



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA SANITARIA**

**MÓDULO III DISEÑO Y OPERACIÓN DE INSTALACIONES PARA EDIFICIOS**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE TECNOLOGÍAS SOLARES  
PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA EN EL SECTOR RESIDENCIAL**

**TESINA**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA SANITARIA**

**P R E S E N T A:**

**RAMÍREZ TORRES JOSÉ OSCAR**

**A S E S O R:**

**M. I. CRISTIAN EMMANUEL GONZÁLEZ REYES**



**MÉXICO, D.F.**

**NOVIEMBRE 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Hay hombres que luchan un día y son buenos. Hay otros que luchan un año y son mejores.**

**Hay quienes luchan muchos años, y son muy buenos.**

**Pero hay los que luchan toda la vida, esos son los imprescindibles.**

**Bertolt Brecht**

1898-1956. Dramaturgo y poeta alemán

## **Agradecimientos.**

La vida está llena de sensaciones y momentos que nos rodean, cuando se toma el camino que uno mismo se va forjando desde la infancia, en donde existen sentimientos encontrados que forman el equilibrio del ser en una línea vivencial. En estos caminos me acompañan seres maravillosos que me enseñaron a librar obstáculos y montañas, con sus consejos, apoyo incondicional y brindándome lo más grande que un ser humano puede otorgar, su amor. Hoy como en todo momento, están presentes en cada paso que doy, en cada peldaño ascendido, consciente de que en los momentos de flaqueza siempre estarán ahí apoyándome en la lucha por seguir adelante, por todo ello, agradezco infinitamente a mi **MAMÁ** y **HERMANA**, que han sido parte importante de este proyecto de vida, a ellas les dedico éste trabajo de investigación. Dios me las bendiga siempre.

Asimismo, agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme las puertas del conocimiento adquirido durante toda mi formación académica, dándome la oportunidad de ejercer como profesionista y hoy como especialista en el ramo de Ingeniería Sanitaria.

Quiero externar mi mayor gratitud, a mi director de Tesina y docente de la carrera de Ingeniería Civil en el área de ingeniería ambiental, el M.I. Cristian Emmanuel González Reyes, por sus consejos, su amistad, paciencia, tolerancia y apoyo en la realización de esta investigación.

Agradezco al Dr. Enrique César Valdez y a la M. I. Aida Medina, al ser parte esencial en la decisión de continuar con mis estudios de posgrado a través de la especialidad en ingeniería sanitaria. Gracias por la oportunidad y la confianza depositada en mi persona

Reconozco a mis amigos. Jessica Valenzuela, Oscar San Román, Mariana Amezcua, el Arquitecto Juan Carlos Arzate, Evelyn Pichardo y el M. C. Javier Ordoñez, en particular a mi prima Atenea por el interés, y consejos para poder salir adelante en la culminación de este tema de tesina, los quiero mucho.

NAMASTÉ...

# Resumen

En el presente documento se describe la información necesaria para conocer uno de los temas que en la actualidad han tomado mayor relevancia, como son las energías renovables, algunas de estas utilizan la energía solar como fuente energética, cuyo impacto ecológico es nulo y tiene la característica de ser un recurso inagotable a escala humana, teniendo como dificultades destacadas la variabilidad con la que este tipo de energía llega a la tierra, disminuyendo su eficiencia y aprovechamiento por aspectos geográficos, climáticos y estacionales. El aprovechamiento energético es utilizado con fines térmicos, en el cual la radiación solar se transforma en energía térmica que es utilizada por los diferentes tipos de calentadores solares, y sus componentes para el calentamiento de agua en usos sanitarios del sector residencial. Existen diferentes tecnologías y diseños de calentamiento solar, como las tecnologías de placa plana, tubos evacuados y tubos *head-pipe*, así como los accesorios que conforman el sistema de calentamiento de agua para su correcto funcionamiento. Estos pueden ser incorporados a los hogares reduciendo los costos de adquisición de gas. Las opciones de compra se basan en el monto de la inversión inicial o presupuesto que cumpla con las necesidades básicas del usuario.

Con la aplicación de herramientas del conocimiento como lo es el estudio de factibilidad técnica en el uso de tecnologías solares, y la factibilidad económica mediante la evaluación financiera que integra los costos generados por el consumo de gas pertenecientes a los calentadores tradicionales instalados en las viviendas familiares, por el concepto de calentamiento de agua para usos sanitarios. La obtención de estos costos se realiza a través de la ecuación anexa en la NADF-008-AMBT-2005 la cual permite obtener valores en relación al **Consumo energético anual** que tienen las viviendas habitadas por 4.5 personas en promedio. El uso de calentadores solares genera beneficios principalmente económicos, mediante el ahorro energético que proporcionan los equipos de tecnología solar térmica. El beneficio ambiental dado por el uso de calentadores solares proporciona una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, como el CO<sub>2</sub> emitido por la quema de combustibles fósiles en el uso de calentadores tradicionales. Los indicadores de rentabilidad económica, como el tiempo de recuperación de la inversión, y el valor presente neto, son utilizados con fines de determinar los valores futuros estimados en el consumo de gas otorgando así la información complementaria para que el usuario se incorpore al uso de dichas tecnologías de calentamiento solar en la adquisición de calentadores solares.

# ÍNDICE

	Pág.
Resumen.....	ii
<b>1 Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Antecedentes .....	3
1.2.1 El Protocolo de Kioto .....	3
1.3 La energía solar térmica en México.....	5
1.4 Marco regulatorio y legislativo en el sector de energía térmica .....	6
<b>2 Conceptos básicos de la energía solar .....</b>	<b>10</b>
2.1 Energía solar .....	10
2.1.1 Radiación solar. ....	10
2.1.2 La Constante Solar .....	11
2.2 Formas de transmisión de calor .....	13
2.3 Tipos de radiación solar .....	14
2.4 El efecto invernadero .....	16
2.5 Capacidad calorífica o masa térmica.....	17
2.6 Energía solar térmica.....	17
2.7 Medición de radiación solar en México .....	18
<b>3 Estado del arte de la industria de los calentadores solares.....</b>	<b>24</b>
3.1 Introducción.....	24
3.2 Clasificación de calentamiento solar.....	25
3.3 Descripción general de un colector solar plano .....	26
3.4 Funcionamiento y componentes de un colector solar de placa plana .....	28
3.4.1 Cubierta transparente.....	29
3.4.2 El absorbedor.....	30
3.4.3 El aislamiento posterior .....	31
3.4.4 Carcasa.....	31
3.4.5 Productos comercializados en México .....	31

3.5	Colector de tubos de vacío .....	32
3.5.1	El tubo de calor (heat-pipe) .....	33
3.5.2	El colector.....	34
3.5.3	Productos comercializados en México .....	37
3.6	Colectores solares de copolímero (plástico).....	37
3.6.1	Componentes.....	37
3.6.2	Funcionamiento .....	38
3.6.3	Características del colector.....	38
3.7	El almacenamiento .....	39
3.7.1	Características y especificaciones del termotanque. ....	41
3.8	Criterios para una correcta elección de un colector solar .....	41
3.8.1	Especificaciones técnicas.....	42
<b>4</b>	<b>Configuración e Instalación de calentadores solares de agua .....</b>	<b>59</b>
4.1	Configuraciones básicas de instalación.....	59
4.1.1	Principio de circulación .....	60
4.1.2	Sistema de expansión.....	62
4.1.3	Sistema de intercambio. ....	63
4.2	Configuraciones de conexión. ....	63
4.2.1	Conexión en serie.....	64
4.2.2	Conexión en paralelo.....	65
4.2.3	Conexión en serie-paralelo.....	65
4.3	Orientación e inclinación .....	66
4.3.1	Orientación.....	66
4.3.2	Inclinación.....	68
4.4	Integración arquitectónica.....	69
4.5	Distancia entre captadores solares .....	70
4.6	Estructuras de soporte .....	71
4.7	Sistema de calentamiento auxiliar (calentadores de Gas).....	72
4.8	Condiciones de instalación.....	74
<b>5</b>	<b>Estudio de factibilidad.....</b>	<b>76</b>
5.1	Evaluación económica .....	76
5.2	Análisis costo – beneficio.....	76

5.2.1	Escenario 1. Viviendas sin calentador solar .....	77
5.2.2	Costos de calentadores tradicionales .....	77
5.2.3	Consumo de gas en el sector residencial.....	77
5.2.4	Cálculo del consumo energético anual por utilización de agua caliente.....	78
5.2.5	Consumo anual de gas en el sector residencial .....	81
5.2.6	Determinación del costo del consumo anual de gas natural .....	81
5.2.7	Determinación del costo del consumo anual de gas L.P. suministrado a tanque estacionario ..	83
5.2.8	Determinación del costo del consumo anual de gas L.P. suministrado en cilindros.....	84
5.3	Indicadores de rentabilidad económica .....	86
5.3.1	Valor presente neto .....	86
5.3.2	Análisis económico para viviendas con sistema de calentamiento tradicional .....	87
5.4	Escenario 2. Viviendas que cuentan con un sistema de calentamiento solar .....	90
5.4.1	Costos de calentadores solares .....	90
5.4.2	Costo de instalación.....	91
5.4.3	Costos de mantenimiento .....	91
5.5	Beneficios.....	92
5.5.1	Beneficio económico .....	93
5.5.2	Disminución en el consumo de energía por el uso de tecnología solar térmica.....	93
5.5.3	Porcentaje de ahorro energético .....	95
5.5.4	Ahorro anual de combustibles.....	96
5.5.5	Cálculo del ahorro en el consumo de gas natural .....	96
5.5.6	Cálculo del ahorro en el consumo de gas L.P.....	98
5.5.7	Beneficio ambiental .....	101
5.6	Análisis económico para viviendas que cuentan con calentador solar .....	104
5.6.1	Tiempo de recuperación de la inversión.....	110
5.7	Comparativa de resultados.....	111
<b>6</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>114</b>
6.1	Conclusiones.....	114
6.2	Recomendaciones.....	116
	<b>Referencias .....</b>	<b>118</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>121</b>



