “Solar KeyMark” desarrollada por la European Solar Thermal Industry Federation junto con el Comité Europeo de Estandarización.

3.5.1-a Área de implementación

Los colectores solares se implementarán en las techumbres de cada edificio.

En el ejemplo de implementación se presentan propuestas de implementación realizadas en base a los planos de cubierta disponibles y dimensiones de colectores estándares.

Ahora, en el marco de este proyecto, cuando se tengan los planos definitivos de la cubierta por un lado y, luego los colectores seleccionados, será necesario realizar nuevamente este trabajo. Por lo tanto, se recomienda considerar los siguientes puntos para la selección de las futuras zonas de implementación:

- La implementación de los colectores no debe impedir la realización de obras posteriores de mantención y/o rehabilitación de la cubierta (repuesto de la capa de estanqueidad, mantención de los ductos de ventilación, mantención de antenas, etc.) y se recomienda respetar:
 - Una distancia mínima de 0,8 metros entre los colectores y un elemento de amplitud mayor a 1,20 metros (ej.: bordes de la cubierta, local técnico, etc.)
 - Una distancia mínima de 0,5 metros entre los colectores y un obstáculo de menor amplitud (chimenea, etc.).
- Los colectores se implementan en lugares despejados. Se recomienda mantener una distancia de 2,75 veces la altura de un obstáculo que podría provocar sombra entre el obstáculo y la superficie colectora.

3.5.1-b Disposición de los colectores

Los colectores se conectarán entre ellos para formar la superficie de captación requerida. Se conectarán los colectores según las preconizaciones del fabricante (número máximo por conjunto, distancia mínima entre cada conjunto para el espacio de dilatación).

El número de dichos conjuntos será optimizado y se implementarán sobre estructuras metálicas inclinadas a 35° respecto a la horizontal.

● Edificio Modelo tipo 1:

- Los colectores se orientarán al norte -27°, siguiendo el eje del edificio.
- El área disponible en techumbre es mayor a la superficie requerida para la implementación de la superficie colectora de óptimo técnico-económico: 50 m².
- Los colectores se disponen verticalmente y se instalan por batería ordenadas en hileras.
- A título informativo, se pueden considerar 25 colectores de dimensiones estándares, de superficie unitaria de 2 m² y de dimensión de 1 m por 2 m.

● Edificio Modelo tipo 2:

- Los colectores se orientarán al norte +70°, siguiendo el eje del edificio.
- El área disponible en techumbre es suficiente para la implementación de la superficie colectora del óptimo técnico-económico: 58 m².
- Los colectores se disponen verticalmente y se instalan por batería ordenadas en hileras.
- A título informativo y considerando colectores de dimensiones estándares (2m², 1 m por 2 m), no se instalarán más de 29 colectores dispuestos verticalmente por conjuntos de baterías ordenadas en hileras. Entonces se calcula una superficie total de 58 m².



3.5.1-c Ejemplo de implementación

En los siguientes ejemplos de implementación, las dimensiones de las baterías de colectores y la disposición de los colectores se proporcionan a título informativo. Se definirá la implementación final, cuando se conozca el tipo y marca de los colectores que serán instalados en cada uno de los edificios.

Para el presente ejemplo se consideran colectores solares térmicos de dimensiones estándares: 2 m² de superficie unitaria y de 2 m por 1 m.

Las siguientes figuras muestran ejemplos de implementación de los colectores solares sobre la cubierta del Edificio Modelo 1 y del Edificio Modelo 2.

Figura 6: Ejemplo de implementación de los colectores solares en techumbre - Edificio Modelo 1

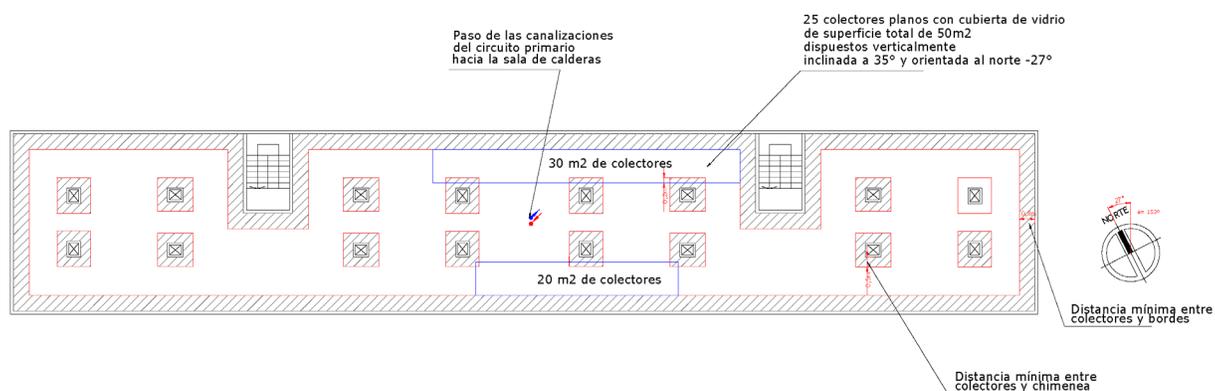
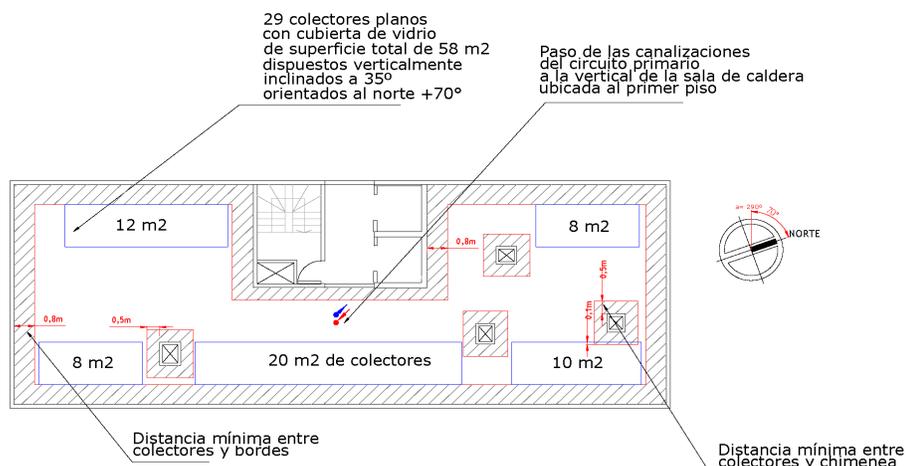


Figura 7: Ejemplo de implementación de los colectores solares en techumbre - Edificio Modelo 2



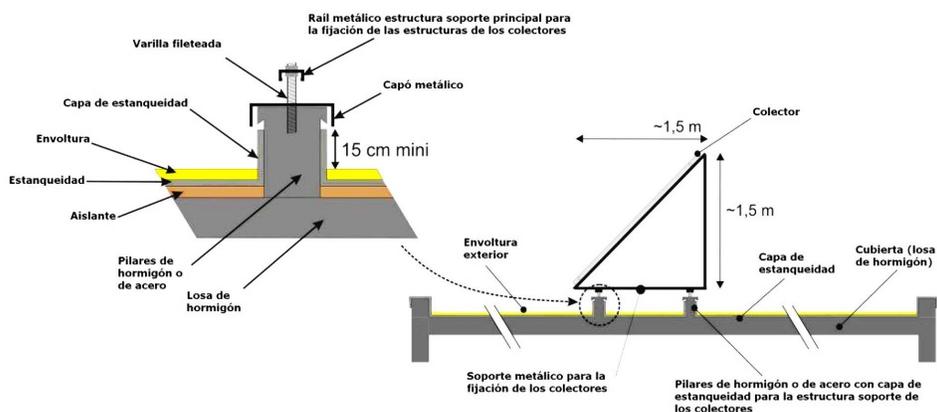
3.5.1-d Fijación de los colectores

Los colectores se implementarán sobre una estructura metálica como soporte fijada a la cubierta mediante anclajes de hormigón o acero galvanizado.

La conceptualización y la realización de la estructura soporte de los colectores solares, así como su fijación en la azotea, deben garantizar una excelente estabilidad de los colectores frente a las inclemencias del tiempo, sobre todo considerando la exposición del conjunto al viento.

La fijación del ensamblaje a la cubierta se hace mediante anclajes de hormigón o de acero con recorte y ajuste de la estanqueidad, tal como se presenta en la siguiente figura:

Figura 8: Anclajes de hormigón o de acero⁵



En la etapa de instalación de los anclajes, es muy importante que el instalador se asegure de la continuidad de las propiedades impermeabilizantes presentes en la cubierta.

El uso de la técnica de anclajes, facilita el acceso a la cubierta bajo los colectores cuando ésta necesite de mantención y/o reparación, ya que la estructura se encuentra realizada sobre la cubierta. Además, la sobrecarga es limitada respecto a una solución con lastres.

Es importante verificar y asegurar que la cubierta prevista pueda soportar la carga adicional de los colectores solares.

3.5.2 El tanque solar

3.5.2-a Características

Los tanques solares serán de tipo vertical, con carcasa de acero con recubrimiento exterior anti-corrosión y recubrimiento interior en conformidad con las normas sanitarias vigentes y resistente a temperaturas de trabajo de al menos 80°C.

⁵ Fuente: Manual "Eau chaude solaire, Manuel pour la conception, le dimensionnement et la réalisation des installations collectives" ADEME, 2002, Francia.

Figura 9: Estructura sobre anclajes de acero



El tanque vendrá equipado con tomas para la conexión al intercambiador solar y a la entrada y salida del agua. Dichas tomas se ubicarán adecuadamente para permitir y favorecer la estratificación térmica, es decir, una distribución vertical de la temperatura del agua.

La toma de entrada del agua fría será equipada con un tubo sumergido hasta el fondo del acumulador para evitar posibles formaciones de bacterias, en particular, la legionela.

Contarán con una protección catódica por ánodo y un indicador de temperaturas en la parte alta, un manguito de vaciado, así como un purgador de aire. Los tanques contarán con un aislamiento térmico que limitarán las pérdidas térmicas.

3.5.2-b Implementación

Los tanques de agua se instalarán en la sala de caldera próximos al sistema de respaldo de calentamiento de agua.

Se preverá el espacio suficiente para su implementación (amplitud y altura), así como un espacio bastante amplio para su introducción. Además, los tanques deberán instalarse sobre una losa de hormigón que presente la resistencia mecánica suficiente para soportar el peso de los tanques llenos.

Las bombas de circulación (circuito primario y secundario), el intercambiador a placas y el sistema de regulación se instalarán próximos a los tanques.

- Edificio Modelo tipo 1:

Se prevé una acumulación de agua de 6.000 litros, dividida en dos tanques de 3.000 litros cada uno.

- Edificio Modelo tipo 2:

Se prevé una acumulación de agua de 6.000 litros, dividida en dos tanques de 3.000 litros cada uno.

3.5.2-c Sistema de respaldo

Tal como ha sido mencionado anteriormente, el sistema de respaldo de la instalación solar estará compuesto de un intercambiador de calor conectado a un tanque tampón y de una caldera a gas licuado.

El tanque solar se conectará en serie y a la entrada del sistema de respaldo.

Una válvula by-pass permitirá aislar la producción solar en el caso que se requiera efectuar mantenciones al sistema solar.

Para visualizar el sistema anterior, véase el anexo 1: "Esquema hidráulico de la instalación solar".

NOTA: Puede ocurrir que la temperatura de salida del tanque solar alcance temperaturas superiores a la temperatura de distribución deseada. Para evitar inconvenientes a nivel del sistema de respaldo a causa de dicha alta temperatura, es necesario instalar a la salida del tanque solar una válvula mezcladora para la regulación termostática (se elegirá la temperatura de consigna de manera de minimizar el funcionamiento del sistema de respaldo).

3.5.3 Paso de las tuberías del circuito primario solar

El circuito primario une los colectores solares emplazados en la cubierta del edificio al intercambiador de calor ubicado en la sala de las calderas. Es necesario destacar que realizar el diseño del sistema solar previo (o en paralelo) al diseño definitivo del edificio, garantizará un diseño adecuado de dicho circuito.

● Edificio Modelo tipo 1:

La sala de caldera estará ubicada en la azotea. Por lo tanto, las tuberías pasarán directamente de la azotea a la sala de calderas mediante una funda a través de la pared de la sala de calderas.

● Edificio Modelo tipo 2:

La sala de calderas estará ubicada en el primer piso o subterráneo del edificio. Las tuberías entre los colectores solares en la azotea y el tanque solar en la sala de calderas pasarán al edificio por un conducto interno que conectará verticalmente la sala de caldera y la cubierta.

La sección de dicho conducto deberá permitir el paso de las dos cañerías (ida y vuelta) con aislamiento térmico. Se deberán considerar distintos accesos a lo largo del ducto para realizar diversas operaciones de mantenimiento.

3.5.4 Circuito hidráulico

Las recomendaciones sobre el diseño de los circuitos hidráulicos y de sus accesorios descritos a continuación son válidas para las dos instalaciones estudiadas.

De forma general, las instalaciones hidráulicas (tuberías y accesorios, tanques, etc.) cumplirán con las preconizaciones estándares (válvula anti-retorno, válvula de aislamiento, purgadores, indicadores de presión y de temperatura, accesorios de seguridad a nivel del tanque, entre otros). Véase anexo 1: "Esquema hidráulico de la instalación solar".



Se buscará la manera de minimizar las pérdidas térmicas a lo largo del circuito primario solar. Por lo que dicho circuito deberá ser diseñado de manera óptima a fin de reducir la longitud de tubería de agua caliente. Las tuberías contarán, además, con un espesor de aislamiento térmico suficiente y con una protección mecánica, y anti UV en el exterior.

Cabe mencionar que las tuberías del circuito primario deberán ser de cobre.

3.5.4-a Vaso de expansión

El vaso de expansión permite mantener la presión del circuito primario. El vaso de expansión adecuadamente dimensionado se conectará al circuito primario solar.

3.5.4-b Bombas

Las bombas se dimensionan de forma que se eliminen las pérdidas de carga en los circuitos hidráulicos primario y secundario cuando el fluido esté circulando al caudal máximo autorizado.

Las dos bombas se instalarán próximas a los tanques de agua.

3.5.4-c Intercambiador de calor

El calor del circuito primario solar se transmite al circuito secundario de ACS por un intercambiador de calor a placas. Este será instalado contiguo a los tanques solares.

3.5.4-d Unidad de control

El control del funcionamiento del sistema será de tipo “doble diferencial de temperatura”. Se controlará el funcionamiento de la bomba del circuito primario y de la bomba del circuito secundario según la diferencia de temperatura entre el agua en la parte inferior del tanque y el fluido a la salida de los colectores, y la diferencia de temperatura entre el tanque solar (parte baja) y el fluido caliente a la entrada del intercambiador (circuito primario solar).

El sistema de control estará compuesto por un microprocesador electrónico y sensores de temperaturas. El control de las diferencias entre las temperaturas procesadas por el microprocesador electrónico controlará el arranque o detención de las bombas.

Este sistema debe permitir:

- El funcionamiento automático del sistema.
- La regulación de temperatura del volumen de almacenamiento solar.
- Una detención de la instalación por orden del operador.
- Un funcionamiento obligado de las bombas: chequeo del correcto funcionamiento de los mandos de las bombas.
- La modificación de los parámetros de funcionamiento del sistema (diferencial de temperaturas para el arranque y el paro).
- Control del buen funcionamiento de los sensores de temperatura.
- La visualización de los estados de funcionamiento del sistema mediante leds o pantalla digital que permitan saber si:



- Las bombas están en funcionamiento.
- El agua del tanque solar llega a la temperatura de servicio del equipo.
- La existencia de un mal funcionamiento.

3.5.5 Contador de la producción solar

Un contador de la producción solar real es de mucha importancia para un sistema solar de uso colectivo. Es un medio para comprobar los resultados energéticos de la instalación solar y, a su vez, facilita la detección de problemas producidos durante la operación del sistema solar.

De hecho, es importante tener presente que puede ser difícil la identificación de un fallo del sistema solar sin un dispositivo específico de medición de la producción solar dado que las averías no siempre impactan la producción de ACS. De hecho, el sistema de respaldo está previsto para garantizar que el agua siempre salga caliente a la red de distribución, con o sin pre-calentamiento solar. Por lo tanto, el seguimiento de la producción solar regular por personal capacitado es la única manera de asegurar un correcto funcionamiento del sistema.

El sistema podrá venir incluido con el sistema de regulación.

El contador de la producción solar también puede incorporar dispositivos de comunicación, tales como una pantalla exterior e interactiva que indicara:

- El esquema sinóptico del sistema.
- La producción solar instantánea y acumulada desde la puesta en marcha del sistema.
- Los ahorros acumulados en emisiones de CO₂ desde la puesta en marcha del sistema.

3.5.6 Sistema de tratamiento del agua

Dependiendo de la dureza del agua, se recomienda instalar un sistema de tratamiento del agua para incrementar la vida útil de los elementos en contacto con esta agua y, en particular, el intercambiador de placas, dado que permite evitar que se deposite caliza en su seno. Dichos equipos se suelen instalar antes de la entrada de agua del sistema de calentamiento de agua, que en este caso es el sistema solar combinado con el sistema de respaldo.

Para conveniencia sanitaria y técnica, la dureza del agua debe presentar valores entre 150 mg/l y 250 mg/l de caliza (CaCO₃).

3.6 Análisis económico

El análisis económico presentado a continuación permite evaluar el costo de inversión inicial de las instalaciones solares (sistema de respaldo no incluido), así como su costo de operación y mantención.

En base a estos elementos se evalúan los tiempos de retorno sobre la inversión (con y sin actualización) respectivos a cada edificio y criterios de factibilidad económica de los sistemas solares.

3.6.1 Dimensionado de la inversión

Los costos de inversión se definen en base a una tasa definida por Transénergie en el estudio de mercado realizado para la Comisión Nacional de Energía (CNE) en el marco del “Programa de Colectores Solares” 2005-2007: entre \$300.000 y \$500.000 por m² de colector instalado (equipos y mano de obra incluidos). Dicho valor es resultado de encuestas dirigidas a proveedores de equipos solares. Se consideró que dicha evaluación se encuentra en pesos a agosto de 2006, fecha aproximada de la obtención de los datos.

Cabe notar que la obtención de datos relativos a los colectores (precios, características técnicas de los equipos), tanto en el 2006 para dichas encuestas, como en la actualidad, es muy difícil, debido a la naturaleza de este mercado, todavía joven y en pleno desarrollo.

Las siguientes evaluaciones no incluyen los sistemas de respaldo de energía tradicional, ni el contador de energía solar, ni los dispositivos de control del consumo de ACS. Se consideró además, que el sistema de tratamiento de agua vendrá incluido con el sistema de producción de ACS de energía tradicional, por lo que tampoco está incluido en el monto de la inversión.

• Edificio Modelo tipo 1:

A continuación se muestran las especificaciones para estimar la inversión requerida para la instalación del sistema solar del Edificio Modelo 1. En el caso de este edificio, por su configuración y la baja longitud del circuito primario (sala de caldera en la cubierta), se consideró un costo de 400.000 \$/m² en moneda a agosto de 2006 y un 10% adicional en el costo de inversión, debido a la asesoría profesional necesaria para realizar el proyecto (desde el proceso de licitación hasta la puesta en marcha).

Designación	Detalle
Sistema solar térmico para la producción de ACS	50 m ² de colectores solares térmicos de tipo plano con cubierta de vidrio templado y absorbido selectivo; estructura metálica adecuada con anclajes de hormigón o acero.
	2 tanques de agua verticales, de 3.000 litros unitario, con carcasa de acero con recubrimiento exterior anti-corrosión, manguitos para conexiones y aislamiento.
	Tubería con aislamiento para el circuito primario y secundario, protección mecánica y anti-UV en exterior; accesorios de conexión.
	Bombas; vaso de expansión; intercambiador a placas; accesorios; fluido caloportador.
	Mano de obra para la instalación del sistema.
Asesoría a la realización del proyecto (desde el proceso de licitación hasta la puesta en marcha)	

• Edificio Modelo tipo 2:

A continuación se muestra un detalle de lo requerido para estimar la inversión de instalación del sistema solar del Edificio Modelo 2. En este caso, por la alta longitud del circuito primario (altura cubierta y sala de calderas), se consideró un costo superior de 500.000 \$/m² en moneda a agosto de 2006 y un 10% adicional en el costo de inversión, debido a la asesoría profesional necesaria para realizar el proyecto (desde el proceso de licitación hasta la puesta en marcha).



Designación	Detalle
Sistema solar térmico para la producción de ACS	58m ² de colectores solares térmicos de tipo plano con cubierta de vidrio templado y absorbido selectivo; estructura metálica adecuada con anclajes de hormigón o acero.
	2 tanques de agua verticales, de 3.000 litros cada uno, con carcasa de acero con recubrimiento exterior anti-corrosión, manguitos para conexiones y aislamiento.
	Tubería con aislamiento para el circuito primario y secundario, protección mecánica y anti-UV en exterior; accesorios de conexión.
	Bombas; vaso de expansión; intercambiador a placas; accesorios; fluido caloportador.
	Mano de obra para la instalación del sistema.
Asesoría a la realización del proyecto (desde el proceso de licitación hasta la puesta en marcha)	

● Resumen de inversión

	Edificio 1	Edificio 2
Valor de la UF (12/Mayo/2008)	\$ 20.012	\$ 20.012
Valor de la UF (31/Agosto/2006)	18.336	18.336
Ratio de inversión (Miles de \$/ m ² moneda de Agosto 2006)	400	500
Superficie solar colectora (m ²)	50	58
Asesoría a la realización del proyecto	10%	10%
Inversión (UF)	1.200	1.740
Inversión (Miles de \$ 12/Mayo/2008)	24.011	34.816
Número de Deptos	32	30
Inversión (UF/Depto)	37	58
Inversión (Miles de \$ 12/Mayo/2008 por Depto)	750	1.161

De esta manera se observa que la inversión en colectores solares para el Edificio Modelo tipo 1 asciende a UF 1.200 (M\$ 24.011 al 12 de mayo de 2008), mientras que para el Edificio Modelo 2 el monto sería de UF 1.740 (M\$ 34.816 al 12 de mayo de 2008).

3.6.2 Costo de mantenimiento y operación

Las operaciones de control y mantenimiento de cada sistema son relativamente básicas, las cuales consisten principalmente en:

- Chequear la presión del circuito primario.
- Limpiar los colectores solares cuando la auto-limpieza no sea suficiente.
- Chequear el buen funcionamiento de la instalación.

Las eventuales averías pueden ocasionar gastos puntuales, es decir, reparaciones y/o repuestos de ciertos equipos de la instalación.

Se recomienda establecer un contrato específico de mantención con el proveedor de equipos, para garantizar así, el buen funcionamiento del sistema. Este contrato debería contemplar el reemplazo de los equipos bajo garantía en caso de falla y visitas periódicas de las instalaciones que deberán dar lugar a la redacción de un informe de visita que detalla las observaciones y las operaciones realizadas.