# Índice de figuras, tablas y gráficas

---

## Figuras

	Pág.
Figura 1.1 Mapa de radiación solar en México .....	5
Figura 2.1 Componentes de la radiación electromagnética .....	11
Figura 2.2 Efectos de la radiación solar en una superficie brillante .....	14
Figura 2.3 Efectos de la radiación solar en una superficie oscura .....	14
Figura 2.4 Absorción de la radiación directa por una superficie .....	15
Figura 2.5 Absorción de la radiación difusa por una superficie.....	15
Figura 2.6 Tipos de radiación que inciden sobre una superficie inclinada .....	16
Figura 2.7 Esquemización del efecto invernadero .....	16
Figura 3.1 Calentador solar tipo colector plano.....	27
Figura 3.2 Corte transversal de un colector plano .....	27
Figura 3.3 Componentes de un colector solar plano.....	28
Figura 3.4 Corte transversal de un colector de placa plana sin concentración .....	28
Figura 3.5 Colector solar de tubos evacuados al vacío .....	32
Figura 3.6 Fenómeno de radiación solar en una superficie reflejante curva.....	33
Figura 3.7 Sección tubo de vacío.....	33
Figura 3.8 Componentes de un colector de tubos de vacío .....	36
Figura 3.9 Componentes de un colector solar plástico .....	37
Figura 3.10 Colectores solares utilizados para el calentamiento de agua en albercas .....	38
Figura 3.11 Diferencial de temperaturas dentro de tanques térmicos.....	39
Figura 3.16 Etiqueta de rendimiento y eficiencia térmica .....	49
Figura 4.1 Esquema de una instalación solar por termosifón .....	61
Figura 4.2 Esquema de instalación solar con configuración de circulación forzada .....	62
Figura 4.3 Conexión de colectores solares en serie.....	64
Figura 4.4 Conexión de colectores solares en paralelo .....	65
Figura 4.5 Conexión de colectores en serie-paralelo .....	65
Figura 4.6 Orientación de instalación de calentadores solares .....	66
Figura 4.7 Inclinación y orientación de colocación de C.S.A.....	66
Figura 4.8 Método de localización del sur geográfico.....	67

<b>Figura 4.9 Integración arquitectónica de colectores solares.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 4.10 Distancia mínima entre filas consecutivas de colectores solares .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 4.11 Estructuras de montaje para calentadores solares .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 4.12 Instalación solar con sistema de calentamiento auxiliar .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 5.1 Costo de calentadores convencionales de gas .....</b>	<b>77</b>

## **TABLAS**

**Pág.**

<b>Tabla 2.1 Distribución de la longitud de onda para la radiación electromagnética .....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 3.1 Condiciones climáticas para la prueba de exposición, resistencia a alta temperatura y choque termico externo.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 3.2 Presiones de trabajo de resistencia en calentadores solares de agua .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 3.3 Ahorro en el consumo de gas .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 3.4 Rendimiento térmico del colector solar.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 3.5 Vida útil de colectores solares por tipo de tecnología .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 5.1 Eficiencia térmica mínima para calentadores domésticos y comerciales, con base en el poder calorífico interior .....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 5.2 Costo anual de comercialización de gas natural por uso de calentadores de agua .....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla 5.3 Resumen de costos por uso de calentadores de gas en las viviendas .....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 5.4 Flujos de caja por consumo de gas.....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 5.5 Equipos, modelos y costos de calentadores solares de agua.....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 5.6 Ahorro anual de gas natural utilizando calentadores de placa plana .....</b>	<b>97</b>
<b>Tabla 5.7 Ahorro anual de gas natural utilizando calentadores solares de tubos evacuados.....</b>	<b>97</b>
<b>Tabla 5.8 Resumen de ahorros y costos de gas L.P. por el uso de calentadores solares de agua .....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 5.9 Huella de carbono por algunos productos consumidos.....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 5.10 Factibilidad ambiental por el uso de calentadores solares .....</b>	<b>102</b>
<b>Tabla 5.11 Inversión inicial por la adquisición de calentador solar de placa plana.....</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 5.12 Inversión inicial de la adquisición de calentador de tubos evacuados.....</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 5.13 Costo – beneficio del uso de calentadores solares de placa plana.....</b>	<b>106</b>
<b>Tabla 5.14 Costo – beneficio del uso de calentadores solares de tubos evacuados .....</b>	<b>107</b>
<b>Tabla 5.15 Flujos de efectivo del C.S.A de placa plana auxiliado con un calentador convencional de gas .....</b>	<b>108</b>

<b>Tabla 5.16</b>	<b>Flujos de efectivo del sistema de C.S.A de tubos evacuados auxiliado con un calentador convencional de gas.....</b>	<b>108</b>
<b>Tabla 5.17</b>	<b>VPN del sistema de calentamiento solar de placa plana y equipo de calentamiento auxiliar a gas.....</b>	<b>109</b>
<b>Tabla 5.18</b>	<b>VPN del sistema de calentamiento solar de tubos evacuados y equipo de calentamiento auxiliar a gas.....</b>	<b>109</b>
<b>Tabla 5.19</b>	<b>Periodo de recuperación de la inversión de calentadores de placa plana.....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 5.20</b>	<b>Periodo de recuperación de la inversión del sistema de calentamiento de agua mixto 1 ..</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 5.21</b>	<b>Periodo de recuperación de la inversión de calentadores de tubos evacuados .....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 5.22</b>	<b>Periodo de recuperación de la inversión del sistema de calentamiento de agua mixto 2 ..</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 5.23</b>	<b>Comparativa de resultados del uso de calentadores de placa plana con respecto a calentadores convencionales .....</b>	<b>111</b>
<b>Tabla 5.24</b>	<b>Comparativa de resultados del uso de calentadores solares de tubos evacuados con respecto a calentadores convencionales.....</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 5.25</b>	<b>Comparativa de tecnologías de calentamiento solar .....</b>	<b>113</b>

## **Gráficas**

	<b>Pág.</b>	
<b>Gráfica 1.1</b>	<b>Total de emisiones GEI en México 2006 .....</b>	<b>4</b>
<b>Gráfica 2.1</b>	<b>Comportamiento de la constante solar .....</b>	<b>12</b>
<b>Gráfica 3.1</b>	<b>Curva característica de un colector de tubos de vacío .....</b>	<b>36</b>
<b>Gráfica 4.1</b>	<b>Ecuación del tiempo.....</b>	<b>68</b>
<b>Gráfica 5.1</b>	<b>Distribución del consumo de combustibles en el sector residencial.....</b>	<b>78</b>

## Abreviaturas y Siglas

<b>ACS</b>	Agua Caliente Sanitaria
<b>CEA</b>	Consumo Energético Anual
<b>CERs</b>	Certificado de reducción de emisiones
<b>CFE</b>	Comisión Federal de Electricidad
<b>CONUEE</b>	Comisión Nacional Para el Uso Eficiente de la Energía
<b>CSA</b>	Calentador solar de agua
<b>DIT</b>	Dictamen De Idoneidad Técnica
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>INFONAVIT</b>	Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores
<b>IVA</b>	Impuesto al Valor Agregado
<b>LAERFTE</b>	Ley Para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética
<b>LASE</b>	Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
<b>MCD</b>	Módulo de Control Diferencial
<b>ONCEE</b>	Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>PAE</b>	Porcentaje de Ahorro Energético
<b>PROFECO</b>	Procuraduría Federal del Consumidor
<b>PRONASE</b>	Programa Nacional Para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
<b>RAMA</b>	Red Automatizada de Monitoreo Ambiental
<b>SEMARNAT</b>	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SENER</b>	Secretaría de Energía
<b>SMN</b>	Servicio Meteorológico Nacional

# 1 Introducción

El uso de energías renovables mediante calentadores solares, se debe entender, como una exigencia inevitable, tanto desde un punto de vista social como técnico, el aumento exponencial del consumo de energía, relacionado con el desarrollo tecnológico de las sociedades post-industriales que conlleva afecciones ambientales. Con las nuevas regulaciones que limitan las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera como es el caso del  $\text{CO}_2$ , conducen a la búsqueda de fuentes de energía no contaminantes, especialmente aquellas que aprovechan la energía a través de la radiación solar, como la tecnología solar térmica utilizada por los calentadores solares de agua.

En nuestro país el consumo masivo de hidrocarburos y el aumento en los niveles de dióxido de carbono, los cuales se emiten a la atmósfera a través de la quema de combustibles fósiles como el gas natural y el gas L.P., son factores que producen una parte de las alteraciones al medio ambiente. Según las cifras de la ONU se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1.4 y 5.8 °C durante los próximos 100 años, lo anterior, se conoce como **calentamiento global**, su principal causa es la emisión de **gases de efecto invernadero**.

México tiene tratados y convenios internacionales que son aprobados, mediante los cuales tiene la obligación de reducir las emisiones GEI bajo el protocolo de Kioto, asumiendo compromisos obligatorios de reducción para después del 2012 y antes del 2020.

México se localiza geográficamente entre los 14° y 33° de latitud septentrional, situación que resulta ideal para el aprovechamiento de la energía solar, ya que la irradiación global media diaria en el territorio nacional es de alrededor de 5.5 kW/m<sup>2</sup>, dichas cifras colocan al país dentro de los primeros lugares en el mundo para el aprovechamiento de las energías renovables, las cuales ofrecen más que energía, se reducen los riesgos de la volatilidad en los precios de adquisición de los hidrocarburos, contribuyen a la seguridad energética, mitigan el cambio climático, reducen los impactos locales en el medio ambiente y la salud, promueven el desarrollo regional y crean empleos.

Anteriormente las viviendas contaban con tecnologías de calentamiento de agua que utilizan combustibles fósiles, como el gas natural, el gas L.P. para elevar la temperatura del agua a un máximo de 50° y así aprovecharla en usos sanitarios.

El consumo de dichos combustibles genera un impacto económico para el sector residencial, ya que con los incrementos mensuales en la tarifas de gas, cada vez las familias se ven más afectadas por el uso de las tecnologías convencionales. Por lo cual se debe concientizar a la gente sobre el uso eficiente de la energía en el calentamiento de agua, a medida de que se genere una cultura por el ahorro de dichos recursos naturales. En este ámbito se ha observado que los consumos de gas varían en los diferentes tipos de vivienda, en los usos y costumbres de las personas, así como el tipo de clima y la región en donde habitan, estos pueden ser cálidos, semicálidos, templados o fríos.

## **1.1 Objetivos**

### **Objetivo general.**

Determinar la factibilidad técnica y económica del uso y aprovechamiento de la energía solar térmica en el sector residencial.

### **Objetivos específicos**

- Establecer los lineamientos y criterios para el uso e instalación de calentadores solares de agua en el sector residencial
- Determinar variables financieras que indiquen la factibilidad económica del uso de tecnologías de calentamiento solar térmico en comparación con tecnologías que involucran el uso de gas LP.

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 El Protocolo de Kioto

El 11 de diciembre de 1997 en la ciudad de Kioto en Japón, los países industrializados se comprometieron a ejecutar un conjunto de medidas para reducir sus emisiones totales de seis gases de efecto invernadero, tales como: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) en un 5.2% de la media de las emisiones contaminantes generadas entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles alcanzados en 1990. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004

EL objetivo principal del protocolo de Kioto busca que para el periodo 2008-2012, los países desarrollados disminuyan sus emisiones totales de gases, reduciendo los efectos del cambio climático de origen antropogénico cuya base es el efecto invernadero. Este protocolo estableció un instrumento denominado Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), mediante el cual los países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de GEI dentro de países en desarrollo y recibir a cambio Certificados de Reducción de Emisiones (CERs por sus siglas en inglés), comercializándolos en un mercado internacional a través de la venta de bonos de carbono.

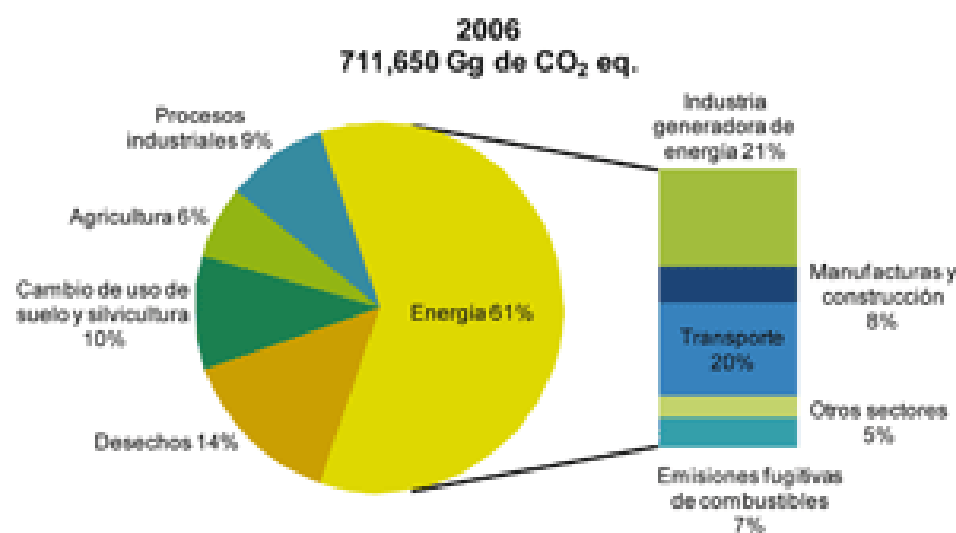
Según las cifras de la ONU se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1.4 y 5.8 °C durante los próximos 100 años, esto se conoce como calentamiento global, su principal causa es la emisión de gases de efecto invernadero.

En este sentido, nuestro país es signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), donde México se compromete a “formular, aplicar, publicar, y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático.

Como país en desarrollo, México tiene tratados y convenios internacionales que son aprobados por el Senado de la Republica, de acuerdo con la legislación mexicana las cuales tienen la obligación de reducir las emisiones GEI bajo el protocolo de Kioto. No obstante, dado que las emisiones nacionales se incrementan año con año, la asociación ambiental GREENPEACE considera que México, así como otros países en desarrollo, deben asumir compromisos obligatorios de reducción para después del 2012 y antes del 2020

### Situación de México en cuanto a emisiones GEI

- México contribuye con el 1.6% de las emisiones mundiales.
- Se encuentra entre los 25 países con más emisiones
- La generación de energía representa en la **gráfica 1.1** el 61% de los gases de efecto invernadero
- La mayor parte de energía se genera por la combustión de hidrocarburos.



Gráfica 1.1 Total de emisiones GEI en México 2006

Fuente: INE-SEMARNAT. *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2006.*



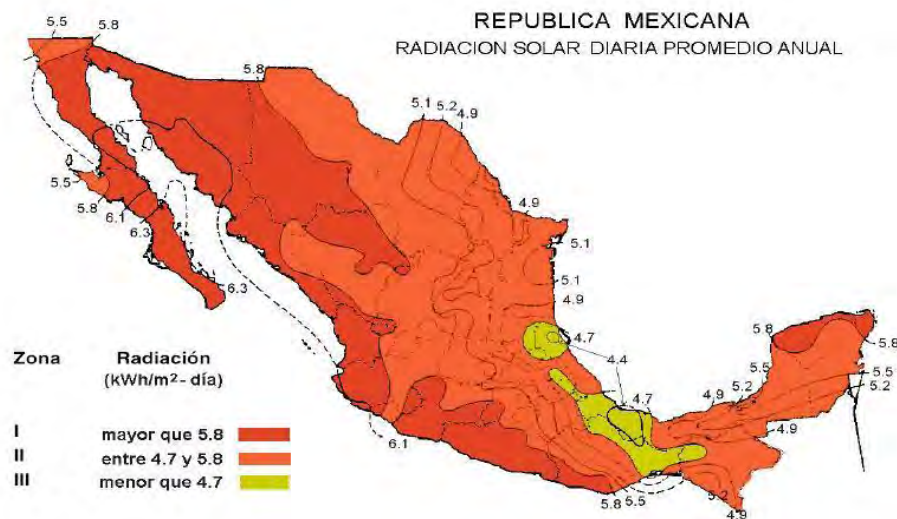
### 1.3 La energía solar térmica en México

- **Situación actual**

México está ubicado geográficamente en una de las áreas de mayor radiación solar en el mundo, factor que juega a favor de México a la hora de emplear el gran potencial de aprovechamiento de la energía solar térmica. Sin embargo, por herencia de la abundancia de hidrocarburos de origen propio y el bajo precio del gas, durante las últimas décadas han situado a los calentadores convencionales de gas prácticamente como la única tecnología para la producción de agua caliente.

Consecuencia de esta trayectoria de consumo energético hacen a México el mayor consumidor de gases licuados del petróleo del mundo. El actual panorama tendencial de rápido incremento del precio de los hidrocarburos, incluyendo el gas natural, hacen que México se vea abocado a una búsqueda urgente de otras fuentes de energías para cubrir esta demanda energética.

El desarrollo de la energía solar en México cuenta con una herramienta básica, cuantificar el recurso a nivel nacional a través del mapa de radiación solar que se muestra en la **Figura 1.1** el cual fue elaborado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas. Se estima que el recurso solar en el territorio mexicano alcanza unos valores diarios de radiación comprendidos entre  $4,4 \text{ kW/m}^2$  y  $6,3 \text{ kW/m}^2$ .



**Figura 1.1** mapa de radiación solar en México

**Fuente:** Instituto de Investigaciones Eléctricas

## 1.4 Marco regulatorio y legislativo en el sector de energía térmica

El actual marco legislativo mexicano es un buen reflejo de los cambios que se están produciendo en el sector de las energías renovables y de la eficiencia energética. En noviembre del 2008 se publicaron dos importantes leyes sobre la materia

- Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición energética y su Reglamento (LAERFTE).
- Ley para el aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE).

Las características principales de estas dos leyes se resumen a continuación:

### **Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y El Financiamiento de la Transición Energética y su Reglamento (LAERFTE):**

El objetivo de la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética y su Reglamento (LAERFTE), publicada el 28 de Noviembre del 2008, es regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la presentación del servicio público de energía, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética.

Con el fin de fortalecer las instituciones de regulación del sector, siendo esta una de las estrategias consideradas dentro del Plan Nacional de Desarrollo, la Ley amplía y complementa las atribuciones otorgadas a la Secretaría de Energía y la Comisión Reguladora de Energía.

Otras disposiciones de la Ley son la elaboración del programa especial para el aprovechamiento de energías renovables que establece los objetivos y metas específicas a alcanzar en materia de energía renovable en el 2012; el establecimiento de la estrategia nacional para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía, ambos mencionados en el punto anterior; la realización y actualización, por parte de la Secretaría de Energía, del inventario nacional de las energías renovables, así como la creación de un fondo para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía, entre otros.

**Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE):**

Tanto la ley como el Reglamento tienen por objeto propiciar un aprovechamiento sostenible de la energía, mediante el uso óptimo de la misma en todos sus procesos y actividades, desde su explotación hasta su consumo. Los aspectos más relevantes de la Ley son los siguientes:

- La elaboración del Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE)
- La creación de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.
- La creación del Consejo Consultivo para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía el cual tiene por objeto evaluar el cumplimiento de los objetivos, estrategias, acciones y metas establecidos en el PRONASE
- Implementación y actualización del Subsistema Nacional de Información para el Aprovechamiento de la energía cuyo objeto, entre otros, es registrar, organizar, actualizar y difundir la información sobre consumo de energía, los usos finales y los factores que impulsan esos usos finales, así como los indicadores de eficiencia energética en los diferentes sectores y subsectores
- Desarrollo de un programa para la certificación de procesos, productos y servicios respecto al grado de incorporación de la eficiencia energética, del cumplimiento de la normatividad aplicable y de los parámetros y estándares internacionales.
- Registro de los fondos y fideicomisos que tengan por objeto apoyar el aprovechamiento sostenible de la energía y que hayan sido constituidos por el Gobierno Federal, reciban recursos federales o en los cuales el Gobierno Federal constituya garantías.
- Elaboración y publicación de un catálogo de los equipos y aparatos que requieran energía para su funcionamiento con la información técnica sobre sus consumos

- Desarrollo de las metodologías para cuantificar emisiones de GEI por la explotación, producción, transformación, distribución y consumo de energía; así como para cuantificar el uso de energéticos, determinar el valor económico del consumo y el de los procesos evitados derivados del aprovechamiento sostenible de la energía
- Inclusión de leyendas que promuevan el uso eficiente de la energía en los recibos y facturas de las empresas y Organismos del Sector Energía

El marco regulatorio que controla el uso de la energía solar térmica, además del expuesto en el apartado general del marco regulatorio y legislativo anterior, viene definido por los siguientes documentos y Normas Aplicables:

- **NADF-008-AMBT-2005**. Norma Ambiental para el Distrito Federal

Establece las Especificaciones Técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavandería y tintorería.