El costo de este servicio, al igual del costo de inversión de los sistemas, fue evaluado en base a los resultados de la encuesta a proveedores realizada en el marco del proyecto de la CNE “Programa de Colectores Solares” 2005-2006. Proporcionalmente a la superficie colectora instalada, se evalúa en \$60.000 por año. Agregándole ahora un costo adicional de 0,1% anual del valor del sistema para la reposición de equipos, el costo total de mantención se estima en \$90.000 anual por sistema.

3.6.3 Evaluación económica del proyecto por cada uno de los edificios modelos

La presente evaluación económica tiene como objetivo estimar el beneficio económico que tendrá la inversión en colectores solares para el bolsillo de los futuros propietarios de los departamentos, de esta manera ellos son finalmente los inversionistas, dado que percibirán los ahorros en calefacción y pagarán por la inversión en colectores, independientemente que reciban o no subsidios para ello.

El análisis económico se basa en un comparativo entre un sistema de producción de ACS tradicional a gas licuado y un sistema de colectores solares respaldado por el mismo sistema tradicional a gas licuado.

La evaluación de los ahorros que generaría cada instalación solar se realizó en base a los costos de los cilindros de gas licuados de 45 kg; a continuación se muestra un resumen del cálculo para estimar la energía que entregaría un balón de esta dimensión, así como su valoración económica:

Número de kilos de gas licuado	1
kcal PCS / kg gas licuado	12.100
Número de kcal PCS	12.100
PCI / PCS gas licuado	0,90
Número de kcal PCI	10.890
J / cal	4,1868
Número de J PCI	45.594.252
J / kWh	3.600.000
kWh PCI netos / kg de gas licuado	12,67
Valor de balón de 45 kg de gas licuado (Gasco 12 Mayo 2008)	39.500
\$/ kg de gas licuado	878
\$/ kWh PCI neto	69,31

Nota 1: PCI: Poder Calorífico Inferior, PCS: Poder Calorífico Superior.

Nota 2: El valor de kcal PCS/kg de gas licuado se obtuvo del Balance Nacional de Energía para el gas licuado consumido en Chile.

Anteriormente se han discutido los aportes energéticos que entregarían los colectores solares en ambos tipos de edificios, así como el ahorro que estos representarían si el sistema de respaldo fuese a gas licuado, siendo el valor de 60.356 kWh (PCI) para el Edificio tipo 1 y 60.390 kWh (PCI) para el Edificio tipo 2.

Para dirigir la evaluación económica describiremos paso a paso la metodología utilizada.





Paso I: Generación de los escenarios de evaluación

El cálculo se ha ordenado en diferentes análisis de sensibilidad, de diferentes grados de profundidad, los cuales se explican a continuación.

1. Primeramente, los escenarios se agrupan por tipo de edificio:

- Edificio 1
- Edificio 2

2. En segundo lugar se considera realizar el análisis suponiendo que el precio del gas licuado varía o no en el tiempo:

- Que los precios del gas licuado no varíen.
- Que éstos muestren un incremento acumulado de 33% en los 20 años de vida útil de los equipos: este supuesto responde a lo observado en el documento International Energy Outlook 2007, www.eia.doe.gov, en el cual se considera tres escenarios de variación del precio del petróleo crudo hasta el año 2030; en el escenario de mayor crecimiento del precio del petróleo (el más extremo), se supone que el precio aumenta constante y linealmente hasta el año 2030, y este aumento acumulado representa un 33% en 24 años. En el presente informe y en este escenario consideramos que el precio del gas licuado seguirá un patrón parecido al del crecimiento del precio del petróleo, acumulándose un crecimiento de 33% en los próximos 20 años, lo cual representa un crecimiento anual promedio de 1,65%.
- Que los precios aumenten 10% de manera continuada en cada uno de los 20 años de vida del proyecto. Este supuesto responde a los aumentos experimentados en el precio del gas en los últimos 7 años, según la CNE.

3. En un tercer nivel, el estudio considerará analizar diferentes tasas de descuento para realizar la inversión, dado que el inversionista finalmente le exigirá un cierto nivel de rentabilidad al negocio bajo un escenario de evaluación privada.

- 8%: Esta es la tasa de descuento social definida por MIDEPLAN para todo tipo de proyectos, sean éstos de electrificación rural o de viviendas sociales. Este valor fue de 12% antiguamente, pero en la actualidad (mayo 2008) MIDEPLAN lo mantiene en 8%.
- 10%: Tasa de descuento tradicional que se le exige a la mayoría de los negocios privados en Chile.

Paso II: Consideración de indicadores financieros

Para cada uno de los escenarios anteriores, con sus distintos grados de profundidad, se incluirán los siguientes indicadores financieros:

- Tasa interna de retorno: ésta nos indicará la rentabilidad del negocio, considerando que la inversión se pague justo al final de la vida útil, o sea, que tenga un valor presente neto cero.
- Recuperación de la inversión en años, tanto en términos nominales como reales actualizados por la tasa de descuento.
- Valor presente neto.

Paso III: Análisis de sensibilidad

De manera adicional, se considerarán dos escenarios de sensibilidad: uno en el cual se analizará el valor al cual debe reducirse el precio del gas licuado para que no sean rentables los proyectos, y uno en el cual se considerarán potenciales ingresos provenientes del mercado del carbono, por eventuales reducciones de emisiones al sustituir consumos de gas licuado por energía solar.

3.6.4 Generación de los flujos de caja

La información base para generar los flujos de caja es la siguiente:

	Edificio 1	Edificio 2
Valor de la UF (12/Mayo/2008)	\$ 20.012	\$ 20.012
Valor de la UF (31/Agosto/2006)	18.336	18.336
Ratio de inversión (Miles de \$/ m ² moneda de Agosto 2006)	400	500
Superficie solar colectora (m ²)	50	58
Asesoría a la realización del proyecto	10%	10%
Inversión (UF)	1.200	1.740
Inversión (Miles de \$ 12/Mayo/2008)	24.011	34.816
Número de Deptos	32	30
Inversión (UF/Depto)	37	58
Inversión (Miles de \$ 12/Mayo/2008 por Depto)	750	1.161
kWh de gas licuado evitados por uso de Colectores solares	60.356	60.390
Ahorro por sustitución de gas licuado por los colectores (\$/kWh)	69,31	69,31
Ahorro por sustitución de gas licuado por los colectores (UF/kWh)	0,003	0,003
Costo de mantención anual promedio (Miles de \$/año)	90	90
Costo de mantención anual promedio (UF/año)	4,5	4,5

La inversión se colocó en el año cero y, para eliminar el efecto inflación, se llevaron tanto los valores de mantención anual promedio (\$90.000), la inversión, así como el precio promedio anual del gas licuado a Unidad de Fomento, considerando el valor de ésta el 12 de mayo de 2008 (\$20.012). Por ende, el flujo de caja fue realizado en valores reales, o sea, en Unidades de Fomento. Los valores de la inversión y los ahorros se obtienen de lo comentado anteriormente en el capítulo.

A continuación se analizan cada uno de los escenarios, y se muestran sus índices financieros correspondientes:

	Edificio 1			Edificio 2		
	sin cambio de precio del gas licuado	con cambio de precio del gas licuado (33% acumulado)	con cambio de precio del gas licuado (10% cada año)	sin cambio de precio del gas licuado	con cambio de precio del gas licuado (33% acumulado)	con cambio de precio del gas licuado (10% cada año)
TIR	16,2%	17,8%	26,0%	10,0%	11,6%	19,7%
Recuperación estándar de la inversión (años)	5,9	5,7	4,8	8,5	8,1	6,5
Tasa de descuento de 8%:						
VAN (UF)	808	1.068	3.390	270	529	2.853
VAN (UF/Depto)	25,3	33,4	105,9	9,0	17,6	95,1
Recuperación ajustada de la inversión a la tasa de dcto. (años)	8,3	7,8	6,1	14,8	12,8	8,6
Tasa de descuento de 10%:						
VAN (UF)	541	749	2.562	3	210	2.025
VAN (UF/Depto)	16,9	23,4	80,1	0,1	7,0	67,5
Recuperación ajustada de la inversión a la tasa de dcto. (años)	9,3	8,6	6,5	19,9	15,7	9,3

Es importante destacar que la recuperación estándar de la inversión es aquella que se calcula considerando que los flujos de caja futuros no están descontados por la tasa de descuento, y la recuperación ajustada es aquella que se obtiene del cálculo de recuperación de la inversión considerando el real valor del dinero, o sea, los flujos se ajustan por la tasa de descuento.

Resumen Edificio 1:

Se aprecia que la evaluación privada de la inversión en colectores solares en el Edificio 1 sería rentable bajo cualquiera de los escenarios considerados. En los casos extremos la TIR variaría entre 16% y 26%, y los VAN entre 541 y 3.390 Unidades de Fomento. La inversión se recuperaría como máximo en 9,3 años, considerando los escenarios del cambio del precio analizados. Colocar los colectores solares en el Edificio 1 resulta una inversión rentable.

Resumen Edificio 2:

Se aprecia que la evaluación privada de la inversión en colectores solares en el Edificio 2 sería rentable bajo cualquiera de los escenarios considerados. En los casos extremos la TIR variaría entre 10% y 19%, y los VAN entre 3 y 2.853 Unidades de Fomento. La inversión se recuperaría como máximo en 20 años, el período de vida útil de los equipos y horizonte de inversión, considerando los escenarios del cambio del precio analizados. Colocar los colectores solares en el Edificio 2 resulta una inversión rentable.

Observaciones adicionales

Se ha mostrado que el valor actual neto del proyecto de instalación de colectores solares es muy sensible a dos ítems:

- Escenario energético nacional, que interviene directamente en el precio del gas licuado.
- Tasa interna de retorno (tasa de descuento) que se le exija al proyecto.

La tasa de descuento depende fundamentalmente de la exigencia de rentabilidad del inversionista, que en el caso del Proyecto Ciudad Parque Bicentenario serían los propietarios de los departamentos, independientemente que el responsable de instalarlos sea la constructora. De esta manera, se recomienda que se considere la tasa del 8% como la tasa a preferir por los residentes, dado que es la tasa social estimada por el MIDEPLAN y, por ende, la tasa conceptualmente apta para tomar la decisión de invertir en el proyecto; así, el Edificio 1 tendría un Valor Actual Neto (VAN) entre 808 y 3.390 UF y la inversión se recuperaría completamente dentro del plazo de vida útil de los equipos, entre 4,8 y 5,9 años en dependencia del escenario de precios previsto y, la inversión en el edificio 2 tendría un VAN de entre 270 y 2.853 UF, recuperándose la inversión entre 8 y 15 años en dependencia del escenario del mercado del gas licuado.

3.6.5 Análisis de sensibilidad

Se han considerado dos escenarios de sensibilidad adicionales para evaluar el escenario base:

- El valor al cual debiese reducirse el precio del gas licuado para que los proyectos no sean rentables.
- Potenciales ingresos por reducción de emisiones en el mercado de carbono.

3.6.6 Escenario de reducción del precio del gas licuado

Se ha realizado un análisis de sensibilidad sobre una eventual reducción del precio del gas licuado en comparación con los niveles actuales. Hasta ahora todos los escenarios del caso base se realizaron considerando que el precio del gas licuado no debería bajar, debido a la coyuntura mundial de los hidrocarburos. No obstante, situaciones eventuales en las que el precio del GLC eventualmente baje deberían considerarse, dado que impactan negativamente en la rentabilidad de la inversión, y algunos expertos internacionales la han barajado como posible (International Energy Outlook 2007, www.eia.dov.gov, entre otros).

Para el presente estudio se ha considerado un escenario en el cual el precio del gas es constante durante los veinte años y, además, se ha determinado a cuánto éste debiese bajar durante todo el período de evaluación para que los escenarios que mostraban resultados positivos no lo sean. A continuación se muestra el resumen:

Porcentajes y precios al cual debería disminuir el precio del gas licuado para que los proyectos dejen de ser rentables, a partir de escenario de precio constante en el tiempo.	Edificio 1			Edificio 2		
	Precio (UF/kWh)	Precio (\$/ kWh)	% de reducción	Precio (UF/kWh)	Precio (\$/ kWh)	% de reducción
Tasa de descuento de 8%:	0,0021	42,00	39,4%	0,0030	60,16	13,2%
Tasa de descuento de 10%:	0,0024	48,17	30,5%	0,0035	69,17	0,2%

En el escenario base del Edificio tipo 1, en todas las situaciones de variación de valores de mercado del precio del GLC, las evaluaciones arrojaron como positivo el proyecto. No obstante, si los precios se mantuvieran constantes durante los veinte años, el precio de mercado del gas licuado tendría que reducirse al menos un 30,5% y llegar a UF 0,0024 por kWh (\$48,17/kWh a valores del 12 de mayo de 2008) para que comiencen a notarse efectos negativos en la rentabilidad.

En el escenario base del Edificio tipo 2, en todas las situaciones de variación de valores de mercado del precio del GLC, las evaluaciones arrojaron como positivo el proyecto. No obstante, si los precios se mantuvieran constantes durante los veinte años, el precio de mercado del gas licuado tendría que reducirse al menos un 0,2% y llegar a UF 0,0035 por kWh (\$69,17/kWh a valores del 12 de mayo de 2008) para que comiencen a notarse efectos negativos en la rentabilidad.

3.6.7 Análisis de sensibilidad bajo un ingreso eventual por las reducciones de emisiones de CO₂ que el proyecto solar generaría

A continuación se muestra una estimación de las emisiones de CO₂ que el uso de los colectores solares reduciría al desplazar parte del consumo de gas licuado. Para el cálculo se utilizó la metodología recomendada por el IPCC; asimismo, se consideró el precio para los proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) en el EU ETS al 12 de mayo de 2008 (el cual se consideró como el 75% del precio spot publicado en pizarra para las AAU, que era 25,4 euros, obteniéndose 19,05 euros para proyectos MDL), y el tipo de cambio de pesos chilenos a euros al 12 de mayo de 2008.

Edificio 1

Cálculo de emisiones de CO₂ por kWh

kWh reducidos por año promedio:	60.356
Conversión kWh a Joule	3.600.000
Terajoule reducidos por año promedio	0,21728
Factor de emisión de carbono tC/TJ Gas Licuado	17,2
Contenido de carbono Gg C	0,00374
Factor de oxidación gas licuado	0,995
Emisiones de carbono Gg C	0,00372
Factor para obtención de emisiones de CO ₂	3,667
Emisiones de CO ₂ t CO ₂	14
Factor de emisión del gas licuado (kg CO ₂ / kWh)	0,22590

Estimación de ingresos potenciales bajo el EU ETS

Precio mercado 1 tCO ₂ en el MDL (euros)	€ 60.19,05
Tipo de cambio pesos / euro	€ 729,26
Ingreso adicional de reducción de emisiones por kWh (\$/kWh)	\$ 3,14
Ingreso adicional de reducción de emisiones por kWh (UF/kWh)	0,0002
Ingreso adicional que generaría reducir emisiones (\$ anuales)	\$ 189.419
Ingreso adicional que generaría reducir emisiones (UF anuales)	9,47

Se aprecia que en el Edificio tipo 1, los colectores reducirían aproximadamente 14 toneladas de CO₂ al año, las cuales de comercializarse en el mercado MDL europeo, representarían un ingreso adicional por edificio de UF 9,47 anuales, o UF 0,0002 por kWh.

Lo anterior es un ejercicio teórico, que no considera otros aspectos comerciales asociados a este tipo de proyectos.

Edificio 2

Cálculo de emisiones de CO₂ por kWh

kWh reducidos por año promedio:	60.390
Conversión kWh a Joule	3.600.000
Terajoule reducidos por año promedio	0,21740
Factor de emisión de carbono tC/TJ Gas Licuado	17,2
Contenido de carbono Gg C	0,00374
Factor de oxidación gas licuado	0,995
Emisiones de carbono Gg C	0,00372
Factor para obtención de emisiones de CO ₂	3,667
Emisiones de CO ₂ t CO ₂	14
Factor de emisión del gas licuado (kg CO ₂ / kWh)	0,22590

Estimación de ingresos potenciales bajo el EU ETS

Precio mercado 1 tCO ₂ en el MDL (euros)	€ 19,05
Tipo de cambio pesos / euro	€ 729,26
Ingreso adicional de reducción de emisiones por kWh (\$/kWh)	\$ 3,14
Ingreso adicional de reducción de emisiones por kWh (UF/kWh)	0,0002
Ingreso adicional que generaría reducir emisiones (\$ anuales)	\$ 189.526
Ingreso adicional que generaría reducir emisiones (UF anuales)	9,47

Se aprecia que en el Edificio tipo 2, los colectores reducirían aproximadamente 14 toneladas de CO₂ al año, las cuales de comercializarse en el mercado MDL europeo, representarían un ingreso adicional por edificio de UF 9,47 anuales, o UF 0,0002 por kWh.

Lo anterior es un ejercicio teórico, que no considera otros aspectos comerciales asociados a este tipo de proyectos.

A continuación se muestran los resultados de VAN y TIR para los diferentes escenarios de incorporarse el ingreso adicional por concepto de MDL:

	Edificio 1			Edificio 2		
	sin cambio de precio del gas licuado	con cambio de precio del gas licuado (33% acumulado)	con cambio de precio del gas licuado (10% cada año)	sin cambio de precio del gas licuado	con cambio de precio del gas licuado (33% acumulado)	con cambio de precio del gas licuado (10% cada año)
TIR	17,1%	18,6%	26,6%	10,7%	12,2%	20,1%
Tasa de descuento de 8%:						
VAN (UF)	901	1.161	3.483	363	622	2.946
VAN (UF/Depto)	28,2	36,3	108,8	12,1	20,7	98,2
Tasa de descuento de 10%:						
VAN (UF)	622	830	2.643	83	291	2.105
VAN (UF/Depto)	19,4	25,9	82,6	2,8	9,7	70,2

Se aprecia que los ingresos eventuales provenientes del MDL, a precios actuales del EU ETS, mejorarían parcialmente tanto las TIR como los VAN, pero aunque el ingreso adicional por MDL mejora los índices financieros, la visión en conjunto, o la decisión a tomar tanto en el Edificio 1 como en 2 prácticamente se mantiene igual a la redactada en el escenario base.

3.6.8 Modelos de financiamiento de la inversión

Los modelos de financiamiento pueden ser o privados o públicos, y sólo pueden ser asociados directamente al tema energético correspondiente con aquel que busca cubrir el proyecto.

En la actualidad existen diferentes maneras para obtener fondos que permitan financiar proyectos que tienen VAN positivos y TIR positivas e interesantes, todo depende de cuán positivos e interesantes sean. En particular para el Proyecto Ciudad Parque Bicentenario probablemente el que realice la inversión sea la empresa constructora, la cual incorporará el costo como parte del precio de venta del departamento, por lo cual el inversionista, los propietarios, obtendrán el financiamiento por vía del crédito hipotecario, el cual ofrece la tasa comercial más interesante para financiar los colectores.

Otras maneras de financiamiento de proyectos rentables en términos positivos provienen de créditos de consumo, leasing y otras fórmulas que ofrecen los bancos y otras instituciones financieras.

Tal como se mencionó anteriormente, los proyectos de instalación de colectores solares para ACS son rentables y no requieren de fondos estatales para financiarse. En todo caso, a petición del mandante, se comentarán algunas fórmulas para subsidiar proyectos que no sean rentables por medios privados. Para este análisis se considerarán diferentes modalidades de subsidios que pueden generarse. En primer lugar se puede aclarar que los subsidios o sistemas de rentabilización de proyectos pueden provenir de fuentes privadas o públicas, y han de ser asociados directamente al tema energético correspondiente con aquel que busca cubrir el proyecto. Los subsidios a la vivienda no serían correspondientes al que se requiere para colectores, porque eso competiría con entregar más metros cuadrados a los futuros residentes. De esta manera, los subsidios o las facilidades de pago han de venir asociados a la inversión en colectores o a los gastos de operación de éstos y, debieran relacionarse, más que a planes o políticas de viviendas, a programas de eficiencia energética o de promoción de energías renovables en usos productivos.

Las alternativas de subsidio que se analizarán en el presente proyecto se agrupan en las siguientes categorías:

- Subsidio directo sobre la inversión.
 - Subsidio directo sobre la inversión, ya sea en su totalidad o en una proporción de ésta.
- Subsidios en la operación.
 - Subsidio directo a la administración de los edificios en base a la energía desplazada (por kWh).

3.6.9 Subsidio directo sobre la inversión

Los financiamientos directos sobre la inversión tienen un impacto muy importante, dado que no sólo contribuyen a hacer positivo el VAN en términos privados, sino que contribuyen a financiar el capital de trabajo en los años iniciales, cuando el dinero tiene un mayor valor en el tiempo y en los años en los que generalmente los flujos son negativos.

Un subsidio sobre la totalidad de la inversión sería óptimo, dado que eliminaría el alto peso de ésta; no obstante, gestionar financiamientos parciales de la inversión es también una posibilidad generalmente interesante.

Otra alternativa de subsidio en la inversión puede ser subsidiar el precio de venta del terreno. En el caso puntual de Ciudad Parque Bicentenario, el proyecto podría vender el terreno con un descuento equivalente a la inversión e instalación de los colectores o una proporción de ésta y, exigirle al inversionista inmobiliario que no les cobre a los usuarios por tal concepto, de tal manera que los propietarios accedan al beneficio energético pagando nada o sólo una proporción menor de la inversión. En este caso, el proveedor del subsidio sería el proyecto Ciudad Parque Bicentenario y, claramente, sería un subsidio sobre la inversión.

3.6.10 Subsidio en la operación

Los subsidios en la operación representan ingresos adicionales al proyecto de manera mensual o anual, los que contribuirían a financiar el proyecto de una manera extendida en el tiempo, hasta lograr hacer positivo el ingreso.

El monto del subsidio operacional es muy importante, dado que sensibiliza directamente el ahorro que significa el reemplazar energía solar por energía proveniente del gas licuado.

3.6.11 Conclusiones económicas

El proyecto de instalación de colectores solares para el agua caliente sanitaria en los Edificios tipo 1 y tipo 2 del Proyecto Ciudad Parque Bicentenario es muy sensible a diferentes factores, como son el precio de mercado del gas licuado y su evolución en el tiempo y, la rentabilidad que exija el inversionista.

Se aprecia que la evaluación privada de la inversión en colectores solares en el Edificio 1 sería rentable bajo cualquiera de los escenarios considerados. En los casos extremos la TIR variaría entre 16% y 26%, y los VAN variarían entre 541 y 3.390 Unidades de Fomento. La inversión se recuperaría como máximo en 9,3 años, considerando los escenarios de cambio del precio analizados. Colocar los colectores solares en el Edificio 1 resulta una inversión rentable para los propietarios.

También se aprecia que la evaluación privada de la inversión en colectores solares en el Edificio 2 sería rentable bajo cualquiera de los escenarios considerados. En los casos extremos la TIR variaría entre 10% y 20%, y los VAN variarían entre 3 y 2.853 Unidades de Fomento. La inversión se recuperaría como máximo en 19,9 años, justo en el límite del horizonte de evaluación del proyecto, considerando los escenarios de cambio del precio analizados. Colocar los colectores solares en el Edificio 2 resulta, al igual que en el caso del Edificio tipo 1, una inversión positiva e interesante para los propietarios.