Especificaciones Generales:

- Las albercas y/o fosas de clavados que utilicen agua caliente, instalarán un sistema de calentamiento de agua por medio del aprovechamiento de la energía solar.
- Los establecimientos medianos y grandes instalarán en los usos que requieran de agua caliente un sistema de calentamiento de agua por medio del aprovechamiento de la energía solar.
- La capacidad mínima de operación del sistema de calentamiento de agua por medio del aprovechamiento de la energía solar deberá ser tal que provea al menos 30% del consumo energético en utilización de agua caliente sanitaria (CEA), para cada establecimiento esta será de carácter **obligatorio**

**NMX-ES-001-NORMEX-2005.** Energía Solar-Rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua- Métodos de prueba y etiquetado.

**Objetivo.**

Establecer los métodos de prueba para determinar el rendimiento térmico y las características de funcionalidad de los colectores solares que utilizan como fluido de trabajo agua, comercializados en México.

**Campo de Aplicación.**

Esta Norma aplica a los colectores solares que proporcionen únicamente agua caliente en fase líquida

**NMX-ES-002-NORMEX-2007.** “Definiciones y terminología”

**Objetivo**

Establece los vocablos, simbología y la definición de los conceptos más usados en el campo de la investigación y el desarrollo de la tecnología para el mejor uso de la radiación solar como fuente alternativa de energía.

**Campo de Aplicación**

En los campos relacionados con la energía solar Térmica y sus aplicaciones

**NMX-ES-003-NORMEX-2007.** “Requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos de calentamiento de agua”

**Objetivo, alcances y campo de aplicación**

La aplicación se extiende a todos los sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctricos, electrónicos y demás que forman parte de las instalaciones de sistemas termosolares,

Su objetivo es fijar las condiciones técnicas mínimas que deben cumplir las instalaciones de sistemas para calentamiento solar de líquidos, especificando los requisitos de durabilidad, confiabilidad y seguridad.

La verificación de todos los parámetros limitantes que se indican en la presente Norma Mexicana, se hará con base en la memoria técnica del proyecto hidráulico, eléctrico y térmico

**NMX-ES-004-NORMEX-2010.** “Evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua”, Método de prueba

### **Objetivo y Campo de aplicación.**

Establecer el método de ensayo (prueba) para evaluar y comparar el comportamiento térmico de sistemas de calentamiento de agua solares, principalmente para uso doméstico hasta una capacidad máxima de 500 litros y hasta una temperatura máxima de calentamiento de 90 °C como dominio de temperaturas de agua caliente

Aplica a los sistemas de calentadores solares domésticos para calentamiento de agua

**DICTAMEN DE IDONEIDAD TÉCNICA (DIT) del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONCEE).** “Especificaciones para determinar el ahorro de gas L.P. en sistemas de calentamiento de agua que usan la energía solar y el gas”

### **Objetivo**

Este dictamen establece las especificaciones que deben cumplir los sistemas de calentamiento de agua (en adelante denominados “sistemas”), cuya fuente de energía sea la radiación solar y como respaldo utilice un calentador de agua con fuente de energía a gas L.P., gas natural, energía eléctrica o cualquier otra. Además establece los métodos de prueba para su verificación y los requisitos de marcado y etiquetado.

## **Campo de Aplicación**

Este documento aplica a todos los sistemas de calentamiento de agua para todos los programas de vivienda que establezcan o instrumenten las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal (APF), centralizada y paraestatal, así como los Organismos del servicio social cuya función sea otorgar financiamiento a la vivienda para su adquisición, y en consecuencia se debe observar que el calentador solar de agua que se instale en la vivienda tenga como respaldo para su operación una fuente de energía convencional, ya sea de gas L.P., gas natural o de cualquier otra, para propiciar su funcionamiento ininterrumpido en el calentamiento de agua.

Los sistemas pueden ser integrados (auto contenidos), el calentador solar y el calentador de respaldo en un solo aparato o separados, el calentador solar acoplado al calentador de respaldo. Los calentadores solares solos (sin respaldo) pueden verificarse de acuerdo con este documento, en cuyo caso quedarán exentos de cumplimiento de la prueba de ahorro de gas

## 2 Conceptos básicos de la energía solar

### 2.1 Energía solar

El sol, situado a una distancia de la Tierra de 143 millones de kilómetros, es una esfera de alrededor de 1,4 millones de km de diámetro que contiene gases como helio e hidrógeno a una alta temperatura; esta alta temperatura aunada a una presión 70 billones de veces más alta que la de la atmósfera produce una liberación de energía desde el centro de la esfera solar hacia el exterior. De esta manera y desde hace millones de años, una cantidad inmensa de energía proveniente del sol llega cada día a la superficie terrestre y este proceso seguirá produciéndose durante millones de años.<sup>1</sup>

Esta energía puede ser capturada por elementos y aprovecharla en forma de calor (energía solar térmica); aunque no toda la energía proveniente del sol es utilizable, se calcula que el potencial de energía solar aprovechable anualmente, con la tecnología actual, es mil veces superior al consumo energético anual de la población mundial.

#### 2.1.1 Radiación solar.

Es la energía emitida por el sol (rayos solares) en forma de ondas electromagnéticas que se desplazan en el espacio en todas direcciones.

La **Figura 2.1**, muestra los componentes de la radiación electromagnética (bandas de radiación) y la **Tabla 2.1**, la distribución de sus longitudes de onda.

---

<sup>1</sup> La cantidad de radiación solar que recibe un punto determinado de la superficie terrestre se denomina insolación, y su intensidad depende de diversos factores. Así, si el sol se mantiene perpendicular en relación con un punto de la superficie de la Tierra, el nivel de insolación será superior: la claridad del día también afecta, de modo que a mayor nubosidad, nivel de contaminación o nieblas, menor grado de insolación; las rotaciones de la Tierra sobre su propio eje (Noche y Día) y alrededor del sol (variaciones estacionales) son determinantes en el nivel de insolación de la superficie terrestre. El mayor nivel de insolación que puede recibir la superficie de la tierra es de 1000 watts por metro cuadrado. Fuente. Renewable Energy Education Module, Center for Renewable Energy and Sustainable Technology. En Internet, <http://solstice.crest.org/renewable/re-kiosk/index.shtml>





Figura 2.1 Componentes de la radiación electromagnética

Tabla 2.1 Distribución de la longitud de onda para la radiación electromagnética

Banda de radiación	Longitud de onda	Valor
Infrarrojo (onda larga)	0.7 – 3.5 $\mu\text{m}$	46%
Visible (perceptible al ojo humano)	0.4 – 0.7 $\mu\text{m}$	47%
Ultravioleta (onda corta)	0.29 – 0.4 $\mu\text{m}$	7%

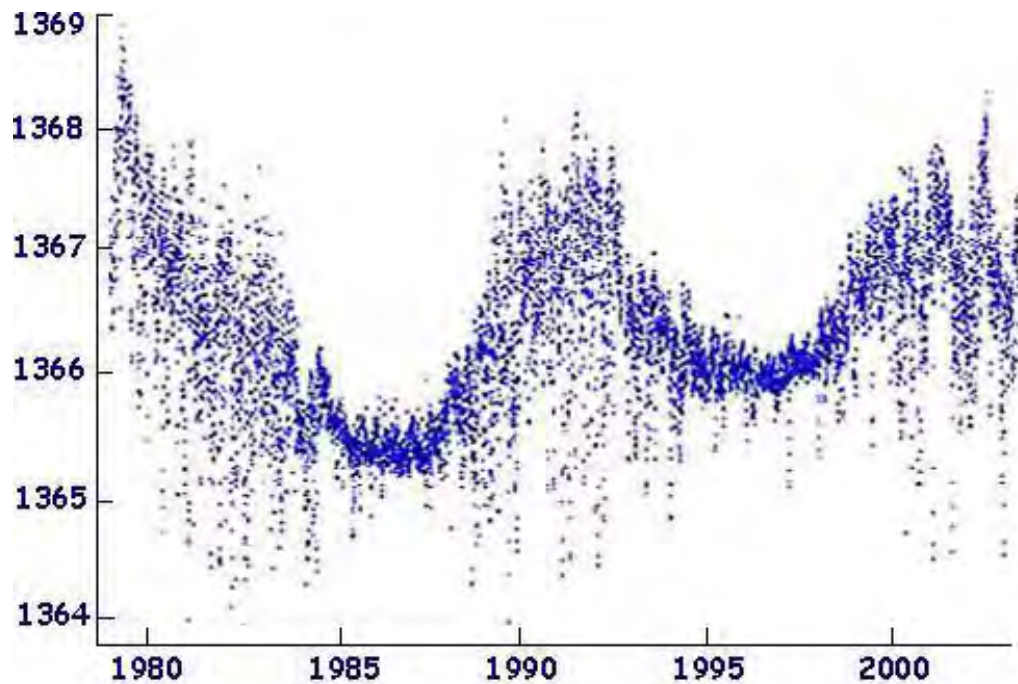
Fuente: Instituto de Geofísica UNAM 2005

Todas estas radiaciones inciden sobre los límites exteriores de la atmósfera terrestre y tienen un valor aproximado de irradiación de  $1367 \text{ W/m}^2$ , el cual es conocido como valor de la constante solar.

### 2.1.2 La Constante Solar

La constante solar  $G_{sc}$ , es la energía proveniente del sol por unidad de tiempo, recibida en un área de superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación, a una unidad astronómica fuera de la atmósfera. El centro de radiación mundial (WRC, por sus siglas en inglés), ha adoptado el valor de  $1.367 \text{ W/m}^2$  ( $1.960 \text{ cal/cm}^2$ ,  $433 \text{ BTU/ft}^2\text{hr}$ , o  $4.921 \text{ MJ/m}^2\text{hr}$ ).

La “constante solar” no es precisamente un valor constante, puesto que depende de la intensidad de las manchas solares las cuales presentan variaciones imperceptibles menores al 1 % en cada ciclo de 11 años. La **Gráfica 2.1** muestra la variación de la constante solar en un periodo de veinte años.



Gráfica 2.1 Comportamiento de la constante solar (1978 - 2003)

Fuente: <http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/2003/0313irradiance.html>

El valor de la constante solar también puede calcularse empleando la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{4\pi d^2}$$

Dónde:

P = Energía irradiada por el sol durante un segundo ( $4 \times 10^{26}$  J)

$d^2$  = Distancia existente entre el sol-Tierra (149.5 millones de km)

## 2.2 Formas de transmisión de calor

Para comprender el comportamiento térmico de los sistemas de calentamiento de agua, es muy importante conocer las formas o mecanismos de transmisión de calor. El calor es un estado de agitación molecular que se propaga de un cuerpo a otro y se realiza de tres formas diferentes.