Se consideraron dos escenarios de sensibilidad. Primeramente se estimó el porcentaje máximo al cual deberá bajar el precio del gas licuado para que en aquellos escenarios en los cuales los VAN resultaban positivos, dejaran de serlo, considerándose además que los precios se mantengan constantes durante todo el tiempo de vida útil del proyecto (20 años); los precios del gas licuado en el Edificio tipo 1 deberían bajar entre 30% y 40% para que deje de ser interesante instalar los colectores solares, considerando las diferentes tasas de rentabilidad contempladas y, en el Edificio 2 entre 0,2% y 13%. En segundo lugar, se realizó un análisis de sensibilidad para estimar las reducciones en las emisiones de CO₂ que generaría reemplazar parte de la energía proveniente del gas licuado por energía solar, midiendo así el impacto ecológico de la inversión. Además se estimó el ingreso potencial que el proyecto recibiría de postular dichas reducciones al mercado del carbono; se obtuvo como consecuencia que tanto en el Edificio tipo 1, como en el Edificio tipo 2, las reducciones bordearían las 14 toneladas de CO₂ anuales, y que los ingresos por venta de bonos de carbono no impactarían significativamente en el resultado económico de la situación base.

Con respecto al financiamiento de las inversiones, cabe destacar que para un proyecto con VAN privado positivo y con tasas internas de retorno (TIR) interesantes siempre existirán inversionistas dispuestos a contribuir con recursos. En el caso de ambos edificios se observa que realizar la inversión es rentable para los propietarios en prácticamente cualquiera de los escenarios previsible para los próximos 20 años; por otro lado, dado el modelo de financiamiento que se está considerando en el proyecto, probablemente el costo de la inversión será incluido en el precio de venta del departamento, por lo que los propietarios podrán financiar los colectores utilizando la tasa de crédito hipotecaria, la cual es generalmente una alternativa muy conveniente en el mercado, por su bajo valor relativo al resto de los tipos de endeudamiento.

3.7 Conclusiones

3.7.1 Síntesis técnica

De manera general, cabe tener presente que la evaluación de la oportunidad de sistemas solares térmicos para la producción de ACS durante las fases preliminares del diseño de arquitectura de los edificios garantiza la optimización de los costos, así como el aumento de la factibilidad técnica del sistema.

• Edificio Modelo tipo 1

La incorporación de una instalación solar térmica para la producción de ACS del Edificio Modelo 1 es técnicamente factible.

Se dispone del espacio suficiente para la implementación de los 50 m² de superficie colectora necesaria para cubrir 50% de la demanda energética para ACS. Los colectores solares se instalarán orientados al norte -27° e inclinados a 35°. Considerando colectores de dimensiones estándares de 2 m², se implementaría entonces 25 colectores.

Las canalizaciones del circuito primario pasarán de superficie colectora en la techumbre a la sala de caldera, también ubicada en la techumbre, mediante una funda a través de la pared de la sala de caldera.

Se implementará dos tanques solares de 3.000 litros cada uno para los cuales es necesario prever el espacio suficiente en la sala de caldera.

Una caldera de gas licuado realizará el aporte energético complementario. Dicho sistema de respaldo estará constituido por un intercambiador de calor conectado al tanque tampón y el circuito primario de las calderas.



• Edificio Modelo tipo 2

La implantación de una instalación solar térmica para la producción de ACS del Edificio Modelo 2 es técnicamente factible.

Por la distancia entre la superficie colectora en la techumbre y el tanque solar en la sala de caldera, y entonces, mayores pérdidas térmicas en las tuberías, el sistema solar térmico del Edificio Modelo tipo 2 es ligeramente menos eficiente, sin embargo, eso no impide su factibilidad tanto técnica como económica.

El espacio disponible en techumbre es suficiente para la implementación de una superficie colectora necesaria para alcanzar el 50% de cobertura óptima para la producción de ACS.

La instalación solar dimensionada cuenta entonces con 58m² de superficie colectora para una cobertura solar de 50%. Los colectores se instalarán orientados al norte -70°, inclinados a 35°. Considerando colectores de dimensiones estándares, se implementarán entonces 29 colectores de 2 m².

Las canalizaciones del circuito primario entre la superficie colectora en la techumbre y la sala de calderas al primer piso podrán pasar por un conducto vertical a la sala de calderas.

Se considera la implementación de dos tanques solares de 3.000 litros cada uno para los cuales es necesario prever el espacio suficiente en la sala de caldera.

Una caldera de gas licuado realizará el aporte energético complementario. Dicho sistema de respaldo estará constituido por un intercambiador de calor conectado al tanque tampón y el circuito primario de las calderas.

Finalmente, para las dos instalaciones, se recomienda la contratación de un servicio de mantención específico, así como la instalación de dispositivos de medición de la energía solar realmente aprovechada debido a que ésta es la única manera de asegurar un buen funcionamiento de la instalación solar.

Además, el aprovechamiento de la energía solar suele integrarse a un programa global de eficiencia energética. Por lo cual, sería interesante considerar la implementación de accesorios de control del consumo de agua caliente en cada una de las edificaciones.

3.7.2 Síntesis económica

• Edificio Modelo tipo 1

Desde un punto de vista económico, la instalación solar en este edificio es rentable bajo todos los escenarios estudiados y, dependiendo de cada escenario estudiado, se obtendrían tasas internas de retorno de entre 16% y 26%, valores actuales netos de los ahorros de entre 541 y 3.390 Unidades de Fomento (entre 16,9 y 105,9 UF por departamento), recuperándose la inversión entre 6 y 9 años.

• Edificio Modelo tipo 2

En el caso del Edificio 2, la instalación de colectores solares es rentable bajo todos los escenarios estudiados y, dependiendo de cada escenario estudiado, se obtendrían tasas internas de retorno de entre 10% y 20%, valores actuales netos de los ahorros de entre 3 y 2.853 Unidades de Fomento (entre 0,1 y 95,1 UF por departamento), recuperándose la inversión dentro del horizonte de inversión o tiempo de vida útil de los equipos (entre 9 y 20 años).

- **Financiamiento de la inversión**

Un proyecto con VAN privado positivo y con tasas internas de retorno (TIR) interesantes siempre atraerán a inversionistas dispuestos a contribuir con recursos.

En el caso de los Edificios 1 y 2, todos los escenarios entregan VAN positivos en términos privados, de esta manera todos los propietarios de la Ciudad Parque Bicentenario podrán optar a financiamiento público en general; probablemente éste será parte del crédito hipotecario de compra de la vivienda.

3.7.3 Síntesis ambiental

Tal como se comentó en los análisis de sensibilidad económicos para cada uno de los edificios, la utilización de colectores solares para ACS genera reducción de emisiones, pero en ambos casos los potenciales ingresos por bonos de carbono no modifican los resultados económicos de los proyectos. En términos ambientales netamente, las reducciones que se obtienen equivalen aproximadamente a 14 tCO₂ anuales tanto en el Edificio 1, como en el Edificio 2.



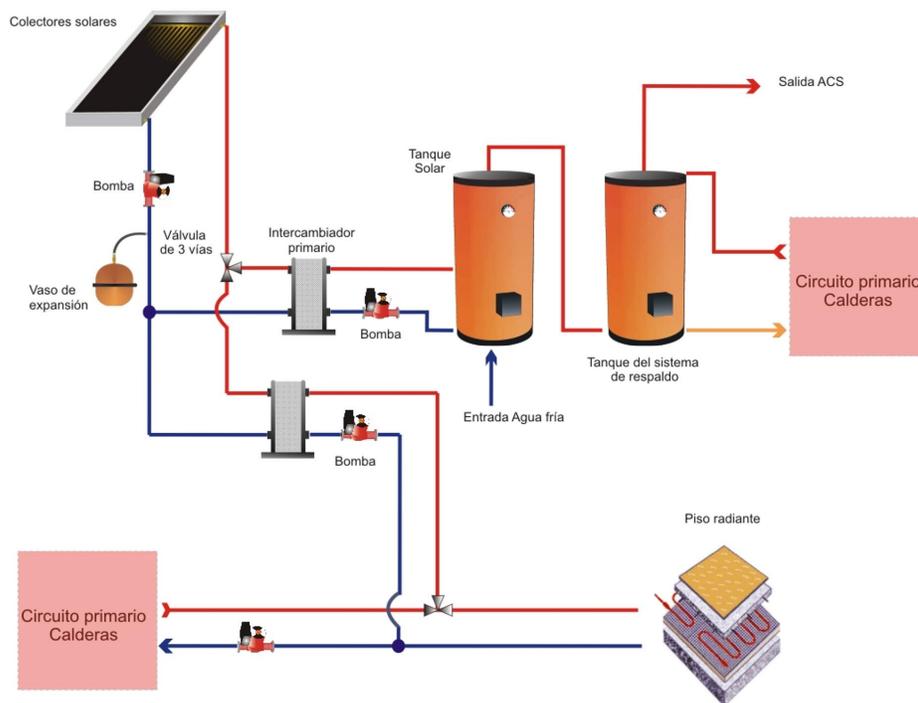
4. Factibilidad técnico-económica de un sistema solar térmico combinado para el calentamiento de agua sanitaria y la calefacción en el Edificio Modelo tipo 1

4.1 Principio de funcionamiento de un sistema solar para el calentamiento de agua sanitaria y la calefacción

En primer lugar, es importante precisar que la implementación de un sistema solar térmico para la calefacción considerará la instalación de un piso radiante de baja temperatura.

Existen varios tipos de sistemas solares combinados que permiten, a su vez, contribuir a la producción de ACS y proporcionar parte del suministro energético necesario para la calefacción. Se presenta a continuación el sistema combinado preconizado en el marco de este proyecto:

Figura10: Esquema sinóptico de un sistema solar combinado sin acumulación tampón



Para la producción de ACS, el principio de funcionamiento es el mismo que el sistema descrito en el análisis de factibilidad de un sistema solar para el ACS. El accionamiento del modo “calefacción” se realiza mediante una válvula de tres vías ubicada en el circuito primario solar y está regulado por la temperatura del agua en la parte baja del tanque solar, además de la temperatura del agua a la salida del piso radiante y de la temperatura de salida de los colectores solares, dando la prioridad a la producción de ACS.

Cuando la instalación funciona en modo “calefacción”, la energía solar captada por los colectores es transferida al piso radiante mediante un intercambiador de calor a placas.

Las calderas a gas licuado proporcionan la energía de respaldo.

Este tipo de instalación presenta la ventaja de ser poco voluminosa, ya que la energía está directamente inyectada al piso radiante sin que se requiera volumen de acumulación adicional. La desventaja, sin embargo, es que no se tiene donde acumular la totalidad de la energía solar disponible durante el día, por lo que se recomienda instalar un piso radiante de muy alta inercia, para valorizar de forma adecuada la energía solar.