- **Conducción.** Ocurre cuando la energía calorífica viaja de una molécula a otra, existiendo un contacto físico directo. Un ejemplo de ello es cuando se calienta un sartén en una parrilla eléctrica.
- **Convección.** Se presenta en los fluidos, mismos que al calentarse se expanden y hacen que cada una de sus unidades volumétricas se vuelvan más ligeras, provocando que el calor escape hacia arriba dando lugar a corrientes llamadas de convección. Este tipo de corrientes las podemos observar en el vapor que se genera cuando calentamos agua en un recipiente.
- **Radiación.** A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no necesita de un medio físico para propagarse; puede atravesar el vacío transmitiendo la energía de un cuerpo caliente a uno frío en forma de radiación electromagnética, y su intensidad depende de la temperatura a la que se encuentre. Ejemplo de ello es el sol que transmite su energía a la tierra por radiación.

La energía radiante que incide sobre un cuerpo se transforma en calor y su capacidad de absorción depende mucho del color que éste tenga. Por ejemplo una superficie de color negro absorbe mucho más radiación que una de color blanco, esto debido a que la segunda refleja casi toda la radiación que le llega, las **figuras 2.2 y 2.3** representan los efectos de la radiación solar en las superficies.

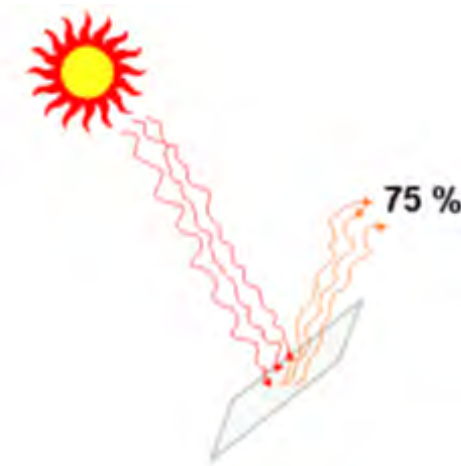


Figura 2.2 Efectos de la radiación solar en una superficie brillante



Figura 2.3 Efectos de la radiación solar en una superficie oscura

## 2.3 Tipos de radiación solar

La radiación solar que recibe la superficie terrestre se manifiesta de tres maneras diferentes:

- a) **Radiación Directa.** Proviene directamente del sol, es aquella que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de la propia radiación y se caracteriza por ser una luz cegadora. Una superficie captadora absorberá mayor radiación directa, si se instala con una inclinación que la coloque perpendicularmente a los rayos solares. De lo contrario tendrá pérdidas que pueden incrementarse. La **Figura 2.4** representa el efecto de la radiación directa.



Figura 2.4 Absorción de la radiación directa por una superficie

**b) Radiación Difusa.** se genera cuando los rayos solares, son interceptados o reflejados por cualquier partícula que se encuentra suspendida en la atmósfera como es el caso de las nubes, teniendo una radiación más débil que la directa, la cual es térmicamente aprovechable. La radiación solar difusa diaria se registra de manera general entre las seis de la mañana y las seis de la tarde.

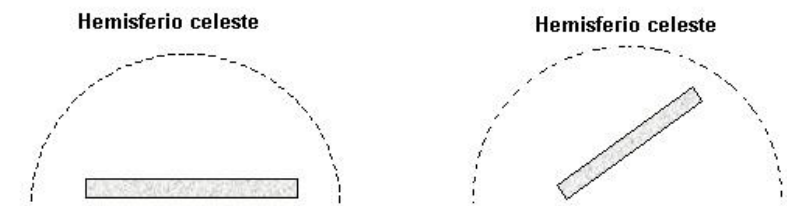


Figura 2.5 Absorción de la radiación difusa por una superficie

En este caso las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, pues captan dicha radiación en toda la semiesfera celeste, en tanto que las verticales reciben menos radiación al ver solo la mitad de la semiesfera celeste, en la **figura 2.6** se muestra un esquema de dichas vistas.

**c) Radiación Reflejada.** Está constituida por la radiación directa o difusa que es reflejada cuando incide sobre la superficie de la tierra. Una superficie captadora colocada en forma horizontal no recibirá ninguna radiación reflejada. En tanto, las que se colocan en posición vertical reciben más radiación. A manera de resumen, se tiene que la radiación total que incide sobre una superficie inclinada es igual a la suma de las radiaciones directa, difusa, y reflejada. Mismas que están representadas en la **Figura 2.6**



Figura 2.6 Tipos de radiación que inciden sobre una superficie inclinada

## 2.4 El efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno natural por el cual la Tierra experimenta un calentamiento debido a su atmósfera. Algunos gases permiten que la radiación solar pase a través de la atmósfera y caliente la superficie terrestre **evitando que la radiación que refleja la Tierra se escape al espacio**. Esto hace que la atmósfera y también la Tierra mantengan su temperatura, contribuyendo a la existencia de la vida sobre nuestro planeta.

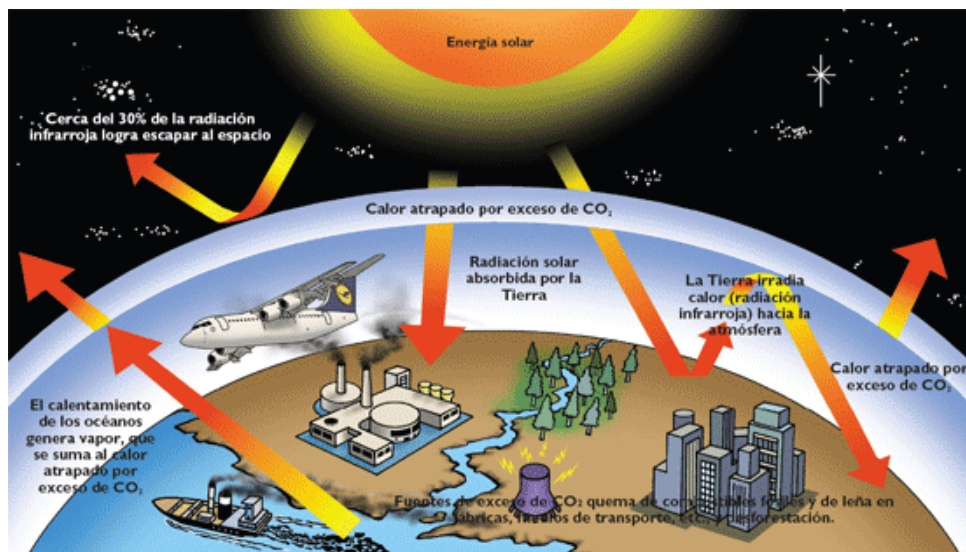


Figura 2.7 Esquematización del efecto invernadero

El aumento desproporcionado de gases por la polución, ha hecho que el efecto invernadero proporcione un incremento constante de la temperatura de la Tierra. Estos gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, vapor de agua, metano, etc...) absorben radiación en el infrarrojo y son transparentes a las radiaciones de mayor energía (ultravioleta y visible) que llegan a la tierra procedente de la radiación solar, pero absorben gran parte de la radiación infrarroja reflejada por la superficie terrestre, desprendiendo energía y aumentando así la temperatura del planeta. En este principio científico se basa el funcionamiento de un colector solar.

## **2.5 Capacidad calorífica o masa térmica**

Se define como la capacidad que tiene un cuerpo de almacenar calor. Cuando se le aporta calor a un cuerpo, éste eleva su temperatura paulatinamente, puede decirse que el cuerpo posee gran capacidad calorífica, pues es capaz de almacenar ciertas cantidades de calor por cada grado centígrado de incremento en su temperatura.

En las instalaciones solares para el calentamiento de agua, se recomienda emplear sistemas de captación de energía que tengan una masa térmica baja, pues elevan su temperatura rápidamente. Los sistemas de captación que tienen una masa térmica alta, a pesar de que almacenan grandes cantidades de calor en poco volumen, requieren de un largo tiempo de exposición a los rayos solares para poder alcanzar una temperatura útil.

## **2.6 Energía solar térmica.**

A lo largo de la historia, el ser humano ha utilizado el calor del sol para calentar sus hogares, para cocinar y para calentar agua; el origen del concepto de energía solar térmica se sitúa en 1767, año en que el suizo Horace de Saussure inventó el primer colector solar al que llamó “caja caliente”; el francés Agustín Mouchot publicaba en 1863 su libro “El calor solar y sus aplicaciones industriales” y, posteriormente, en 1878 presentaba en la exposición universal de París la primera máquina de vapor impulsada con calor solar; en 1891, Clarence Kemp patentó, con fines comerciales, el primer calentador solar de agua, invento que tuvo una gran aceptación.

Sin embargo, todos los logros alcanzados en esta época en el desarrollo de la energía solar cayeron en el olvido. En los primeros años del siglo XX, con la crisis energética de 1973 y debido a los altos precios de los productos petrolíferos, los calentadores solares de agua experimentaron un nuevo auge; en la actualidad, en Tokio, cerca de dos millones de edificios cuentan con estos sistemas solares de calentadores de agua, en Israel alrededor del 30% de los edificios y prácticamente todas las casas de nueva construcción han instalado estos dispositivos solares. Asimismo, estas tecnologías son utilizadas actualmente para el calentamiento de piscinas, en comercios e industrias dedicadas a alimentación, lavanderías, textiles, etc.<sup>2</sup>

## 2.7 Medición de radiación solar en México

Las mediciones de radiación solar en México datan del año de 1911 (Muhlia, 1990, Estrada- Cajigal, 1992), cuando fueron iniciadas por el Dr. Ladislao Gorczyński, que continuó con las mediciones hasta 1917. Posteriormente, personal del servicio Meteorológico Nacional continúa esta tarea en el Observatorio Astronómico de Tacubaya bajo la dirección del mismo Dr. Gorczyński, de 1923 a 1928. Las anteriores fueron mediciones de radiación directa usando un pirheliómetro de compensación eléctrica de Angström. Los resultados de estas mediciones se publicaron en reportes, de los cuales una parte se encuentran en los archivos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, en la actualidad es una dependencia de la Comisión Nacional del Agua), mientras no se sabe con certeza la ubicación actual del resto.

Los registros de mediciones posteriores al año 1957 se retomaron con motivo del año Geofísico Internacional, el Instituto de ciencia aplicada y el Instituto de geofísica de la UNAM, retoman esta tarea. Se instalaron cinco estaciones solarimétricas: en Ciudad Universitaria, D.F.; Alzomoni, Estado de México, San Cristóbal de las Casas, Chis.; Veracruz, Ver. Y Chihuahua, Chi. Moviéndose en 1959 la estación de Alzomoni a Tlamacas, Estado de México. También se instaló en 1960 una estación en San Luis Potosí, S.L.P.

---

<sup>2</sup> Sobre la historia de la energía solar, véase: H. SCHEER, Estrategia..., o,c.; C. SMITH, <<Revisiting Solar Power's Past>>, Technology Review, Julio de 1995, En Internet:

<http://web.mit.edu/afs/athena/org/t/techreview/www/articles/july95/smith>



De estas estaciones las únicas que operaron por un periodo largo fueron la de Chihuahua, Chi. Que durante quince años dio este servicio y la de Ciudad Universitaria, que opera hasta la fecha.

En años recientes el instituto de geofísica de la UNAM puso en operación una estación en Orizabita, Hidalgo, la cual también continúa en operación a la fecha. Se ha intentado instalar estaciones en otros lugares pero no han tenido éxito.

Por otro lado, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, también puso en operación en 1979 una pequeña red de cuatro estaciones, desgraciadamente los datos obtenidos no fueron de la calidad adecuada, debido a que los instrumentos usados eran dispositivos cuyo diseño no habían sido puestos a prueba en condiciones de operación continua. Debido a esto y otros problemas, dicha red dejó de operar en 1983.

Además de lo anterior, varias instituciones académicas han realizado mediciones en diferentes épocas. En algunos casos estas mediciones fueron realizadas durante pequeños periodos de tiempo, por lo que sus datos nos son realmente útiles para hacer una estimación estadística del recurso solar.

Algunas instituciones han medido radiación solar con el interés específico en la evaluación del recurso energético solar, como por ejemplo el Centro de Investigación en Energía de la UNAM, a partir de 1990 (Quiñones Aguilar y Col., 2002) y el Grupo de energía de la Universidad de Sonora, a partir de 1993 (Villa Martínez y Col., 2001).

En los años 70, El servicio Meteorológico Nacional (SMN) Instaló piranógrafos bimetálicos y heliógrafos en alrededor de 60 estaciones meteorológicas de su red; sin embargo los piranógrafos no fueron recalibrados sistemáticamente ni se procesó la información recabada.

En los años 80, la CFE creó una red solarimétrica de alrededor de 20 estaciones, equipadas con piranógrafos, localizadas en cuencas hidrológicas. No mantuvo un programa de calibración de estos equipos, ni programas para el procesamiento de la información. En años recientes instalaron 6 estaciones con equipo moderno. No se sabe si los mantienen recalibrados.

En la actualidad las redes de dependencias gubernamentales que están en operación son las siguientes:

El Servicio Meteorológico Nacional opera una red de 94 estaciones automáticas (<http://smn.cna.gob.mx/productos/emas/emas.html>), que miden la irradiación solar global con piranómetros estándar de segunda clase. Estos piranómetros ya han alcanzado una antigüedad de entre 1 y 5 años, dependiendo del sitio en donde se instalaron, y aunque fueron referenciados de fábrica, no se ha seguido posteriormente un programa para su recalibración. La red de estaciones tiene una cobertura bastante amplia del territorio nacional, sin embargo fue diseñada tomando en cuenta solo criterios hidrológicos, dejando de lado otros que se refieren a los usos de suelo, la orografía y los diferentes climas que exigen en el territorio nacional.

La Comisión Federal de Electricidad cuenta con una red de alrededor de 10 piranógrafos sin recalibración y 6 piranómetros también sin recalibración.

La Secretaría de Marina cuenta con una red de alrededor de 10 piranógrafos sin recalibrar y 10 heliógrafos. En fechas recientes han instalado 22 estaciones meteorológicas automáticas con piranómetro.

La secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, a través de la Red Automatizada de Monitoreo Ambiental (RAMA) cuenta con 5 piranómetros referenciados (<http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnrama2.htm>). Esta red además realiza mediciones de radiación solar ultravioleta en diez de sus estaciones y radiación fotosintéticamente activa en cuatro de ellas.

## 3 Estado del arte de la industria de los calentadores solares

### 3.1 Introducción.

Un colector solar es una especie de intercambiador de calor que transforma la energía radiante en energía térmica o calor. La transferencia de energía se hace desde una fuente radiante (sol), hacia un fluido (agua o aire generalmente) que circula por los tubos o ductos del colector. El flujo de energía radiante que finalmente intercepta el colector, proviene básicamente del rango visible del espectro solar y es por naturaleza variable con el tiempo. En condiciones óptimas podemos esperar como máximo, flujos de  $6000 \text{ W/m}^2$  de radiación solar<sup>3</sup> por la ubicación geográfica de México.

La principal tecnología para el aprovechamiento térmico de la radiación solar es el calentador solar de agua. Los calentadores se dividen principalmente en dos tipos: colectores solares planos y tubos evacuados así como los tubos *head-pipe*. Existen tecnologías térmicas de bajo costo con placas de copolímero plástico, que se usan para aplicaciones que requieren temperaturas menores, tales como el calentamiento de agua para albercas.

La mayoría de los calentadores solares cuentan con un tanque aislado en la parte superior. Gracias al principio de termosifonamiento, en donde el agua circula entre el calentador y el tanque sin requerir de ningún mecanismo adicional. Sin embargo, en algunas aplicaciones se requieren bombas o hidroneumáticos para que circule el fluido. Las eficiencias de los calentadores solares son típicamente del 50%, aunque hay tecnologías con eficiencias mayores.

Dentro de los diversos tipos de colectores solares están, los **colectores solares planos** que son los más comunes. Estos pueden ser diseñados y utilizados en aplicaciones donde se requiere que la energía sea liberada a bajas temperaturas, debido a que la temperatura de operación de este tipo de colectores, difícilmente pasa la temperatura de ebullición del agua que es de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

---

<sup>3</sup> Los datos obtenidos de la radiación solar se pueden consultar a través del mapa de irradiación solar de México anexo A del presente documento

Las ventajas que podemos obtener con respecto a los colectores de enfoque que concentran la radiación solar; es que estos utilizan la energía solar directa y difusa, y no requieren movimiento continuo para dar seguimiento al sol, prácticamente no necesitan mantenimiento y son mecánicamente de construcción más simple que los colectores concentradores. Las principales aplicaciones de estos dispositivos son el campo del agua caliente sanitaria a nivel doméstico y el calentamiento de agua para albercas.

En este capítulo se describirá detalladamente el funcionamiento térmico teórico de los colectores solares planos, colectores de tubos evacuados, y la aplicación para el calentamiento de piscinas por medio de los colectores solares de copolímero (plástico) en donde se verá qué función juega cada una de sus partes. Aunque en general el análisis se hace para colectores que utilizan un líquido como fluido de trabajo, haciendo pequeños cambios convenientes. En general, cuando se hable de un líquido, se tratará de agua fluyendo a través de un tubo.

### **3.2 Clasificación de calentamiento solar**

Los diferentes sistemas de calentamiento de agua por absorción de irradiación se clasifican:

De acuerdo a la circulación del agua para su calentamiento en el colector solar o absorbedor, en:

- a) Circulación natural o termosifónicos.
- b) Circulación forzada.

De acuerdo a la tecnología del calentador solar en:

- a) Colectores Solares planos;
- b) Autocontenidos.
- c) Colectores de tubos evacuados con o sin:
  - 1. Tubos de calor
  - 2. Intercambiador de calor
  - 3. Superficies reflejantes.
- a) Colectores solares de tubos evacuados de baja o alta presión
- b) Colectores con concentradores tipo parabólico compuesto (CPC)

De acuerdo al tipo de alimentación hidráulica en:

- a) De 294.2 kPa (3.0 kgf/cm<sup>2</sup>) de presión máxima de alimentación hidráulica
- b) De 588.4 kPa (6.0 kgf/cm<sup>2</sup>) de presión máxima de alimentación hidráulica.

### 3.3 Descripción general de un colector solar plano

Las partes más importantes de un colector solar plano se presentan en la **figura 3.1**. Se muestra un corte transversal de uno de estos dispositivos que maneja un líquido como fluido de trabajo. En el diagrama se puede observar que la energía solar incidente, tiene que atravesar una o varias capas de vidrio o algún otro material transparente adecuado, antes de alcanzar la placa de absorción negra que es el elemento más importante del colector solar, al cual está unido el tubo o ducto. En esta placa, es donde la energía radiante es convertida en calor. Este calor posteriormente es transferido por conducción hacia el fluido de trabajo (agua, aire o gas), que es el que finalmente remueve la energía térmica del colector y la transfiere al tanque de almacenamiento térmico o al espacio o producto que va a ser calentado, según la aplicación que se le esté dando. El vidrio o su equivalente, además de permitir la entrada de la radiación solar hasta la placa de absorción, minimiza las pérdidas de calor por radiación y convección hacia el medio ambiente por la parte superior del colector.

El aislante térmico (espuma de poliuretano, poliestireno, lana de fibra de vidrio o algún otro) colocado en la parte posterior y lados del colector, disminuye también las pérdidas de calor hacia el medio ambiente en esas partes. Todas las partes mencionadas se encuentran dentro de una caja que sirve como parte estructural del colector y que puede ser fabricada de diversos materiales como lámina metálica, madera o plástico.