4.2 Dimensionado de la instalación

4.2.1 Estimación de las necesidades de agua caliente

Las necesidades energéticas relativas a la producción de ACS fueron evaluadas en el análisis de factibilidad de sistemas solares para el calentamiento de ACS. Dichos datos se resumen en la siguiente tabla:

Consumo de ACS a 55°C y necesidades energéticas útiles correspondientes- Edificio Modelo tipo 1												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Consumo (litros/día)	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600	5.600
Necesidades (kWh/mes)	7.646	6.824	7.606	7.565	8.119	8.160	8.643	8.673	8.316	8.391	7.867	7.868

Las necesidades energéticas de calefacción fueron estimadas mediante simulaciones del comportamiento térmico del edificio. Se resumen en la tabla siguiente:

Necesidades de calefacción- Edificio Modelo tipo 1												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Calefacción (kWh)	142	163	736	5.193	11.973	19.164	20.001	14.481	9.133	2.844	1.230	112

Las necesidades energéticas totales para el calentamiento de agua sanitaria y la calefacción son:

Necesidades energéticas útiles para ACS y calefacción - Edificio Modelo tipo 1												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Necesidades ACS (kWh/mes)	7.646	6.824	7.606	7.565	8.119	8.160	8.643	8.673	8.316	8.391	7.867	7.868
Necesidades calefacción (kWh/mes)	142	163	736	5.193	11.973	19.164	20.001	14.482	9.134	2.844	1.231	113
Necesidades total (kWh/mes)	7.788	6.987	8.342	12.758	20.093	27.324	28.644	23.155	17.449	11.235	9.098	7.980

A este nivel del análisis, es interesante observar que las necesidades energéticas a lo largo del año son totalmente opuestas a la disponibilidad del recurso solar, tal como se observa en el siguiente gráfico:

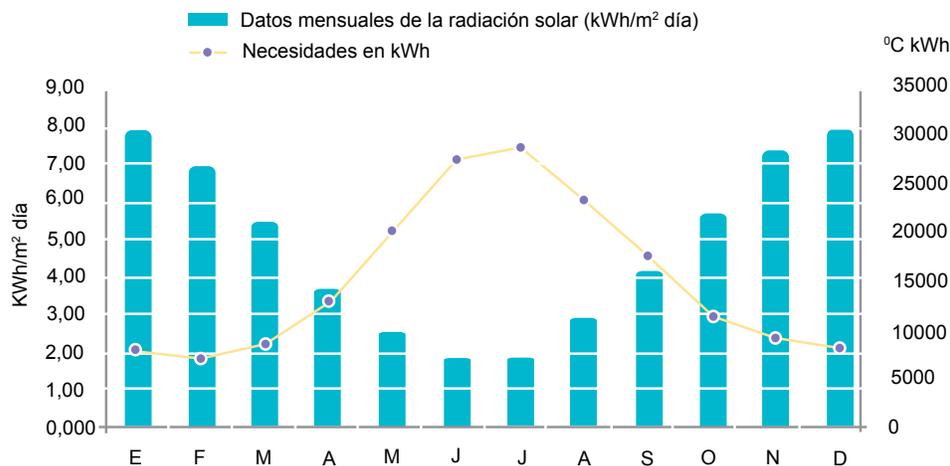


Gráfico 4: Necesidades energéticas mensuales versus radiación solar mensual

Por esta razón, se desaconseja fuertemente considerar colectores solares térmicos para la calefacción de establecimientos colectivos que presentan necesidades de calefacción importantes y en particular durante pocos meses del año.

Estas necesidades mensuales no coinciden con el potencial solar, lo que afecta la rentabilidad de la instalación, así como aumenta los riesgos de sobrecalentamiento ligado a un sobredimensionado del sistema solar en verano.

Estos sobrecalentamientos tendrán por consecuencia escapes del fluido caloportador, con la probabilidad, además de las pérdidas de fluido, del deterioro del mismo. Los sobrecalentamientos muy seguidos también impactan la vida útil de los colectores de forma negativa.

4.2.2 Método de cálculo

El dimensionado de la instalación solar se realizó mediante el software de dimensionado SOLO.

4.3 Hipótesis

4.3.1 Tipo de colector

En el marco del estudio se considera un colector plano selectivo con cubierta de vidrio genérico con las características técnicas estándares siguientes:

- Coeficientes de transmisión (coeficiente K) : 4,5 W/(m²K)
- Factores ópticos (coeficiente B) : 0,75

4.3.2 Inclinación y orientación de los colectores

Los colectores se implementarán sobre estructuras metálicas fijadas a la techumbre.

Inclinación: Considerando una ocupación constante del edificio a lo largo de todo el año, y para no desfavorecer la producción de ACS continua a lo largo del año, se inclinará los colectores de manera a privilegiar un aprovechamiento de la radiación solar a lo largo de todo el año, es decir 35°.

Orientación: Para facilitar la implementación y optimizar la superficie disponible en techumbre para la implementación de colectores, se orientará los colectores según la orientación del edificio mismo.

Edificio Modelo tipo 1	
Inclinación	35°
Orientación	Norte -27° Azimut 153°

4.3.3 Sombra – obstáculos

En una visita realizada a las dependencias de Ciudad Parque Bicentenario permitió confirmar que no existen obstáculos mayores próximos al sitio en estudio (cerros, edificios, etc.) que podrían provocar sombras en los lugares de implementación considerados.

4.4 Resultados

4.4.1 Superficie colectora y volumen del tanque solar

Edificio tipo 1		
Necesidades energéticas anuales	180.854	kWh/año
Superficie colectora total	138	m ²
Tanque solar para la producción de ACS	6.000	litros
Cobertura solar anual	47	%

4.4.2 Respaldo energético

Tal como se ha mencionado anteriormente, el sistema de respaldo del Edificio Modelo tipo 1 estará compuesto de un tanque conectado a un intercambiador de calor alimentado por calderas a gas licuado.

4.4.3 Evaluación de la contribución energética de la instalación

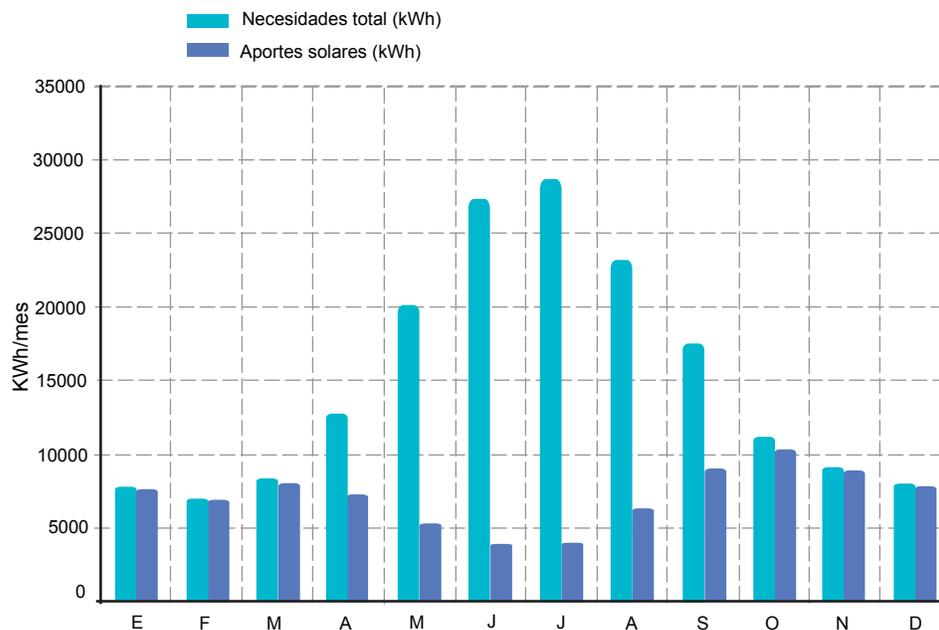
La siguiente tabla presenta mensualmente y anualmente, las necesidades energéticas globales (calefacción y producción de ACS), la contribución del sistema solar y el consumo de gas ahorrado en función del rendimiento de la caldera⁶.

⁶ El rendimiento del sistema de producción de ACS se estima en 0,8.

Balance energético mensual													
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Necesidades energéticas (kWh)	7.788	6.987	8.342	12.758	20.093	27.324	28.644	23.155	17.449	11.235	9.098	7.980	180.854
Aportes solares (kWh)	7.687	6.928	8.021	7.299	5.262	3.873	4.025	6.350	9.036	10.351	8.944	7.837	85.613
Cobertura solar (%)	99%	99%	96%	57%	26%	14%	14%	27%	52%	92%	98%	98%	47%
Consumo ahorrado (kWh)	9.609	8.660	10.026	9.124	6.578	4.841	5.031	7.938	11.295	12.939	1.1180	9.796	107.016
Aportes del sistema de respaldo (kWh)	101	59	321	5.459	14.831	23.451	24.619	16.805	8.413	884	154	143	95.241

Una cobertura superior a 90% (datos de cobertura solar en rojo) durante 6 meses del año, de octubre a marzo, da cuenta del importante riesgo de sobrecalentamiento.

Gráfico 5: Necesidades energéticas mensuales totales (ACS + calefacción) versus aportes solares mensuales totales, Edificio Modelo 1



La productividad de la instalación se estima en 620 kWh/m².

4.5 Descripción e implementación provisional de los materiales del sistema solar combinado

4.5.1 Implementación provisional de los colectores solares

Los colectores solares considerados para el sistema combinado deberán cumplir los mismos requerimientos que para los sistemas descritos en el análisis de factibilidad de sistemas solares para la producción de ACS.

4.5.1-a Área de implementación

Los colectores se implementarán en la azotea del edificio. Dando la superficie total disponible, se puede implementar un máximo de 138 m² de colectores solares térmicos.

4.5.1-b Ejemplo de implementación

En el siguiente ejemplo de diseño de la instalación solar, las dimensiones de las baterías de colectores y la implementación de los colectores se dan a título informativo. Se definirá la implementación final cuando se conozcan el tipo y marca de los colectores que se implementarán.

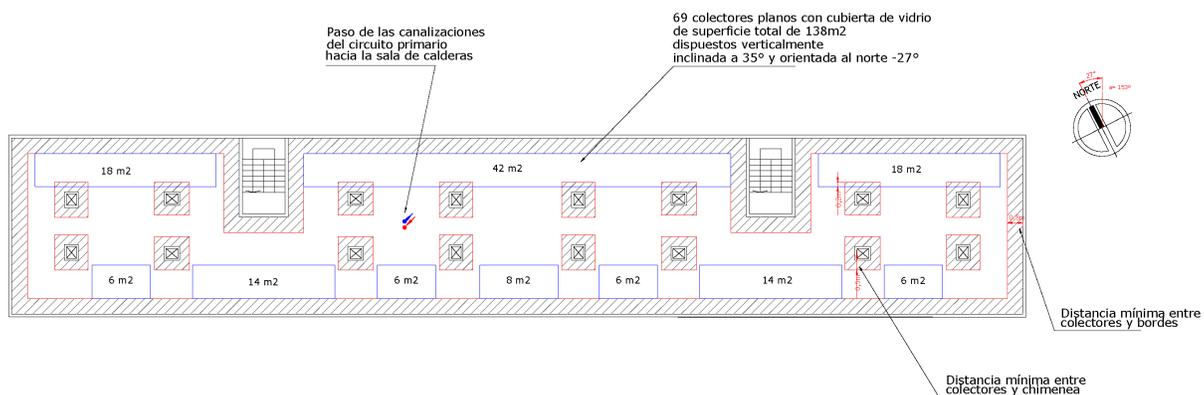
En este caso, se consideran colectores de dimensiones estándares: 2 m² de superficie unitaria y de 2 m por 1 m.

Las recomendaciones relativas a la fijación de los colectores a la azotea se encuentran precisadas en el análisis de factibilidad de un sistema solar para la producción de ACS.

La siguiente figura muestra un ejemplo de implementación de los colectores.

NOTA: Se buscó la manera de aprovechar al máximo la superficie disponible. En el plan de implementación propuesto, las baterías son de tamaños muy variables, por lo cual se aumenta la complejidad del circuito primario y, en particular, la obtención del equilibrado hidráulico del circuito primario.

Figura 11: Propuesta de implementación de colectores sobre la azotea del Edificio Modelo tipo 1



4.5.2 Otros componentes de un sistema solar combinado

A parte del piso radiante, el sistema solar combinado seleccionado (sin tanque tampón) no requiere de otros componentes adicionales en comparación al sistema solar para la producción de ACS.