Figura 3.1 Calentador solar tipo colector plano

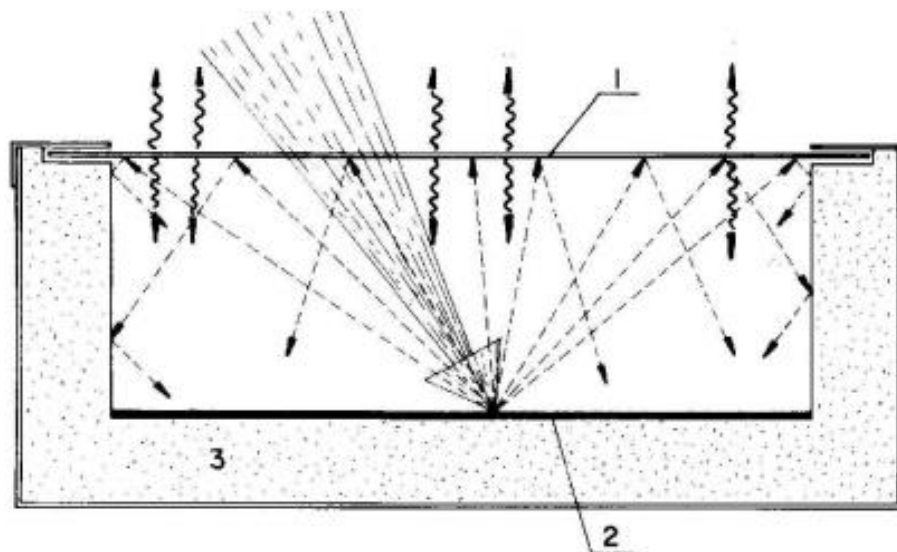


Figura 3.2 corte transversal de un colector plano

- 1) Cubierta transparente      2) Placa absorbedora      3) aislamiento

### 3.4 Funcionamiento y componentes de un colector solar de placa plana

El colector de placa plana está constituido por cuatro elementos principales, que son: el absorbedor, la carcasa, el aislamiento y la cubierta transparente. Ver fig. 3.3



Figura 3.3 Componentes de un colector solar plano

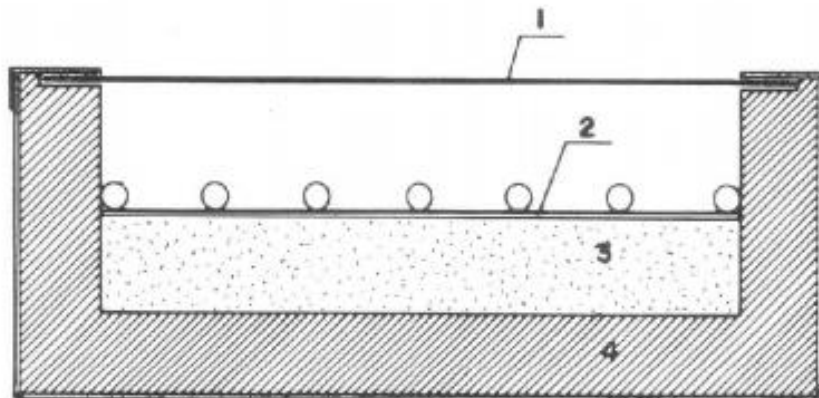


Figura 3.4 Corte transversal de un colector de placa plana sin concentración

1) cubierta transparente 2) Absorbedor 3) aislamiento 4) Carcasa

### 3.4.1 Cubierta transparente

La función de la cubierta transparente es por un lado provocar el **efecto invernadero** y reducir al mismo tiempo las pérdidas por convección, mejorando así el rendimiento del colector, y por otro lado asegurar la estanqueidad del colector al agua y el aire en su caso, en unión con la carcasa y las juntas.

Las cualidades físicas que debe de tener una buena cubierta para cumplir con su función son:

- Poseer un alto coeficiente de transmisión de la radiación solar en la banda de 0,3  $\mu\text{m}$ , a 3  $\mu\text{m}$  y que dicho coeficiente se conserve con el paso de los años.
- Tener, ´por el contrario, un coeficiente de transmisión para las ondas largas superiores a 3  $\mu\text{m}$  lo más bajo posible.
- Tener un coeficiente de conductividad térmica bajo que dificulte el paso de calor desde la superficie interior de la cubierta hacia el exterior
- Tener un coeficiente de dilatación bajo para evitar el riesgo de rotura o deformación
- La cara interior debe de tener un alto coeficiente de reflexión para la longitud de onda larga de la radiación emitida por el absorbedor.
- Poseer una buena resistencia mecánica y no mantener la suciedad adherida a la superficie exterior.

Los principales materiales utilizados en las cubiertas son el vidrio y el plástico transparente.

- El vidrio: Se deben de elegir los vidrios recocidos o templados, ya que sus propiedades ópticas no se deterioran en dichos procesos y, en cambio, mejoran sus propiedades mecánicas. Las propiedades ópticas se definen por la transmitancia, es decir, el cociente entre la energía que lo atraviesa y la que incide sobre él. En cuanto a las propiedades mecánicas, debe de resistir la acción del viento y las contracciones térmicas para los cual debe de tener los bordes muy bien realizados, paralelos y sin fisuras.



- **Materiales plásticos:** Ciertos materiales plásticos poseen propiedades ópticas análogas a las del vidrio, además son ligeros, tienen una fragilidad menor, y tienen una baja conductividad térmica. Sin embargo hoy en día, todavía poseen ciertas desventajas en cuanto a la resistencia mecánica como un coeficiente de dilatación importante, mala resistencia a temperaturas elevadas o poca dureza.

En algunos casos puede interesar al usuario, instalar colectores con dos cubiertas. La cubierta doble tiene la ventaja de acrecentar el efecto invernadero, reducir las pérdidas por convección y aumentar la temperatura del fluido pero, por el contrario, también aumenta las pérdidas ópticas.

### **3.4.2 El absorbedor**

El absorbedor tiene como misión recibir la radiación solar, transformarla en calor y transmitirla al fluido caloportador. Generalmente está compuesto por una o dos placas metálicas y tubos de cobre soldados a esta, por los que circula el fluido. En lugar de placa metálica se puede dotar a los tubos de aletas, que son generalmente de aluminio.

La cualidad principal que define la eficacia de un absorbedor es la capacidad para absorber la mayor radiación posible, por eso, es conveniente recubrir la cara del absorbedor expuesta al sol con un revestimiento especial. Se utilizan dos procedimientos: pinturas o superficies selectivas. Los parámetros que caracterizan estos recubrimientos son el coeficiente de absorción y el de emisión. Las pinturas tienen un alto coeficiente de absorción (del orden de 0,9), pero también tienen un coeficiente de emisión sensiblemente igual, con lo que se incrementan las pérdidas por emisión, Las superficies selectivas combinan un alta absorbancia de (0,8 a 0,9) con una baja emitancia de (0,06 a 0,15), pero estos tratamientos tienen el inconveniente de tener un precio más elevado.

### 3.4.3 El aislamiento posterior

El absorbedor está protegido en su parte posterior contra las pérdidas térmicas por un aislamiento que debe de poseer algunas características especiales:

- Debe de resistir altas temperaturas sin deteriorarse.
- No debe desprender vapores si se descompone bajo la acción del calor.
- No debe degradarse por envejecimiento.
- Tiene que conservar sus cualidades frente a la humedad que puede crearse en el interior por la condensación.

Algunos de los materiales que se usan frecuentemente como aislantes son: lana de vidrio, lana de roca, espuma de vidrio, corcho expandido, poliestireno y poliuretano.

### 3.4.4 Carcasa.

La función de la carcasa es doble: ya que protege y soporta los diversos elementos que constituyen al colector y actúan de enlace con el conjunto del edificio sobre el cual se sitúa el colector, a través de los bastidores y elementos de anclaje necesarios. Además la carcasa debe de ser capaz de cumplir estas dos funciones durante muchos años.

La garantía de duración de la carcasa viene determinada por numerosos factores como la rigidez, la resistencia mecánica de los anclajes, la resistencia química a la corrosión, la resistencia a las variaciones de temperatura o la aireación del interior de los colectores.

### 3.4.5 Productos comercializados en México

La gama de calentadores solares de placa plana que se ofertan en el mercado nacional y cuya aplicación va de acuerdo a los requerimientos del usuario son:

4. Cobre con cubierta de vidrio
5. Cobre con aleta de aluminio y con cubierta.
6. Aletados de cobre con cubierta,
7. De cobre encapsulados
8. De cobre aletados, con cubierta de vidrio
9. Tubo y aleta de cobre soldada sin cubierta y,
10. Tubo y aleta de cobre soldada con cubierta, con marco y perfil de aluminio

### 3.5 Colector de tubos de vacío

El colector de tubos de vacío basa su funcionamiento en un fenómeno llamado **principio de concentración**. Requiere una superficie reflectante curva donde recibir la radiación, por efecto de esta curvatura los rayos son proyectados hacia la parte central del colector donde se concentran y alcanzan una temperatura elevada. El circuito de calentamiento consiste en unas cámaras de vidrio de formas cilíndricas y rectilíneas, por cuyo interior pasa un fluido calorportador.



Figura 3.5 Colector solar de tubos evacuados al vacío

La **figura 3.6** esquematiza dicho fenómeno y en ella podemos observar que la radiación solar que incide sobre una superficie reflectante curva, reflejada por efecto de esta curvatura hacia la parte central (punto focal) en donde estos se concentran y alcanzan una temperatura elevada.

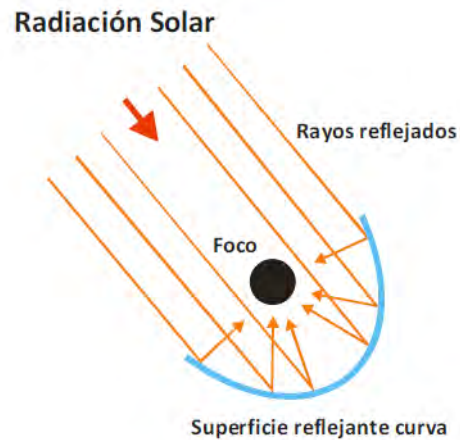


Figura 3.6 Fenómeno de radiación solar en una superficie reflectante curva

### 3.5.1 El tubo de calor (heat-pipe)

El tubo de calor consiste en un tubo hueco cerrado por los dos extremos, sometido a vacío como el que se muestra en la Figura 3.7.

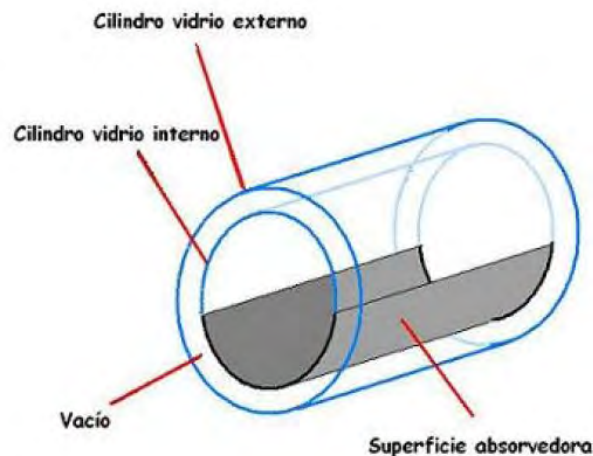


Figura 3.7 Sección tubo de vacío

Cuando se calienta la parte del tubo donde se encuentra el fluido, este se evapora absorbiendo el calor latente. Este vapor se desplaza hasta alcanzar la parte del tubo que se encuentra a menor temperatura, produciéndose la condensación del fluido y la consiguiente liberación del calor asociado a este cambio de estado.