Los tanques solares necesarios para almacenar ACS del sistema solar combinado serán idénticos a los descritos en el sistema solar simple de producción de ACS, es decir, dos tanques de 3.000 litros cada uno.

El paso de las tuberías entre la superficie colectora y los tanques solares tampoco sufren cambios.

Las recomendaciones para los circuitos hidráulicos son similares. Se integrará un intercambiador de calor a placas adicional para la distribución de la energía al piso radiante, así como una válvula de 3 vías en el circuito primario que regulará el paso al modo “calefacción”.

La unidad de control automático del funcionamiento del sistema descrito para el sistema solar de producción de ACS queda válida. Sin embargo, ahora, para el sistema de calefacción, la regulación integrará también el accionamiento del modo “calefacción”, modulándolo según la temperatura del agua a la salida del piso radiante, y de la temperatura a la salida de los colectores. La prioridad se dará a la producción de ACS.

4.5.3 Medidas para la descarga del excedente de energía

Durante el verano, las necesidades de calefacción son nulas y la superficie de colectores prevista se encuentra entonces sobredimensionada respecto a las necesidades de ACS. Por lo tanto, es imprescindible instalar un sistema de descarga de energía captada no aprovechada para evitar el sobrecalentamiento de los colectores.

La primera opción consiste en descargar la energía sobrante mediante aerotermos de agua. Este sistema presenta la ventaja de ser compacto y de bajo mantenimiento. En el presente caso, se requeriría aerotermos con capacidad de descarga total de unos 80 kW. El inconveniente resulta ser su aspecto estético y el ruido que genera. De hecho, para un aerotermo medio de 35 kW, el nivel sonoro generado es de 42 dBA. A pesar de este inconveniente, esta opción es la más adecuada desde un punto de vista técnico.

Otra posibilidad que fue considerada consiste en aislar parte de la superficie colectora instalada durante 6 meses del año, de lo que se obtiene lo siguiente:

- El sistema funcionaría con los 138 m² entre los meses de abril y septiembre.
- El resto del año, el aporte solar se limitaría al aporte de los 50 m² necesarios para la producción del agua caliente, dejando 88 m² sin uso.

Se instalaría válvulas de corte que permitirán el aislamiento de la parte correspondiente de la superficie colectora.



Balance energético mensual													
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Necesidades energéticas (kWh)	7.788	6.987	8.342	12.758	20.093	27.324	28.644	23.155	17.449	11.235	9.098	7.980	180.255
Aportes solares (kWh)	7.433	5.497	4.238	7.299	5.262	3.873	4.025	6.350	9.036	5.446	7.799	7.691	73.949
Cobertura solar (%)	95%	79%	55%	57%	26%	14%	14%	27%	52%	48%	86%	96%	41%
Consumo ahorrado (kWh)	9.291	6.871	5.298	9.124	6.578	4.841	5.031	7.938	11.295	6.808	9.749	9.614	92.436
Aportes del sistema de respaldo (kWh)	355	1.490	3.505	5.459	14.831	23.451	24.619	16.805	8.413	5.789	1.299	289	106.306

Esta solución sólo cubriría el 41% de las necesidades anuales, dentro de las cuales el sistema sólo aportaría un 21% de las necesidades en calefacción.

Este dispositivo resulta ser de mayor complejidad que el aerotermo. Poner y luego quitar las cubiertas requiere realizar, dos veces al año durante todo el periodo de funcionamiento del sistema, operaciones muy complejas de ajuste del equilibrado de los circuitos hidráulicos.

Además, el material elegido para cubrir parte de la superficie colectora deberá garantizar un aislamiento térmico suficiente de los colectores; eso para evitar todo riesgo de sobrecalentamiento. De toda forma, para prevenir el sobrecalentamiento y la consecuente alza de presión en el circuito aislado, se deberá instalar una válvula de seguridad adicional a nivel de dicho circuito.

Por estas razones, no se considera esta opción como realizable.

4.6 Análisis económico

El análisis económico presentado a continuación permite evaluar el costo de inversión inicial del sistema solar combinado (sistema de respaldo no incluido), así como su costo de operación y mantención.

En base a estos elementos se realiza un análisis detallado de la rentabilidad de la instalación según diferentes hipótesis de fluctuación del precio de gas licuado, así como el valor de la tasa de descuento.

4.6.1 Dimensionamiento de la inversión

Los costos de inversión se definen en base a una tasa definida por Transenergía en el estudio de mercado realizado para la CNE en el marco del "Programa de Colectores Solares" 2005-2007: entre \$300.000 y \$500.000 por m² de colector instalado (equipos y mano de obra incluidos). Dicho valor resulta de encuestas dirigidas a proveedores de equipos solares. Se consideró que dicha evaluación se encuentra en pesos a agosto de 2006, fecha aproximada de obtención de los datos.

Cabe notar que la obtención de datos relativos a los colectores (precios, características técnicas de los equipos), tanto en 2006 para dichas encuestas, como en la actualidad, es muy difícil, debido a la naturaleza de este mercado todavía joven en el mercado chileno y aún en pleno desarrollo.

Las evaluaciones siguientes no incluyen los sistemas de respaldo de energía tradicional, ni el piso radiante de alta inercia, ni el contador de energía solar. Se consideró además que el sistema de tratamiento de agua vendrá incluido con el sistema de producción de ACS de energía tradicional, por lo que tampoco está incluido en el monto de la inversión.

La siguiente tabla detalla lo requerido para estimar la inversión de la instalación del sistema solar combinado.

Designación	Detalle
Sistema solar térmico para la producción de ACS y calefacción	138 m ² de colectores solares térmicos de tipo plano con cubierta de vidrio templado y absorbedor selectivo; estructura metálica adecuada con anclajes de hormigón o acero.
	2 tanques de agua verticales, de 3.000 litros unitario, con carcasa de acero con recubrimiento exterior anti-corrosión, manguitos para conexiones y aislamiento.
	Tubería con aislamiento para el circuito primario y secundario, protección mecánica y anti-UV en exterior; accesorios de conexión.
	Bombas; vaso de expansión; intercambiadores a placas; accesorios; fluido caloportador; válvula de 3 vías.
	Mano de obra para la instalación del sistema.
Dispositivo de descarga de la energía.	
Asesoría a la realización del proyecto (desde el proceso de licitación hasta la puesta en marcha).	

Respecto a la inversión relativa al sistema solar, por su complejidad superior al sistema de producción de ACS simple, se consideró un costo de \$500.000 por m² de superficie colectora instalada (en pesos a agosto de 2006), es decir 27,27 UF.

La asesoría se evalúa a un 10% del valor total del proyecto.

A pesar de que se han realizado cotizaciones en Chile para obtener los valores de los aerotermos, a la fecha de elaboración del informe aún no se habían entregado dichos valores, de esta manera, se considerará el valor de dichos equipos en Francia, es decir, unos 4.800 euros⁷ (cada aerotermo de 40 kWh tiene un valor de 2.400 euros y se requieren dos para el Edificio Modelo tipo 1). Considerando los valores actuales del euro (\$729,26 por euro al 12 de mayo de 2008) y de la UF (\$20.012,01 al 12 de mayo de 2008), 4.800 euros equivalen a UF 175.

Se precisa el valor de la inversión en el capítulo “Generación de Flujos de Caja” a continuación.

4.6.2 Costo de mantenimiento y operación

El mantenimiento de un sistema solar combinado, por los sobrecalentamientos que ocurran durante el verano, requiere un seguimiento de mayor frecuencia. Además, dichos sobrecalentamientos pueden provocar escapes del fluido caloportador y deterioración del mismo. Por lo tanto, cada año, a finales del verano, es necesario prever el chequeo de la calidad y la presión del fluido caloportador en el circuito primario y, eventualmente, reemplazar completa o parcialmente.

El contrato de mantenimiento con el proveedor de equipos debería, entonces, comprender el reemplazo de los equipos bajo garantía en caso de falla, la revisión y el llenado anual del circuito primario y visitas periódicas regulares de la instalación, sobre todo antes y después del periodo estival.

Considerando lo anterior, se estima que, en el caso del sistema combinado, el costo del servicio de mantenimiento y la reposición de equipos se evalúa por sobre dos veces sobre el costo del servicio de mantenimiento de un sistema solar de producción de ACS, es decir, \$180.000 por año, o 9 UF por año.

4.6.3 Evaluación económica del proyecto

La presente evaluación analiza el beneficio económico que tendrá la inversión en colectores solares para el bolsillo de los futuros propietarios de los departamentos. De esta manera, ellos son finalmente los inversionistas, dado que percibirán los ahorros en calefacción y pagarán por la inversión en colectores, independientemente que reciban o no subsidios para ello.

⁷ Cotizaciones realizadas por Transenergic.

El análisis económico se basa en un comparativo entre un sistema de producción de ACS y calefacción tradicional a gas licuado, y un sistema de colectores solares respaldado por el mismo sistema tradicional a gas licuado.

La evaluación de los ahorros que generaría cada instalación solar se realizó en base a los costos de los cilindros de gas licuado de 45 kg, tal como se comentó en la sección anterior; a continuación se muestra un resumen del cálculo:

Número de kilos de gas licuado	1
kcal PCS / kg gas licuado	12.100
Número de kcal PCS	12.100
PCI / PCS gas licuado	0,90
Número de kcal PCI	10.890
J / cal	4,1868
Número de J PCI	45.594.252
J / kWh	3.600.000
kWh PCI netos / kg de gas licuado	12,67
Valor de balón de 45 kg de gas licuado (Gasco 12 Mayo 2008)	39.500
\$ / kg de gas licuado	878
\$ / kWh PCI neto	69,31

Nota 1: PCI: Poder Calorífico Inferior, PCS: Poder Calorífico Superior

Nota 2: El valor de kcal PCS/kg de gas licuado se obtuvo del Balance Nacional de Energía para el gas licuado consumido en Chile.

Para dirigir la evaluación económica describiremos paso a paso la metodología que seguiremos, la cual es similar a la analizada en el marco del análisis de la solución solar para la producción de ACS:

Paso I: Generación de los escenarios de evaluación

El cálculo se ha ordenado en diferentes análisis de sensibilidad y diferentes grados de profundidad, los cuales explicamos a continuación.

1. Dimensionamiento de la inversión:

- a. Se considerará un escenario en el cual se utilice un aerotermo para enfriar el agua y evitar sobrecalentamientos en los meses de verano.

2. Se considera realizar el análisis suponiendo que el precio del gas licuado varíe o no en el tiempo para el Edificio 1:

- a. Que los precios del gas licuado no varíen,
- b. Que éstos muestren un incremento acumulado de 33% en los 20 años de vida útil de los equipos: este supuesto responde a lo observado en el documento International Energy Outlook 2007, www.eia.dov.gov, el cual considera tres escenarios de variación del precio del petróleo crudo hasta el año 2030; en el escenario de mayor crecimiento del precio del petróleo (el más extremo), se supone que el precio aumenta constante y linealmente hasta el año 2030, y este aumento acumulado representa un 33% en 24 años. En el presente informe y en este escenario, consideramos que el precio del gas licuado seguirá un patrón parecido al del crecimiento del precio del petróleo, acumulándose un crecimiento de 33% en los próximos 20 años, lo cual representa un crecimiento anual promedio de 1,65%.



c. Que los precios aumenten 10% de manera continuada en cada uno de los 20 años de vida del proyecto: tal como se comentó en el informe 1, este supuesto responde a los aumentos experimentados en el precio del gas en los últimos 7 años, según la CNE.

3. Se analizarán diferentes tasas de descuento para realizar la inversión, dado que el inversionista finalmente le exigirá un cierto nivel de rentabilidad al negocio bajo un escenario de evaluación privada.

a. 8%: Esta es la tasa de descuento social definida por MIDEPLAN para todo tipo de proyectos, sean éstos de electrificación rural o de viviendas sociales. Este valor fue de 12% antiguamente, pero en la actualidad (mayo de 2008) MIDEPLAN lo mantiene en 8%.

b. 10%: Tasa redescuento tradicional que se le exigen a la mayoría de los negocios privados en Chile.

Paso II: Consideración de indicadores financieros

Para cada uno de los escenarios anteriores con sus distintos grados de profundidad, se incluirán los siguientes indicadores financieros:

- Tasa interna de retorno: ésta nos indicará la rentabilidad del negocio, considerando que la inversión se pague justo al final de la vida útil, o sea, que tenga un valor presente neto cero.
- Recuperación de la inversión en años, tanto en términos nominales como reales actualizados por la tasa de descuento.
- Valor presente neto.

Paso III: Análisis de sensibilidad

De manera adicional, se considera analizar el valor al cual debe reducirse el precio del gas licuado para que no sean rentables los proyectos, y otro en el cual se considerarán potenciales ingresos provenientes del mercado de carbono, por eventuales reducciones de emisiones al sustituir consumos de gas licuado por energía solar.

4.6.4 Generación de los flujos de caja

La inversión se colocó en el año cero y, para eliminar el efecto inflación, se llevaron tanto los valores de mantención anual promedio (\$180.000), la inversión, así como el precio promedio anual del gas licuado a Unidad de Fomento, considerando el valor de ésta para el 12 de mayo de 2008 (\$20.012). Por ende, el flujo de caja fue realizado en valores reales, o sea, en Unidades de Fomento. Los valores de la inversión y los ahorros se obtienen de lo comentado anteriormente en el capítulo.

El sistema solar considerado en este caso implica que la energía que desplazaría el uso de colectores solares para calefaccionar y proveer de agua caliente sanitaria ascienden a 95.436 kWh anuales.

A continuación se muestra un resumen de los datos para realizar la evaluación económica:

ACS + Calefacción Edificio 1	Edificio 1
Valor de la UF (12/Mayo/2008)	20.012
Valor de la UF (31/Agosto/2006)	18.336
Ratio de inversión (Miles de \$/m ² moneda de Agosto 2006)	500
Superficie solar colectora (m ²)	138
Inversión para evitar sobrecalentamiento en colectores (UF)	175
Asesoría a la realización del proyecto	10%
Inversión total (UF)	4.314
Inversión (Miles de \$ 12/Mayo/2008)	86.338
kWh de gas licuado evitados por uso de Colectores solares	92.436
Ahorro por sustitución de gas licuado por los colectores (\$/kWh)	69,31
Ahorro por sustitución de gas licuado por los colectores (UF/kWh)	0,003
Costo de mantención anual promedio (Miles de \$/año)	180
Costo de mantención anual promedio (UF/año)	9,0
Número de Deptos	32

A continuación se analizan cada uno de los escenarios, y se muestran sus índices financieros correspondientes:

ACS + Calefacción Edificio 1	Edificio 1		
	sin cambio de precio del gas licuado	con cambio de precio del gas licuado (33% acumulado)	con cambio de precio del gas licuado (10% cada año)
TIR	3,8%	5,3%	13,2%
Recuperación estándar de la inversión	0,0	0,0	8,3
Tasa de descuento de 8%:			
VAN (UF)	-1.260	-862	2.694
VAN (UF/Depto)	-39,4	-26,9	84,2
Recuperación ajustada de la inversión a la tasa de dcto.	0,0	0,0	11,7
Tasa de descuento de 10%:			
VAN (UF)	-1.665	-1.348	1.430
VAN (UF/Depto)	-52,0	-42,1	44,7
Recuperación ajustada de la inversión a la tasa de dcto.	0,0	0,0	13,1

Como se aprecia, la inversión sería negativa en todos los escenarios con excepción de aquel en el cual el precio del gas licuado aumenta 10% anual de manera constante por los próximos 20 años.

4.6.5 Análisis de sensibilidad

Se han considerado dos escenarios de sensibilidad adicionales para considerar en el escenario base:

El valor al cual debiese reducirse el precio del gas licuado para que los proyectos no sean rentables. Potenciales ingresos por reducción de emisiones bajo el mercado de carbono.

4.6.6 Escenario de reducción del precio del gas licuado

Dado que el proyecto no es rentable bajo un escenario en el que los precios se mantengan constantes e iguales al nivel actual por los próximos 20 años, no tiene sentido realizar este análisis de sensibilidad, dado que sólo empeoraría los índices.

4.6.7 Análisis de sensibilidad bajo un ingreso eventual por las reducciones de emisiones de CO₂ que el proyecto de colectores generaría

A continuación se muestra una estimación de las emisiones de CO₂ que el uso de los colectores reduciría al desplazar parte del consumo de gas licuado. Para el cálculo se utilizó la metodología recomendada por el IPCC. Asimismo, se consideró el precio para los proyectos MDL en el EU ETS al 12 de mayo de 2008 (el cual se consideró como el 75% del precio spot publicado en pizarra para las AAU, que era 25,4 euros, obteniéndose 19,05 euros para proyectos MDL), y el tipo de cambio de pesos chilenos a euros al 12 de mayo de 2008.

Edificio 1

Cálculo de emisiones de CO₂ por kWh

kWh reducidos por año promedio:	92.436
Conversión kWh a Joule	3.600.000
Terajoule reducidos por año promedio	0,33277
Factor de emisión de carbono tC/TJ Gas Licuado	17,2
Contenido de carbono Gg C	0,00572
Factor de oxidación	0,995
Emisiones de carbono Gg C	0,00570
Factor para obtención de emisiones de CO ₂	3,667
Emisiones de CO ₂ t CO ₂	21
Factor de emisión del gas licuado (kg CO ₂ / kWh)	0,22590

Estimación de ingresos potenciales bajo el EU ETS

Precio mercado 1 tCO ₂ en el MDL (euros)	€ 19,05
Tipo de cambio pesos / euro	€ 729,26
Ingreso adicional de reducción de emisiones por kWh (\$/kWh)	\$ 3,14
Ingreso adicional de reducción de emisiones por kWh (UF/kWh)	0,0002
Ingreso adicional que generaría reducir emisiones (\$ anuales)	\$ 290.097
Ingreso adicional que generaría reducir emisiones (UF anuales)	14,50

Se aprecia que los colectores reducirían aproximadamente 21 toneladas de CO₂ al año, las cuales de comercializarse en el mercado MDL europeo, representarían un ingreso adicional por edificio de UF 14,50 anuales, o UF 0,0002 por kWh.

Lo anterior es un ejercicio teórico, que no considera otros aspectos comerciales asociados a este tipo de proyectos.

A continuación se muestran los resultados de VAN y TIR para los diferentes escenarios de incorporarse el ingreso adicional por concepto de MDL:

ACS + Calefacción Edificio 1	Edificio 1		
	sin cambio de precio del gas licuado	con cambio de precio del gas licuado (33% acumulado)	con cambio de precio del gas licuado (10% cada año)
TIR	4,3%	5,8%	13,4%
Tasa de descuento de 8%:			
VAN (UF)	-1.117	-719	2.837
VAN (UF/Depto)	-34,9	-22,5	88,6
Tasa de descuento de 10%:			
VAN (UF)	-1.542	-1.224	1.553
VAN (UF/Depto)	- 48,2	- 38,3	48,5

Se aprecia que los ingresos eventuales provenientes del MDL, a precios actuales del EU ETS, mejorarían parcialmente tanto las TIR como los VAN, pero aunque el ingreso adicional por MDL mejora los índices financieros, la visión en conjunto, o la decisión a tomar se mantiene igual a la redactada en el escenario base.

4.6.8 Resumen

Se aprecia que la evaluación privada de la inversión en colectores solares (considerando evitar el sobrecalentamiento a través de un aerotermo) sería rentable sólo bajo un escenario de crecimiento constante de 10% anual del precio del gas licuado, para cualquier tasa de descuento inferior a 13,2%. Esta situación significaría recuperar la inversión entre 12 y 13 años aproximadamente.

Observaciones Adicionales

Tal como se ha explicado anteriormente, la tasa de descuento depende fundamentalmente de la exigencia de rentabilidad del inversionista, que en el caso del Proyecto Ciudad Parque Bicentenario serían los propietarios de los departamentos. De esta manera, nosotros como consultores recomendamos que se considere la tasa del 8% como la tasa a preferir por los residentes, dado que es la tasa social estimada por el MIDEPLAN y, por ende, la tasa conceptualmente apta para tomar la decisión de invertir en el proyecto. Así, el sistema de calentamiento de agua caliente sanitaria complementado con calefacción, y considerando una inversión en aerotermo para evitar sobrecalentamientos en meses de verano, el Edificio Modelo tipo 1 tendría un valor actual neto (VAN) negativo para los escenarios de no variación del precio actual del precio del gas licuado y para el escenario de aumento acumulado de 33% del precio por los próximos 20 años, sería rentable la inversión sólo bajo la posibilidad de que el precio del gas licuado aumente 10% cada año.

4.7 Conclusiones

4.7.1 Síntesis técnica

De manera general, un sistema solar para la calefacción de un edificio colectivo no es recomendado ya que no permite valorizar el potencial energético solar mediante los colectores, lo que impacta negativamente su rendimiento e incluso presenta complicaciones técnicas respecto a su funcionamiento dado que se debe descargar la energía sobrante.

Las necesidades energéticas mensuales para la producción de ACS y la calefacción del Edificio Modelo tipo 1 son totalmente opuestas a la disponibilidad del recurso solar mensual a lo largo del año. Por lo tanto, con la instalación de 138 m² de superficie colectora, que representa la superficie máxima disponible en la azotea del edificio, se obtendrá:

- Una baja cobertura en los meses de mayores necesidades, es decir, en invierno.
- Una cobertura cerca del 100% durante otros 6 meses del año, con riesgo de sobrecalentamiento.

Estos sobrecalentamientos pueden provocar escapes del fluido caloportador y deterioración del mismo, así como un impacto negativo sobre la vida útil de los colectores. Por lo cual se deberá prever un servicio de mantenimiento más importante que en el caso de un sistema solar de producción de ACS, así como un sistema de descarga. Dicho sistema de descarga constituiría en la implementación de aerotermos a agua, dando que no existe otra opción técnicamente confiable.

4.7.2 Síntesis económica

El proyecto de instalación de colectores solares para el agua caliente sanitaria en conjunto con un sistema de calefacción para el Edificio Modelo tipo 1 en el Proyecto Ciudad Parque Bicentenario es muy sensible a diferentes factores, como son el precio de mercado del gas licuado y su evolución en el tiempo, la rentabilidad que exija el inversionista, así como en el monto de la inversión para evitar el sobrecalentamiento en los meses de verano.

Se aprecia que la evaluación privada de la inversión en colectores solares en el Edificio Modelo tipo 1 sería rentable sólo bajo un escenario de crecimiento constante de 10% anual del precio del gas licuado, para cualquier tasa de descuento inferior a 13,2%. Esta situación significaría recuperar la inversión entre 12 y 13 años aproximadamente.

De esta manera, se recomienda no realizar la inversión en el sistema de calefacción en conjunto con el de agua caliente sanitaria.

4.7.3 Síntesis ambiental

Tal como se comentó en el análisis de sensibilidad económico, la utilización de colectores solares para ACS genera reducción de emisiones, pero los potenciales ingresos por bonos de carbono no modifican el resultado económico del proyecto, el cual continúa siendo no rentable. En términos ambientales netamente, las reducciones que se obtienen equivalen aproximadamente a 14 tCO₂.



Anexo 1:

Esquema hidráulico de las instalaciones solares (ACS)