El líquido retorna por capilaridad o por la acción de la gravedad formándose un ciclo de evaporación-condensación. Los tubos de calor son considerados como los “Superconductores” del calor, debido a su muy baja capacidad calorífica y a su excepcional conductividad. (Miles de veces superior a la del mejor conductor sólido del mismo tamaño). El uso del tubo de calor está muy extendido en la industria y, basándose en este principio de funcionamiento se fabrican los actuales colectores de vacío con tubo de calor.

### 3.5.2 El colector

En este tipo de colectores la placa absorbidora de los tubos lleva adosado un tubo de calor. La radiación solar incidente calienta la placa y provoca la evaporación del fluido, absorbiendo calor y transfiriéndolo a la parte superior.

En esta zona el vapor se enfría (en un condensador especialmente diseñado) al paso del agua fría de la red, cediéndole su calor latente de condensación. El fluido condensado retorna a su posición original en la parte inferior del tubo de calor, debido a la acción de la gravedad, y el ciclo se repite.

Entre las características principales de los colectores de vacío con tubo de calor, cabe destacar las siguientes:

- Unión Seca: el intercambio de calor se realiza en seco, es decir sin contacto directo de los líquidos, lo que los hace particularmente adecuados en áreas con cualidades desfavorables del agua.
- Función diodo: la transferencia de calor se realiza siempre en un solo sentido, desde el absorbedor hacia el agua, y nunca al revés.
- Limitación de la temperatura: el ciclo de evaporación-condensación tiene lugar mientras no se alcance la temperatura crítica del fluido vaporizante, evitando así los riesgos de un aumento incontrolado de la temperatura en el interior de los tubos.

A la vista de lo anterior, se observa que los colectores de vacío encuentran su principal aplicación en los sistemas de temperaturas intermedias y en lugares fríos con diferencias elevadas entre la temperatura del colector y la del ambiente; donde la mejora sustancial del rendimiento del sistema puede compensar el aumento de costo debido a su utilización.

Su reducido coeficiente de pérdidas los hace especialmente aptos para el aprovechamiento de la radiación solar difusa, manteniendo un rendimiento aceptable, no solo a medio día o en días soleados, sino también cuando la posición del sol se encuentra alejada de su punto más alto o cenit o cuando el clima es frío y parcialmente nuboso.

El vacío no solo contribuye a la reducción de pérdidas, sino también a minimizar la influencia de las condiciones climáticas (condensación, humedad, etc.) sobre los materiales empleados, evitando su rápido deterioro y mejorando así la durabilidad y el rendimiento global del sistema.

Mediante la aplicación de un vacío “ligero”, en torno a 0.001 atmósferas, se puede conseguir, esencialmente, la eliminación de las pérdidas por convección; mientras que es necesario un vacío “fuerte”, inferior a  $10^{-6}$  atmósferas, debido a la presión atmosférica, que produciría fuerzas muy grandes al aplicarse a toda la superficie de la cubierta, y a los problemas técnicos relacionados con el sellado de la carcasa del colector.

La construcción de un colector de vacío con la forma de uno convencional de placa plana, entraña gran dificultad. Sin embargo, la técnica de vacío utilizada por los fabricantes de tubos fluorescentes, entre otros, se ha desarrollado hasta el punto de hacer rentable la producción en masa y la comercialización de sus equipos. Mediante la aplicación de esta tecnología, ha sido posible la construcción de los colectores solares de vacío que se comercializan en la actualidad y el mantenimiento de su elevado vacío (similar al de las lámparas o los tubos de TV). Debido a sus características geométricas, reciben el nombre de colectores de tubos de vacío.

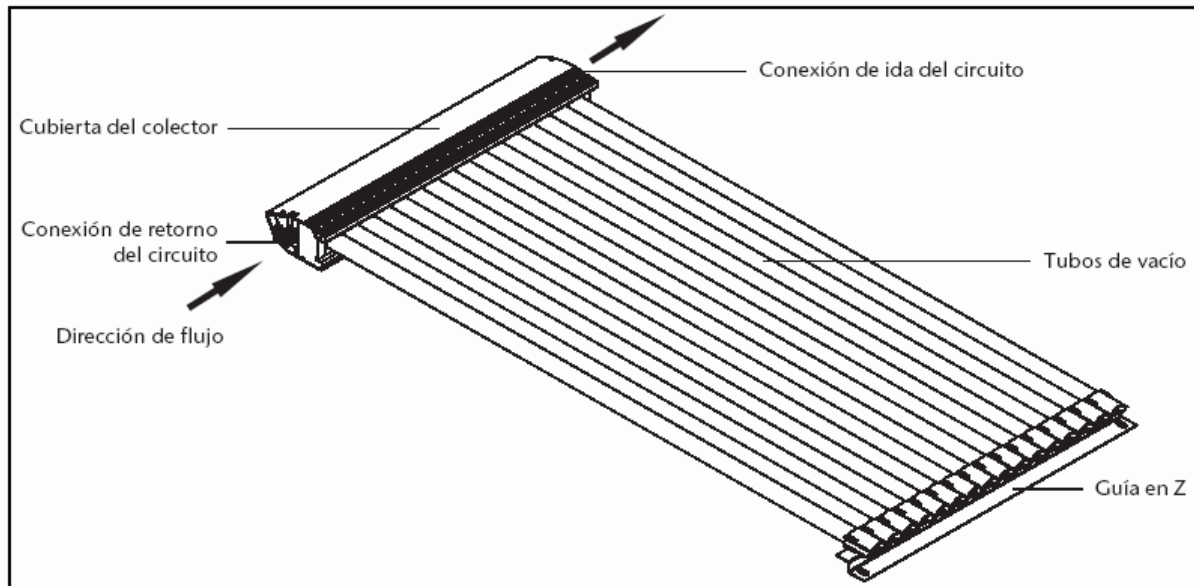
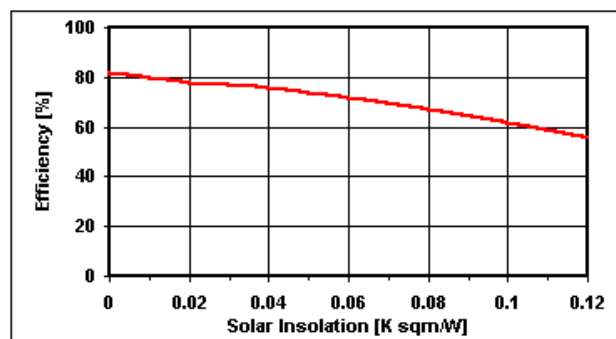


Figura 3.8 Componentes de un colector de tubos de vacío

Además del vacío en los tubos, estos colectores poseen un recubrimiento altamente selectivo de las superficies absorbentes, mejorando todavía más su rendimiento.

Esta tecnología proporciona una muy alta eficiencia de absorción lo que les hace alcanzar rendimientos superiores **a sus homólogos** de placa plana. Por ello permiten reducir la superficie de captación para lograr los mínimos niveles de prestaciones. Además otra ventaja, bastante interesante para el personal de instalación, es que el montaje es más simple al poder colocarse los tubos uno a uno de forma independiente, e incluso una vez que el colector éste instalado en su emplazamiento definitivo.



Gráfica 3.1 Curva característica de un colector de tubos de vacío

### 3.5.3 Productos comercializados en México

La gama de productos que se ofertan en el mercado nacional y cuya aplicación va de acuerdo a los requerimientos del cliente son:

1. Concentradores solares
2. Concentradores solares de tubos al vacío, y
3. Tubos al vacío de vidrio

### 3.6 Colectores solares de copolímero (plástico)

Estos colectores son sencillos y económicos, se emplean en aplicaciones que no requieren temperaturas elevadas (hasta 38 °C) como lo es el calentamiento de albercas. Se asemejan a una alfombra y están conformados por una **superficie captadora** en color negro (3.1 m de ancho y diferentes metros de largo) y **dos colectores de cabecera**



Figura 3.9 Componentes de un colector solar plástico

#### 3.6.1 Componentes

La descripción de estos elementos se presenta a continuación:

##### 1. Superficie Captadora

Es la encargada de captar la energía solar y de transferirla a un fluido caloportador (agua). Está hecha de polipropileno o Polietileno, cuenta con protección contra los rayos ultravioleta (UV) del sol y se conforma de varios canales o tubos de plástico de 5 mm de diámetro



## 2. Colectores de Cabecera

Se encuentran soldados en los extremos de la superficie captadora, tienen un diámetro interno de 38 mm y son los encargados de distribuir y recoger el agua que se hace fluir por los canales o tubos de plástico

### 3.6.2 Funcionamiento

La radiación solar incide sobre la superficie captadora, ésta la transforma en calor y posteriormente la transfiere al agua que circula a través de los canales o tubos de plástico, que están integrados a dicha superficie.

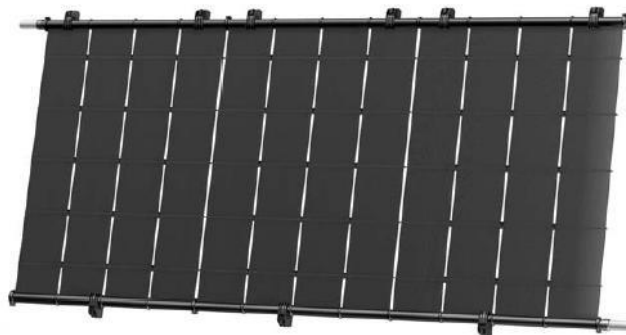


Figura 3.10 Colectores solares utilizados para el calentamiento de agua en albercas

### 3.6.3 Características del colector

Las principales características que tiene el colector de copolímero es que: requieren de un mínimo mantenimiento, son fáciles de instalar, son resistentes y no presentan problemas de corrosión.

Otras características que tienen son:

- Rendimientos superiores al 80%
- Resistencia a condiciones climatológicas severas (ozono, rayos UV, granizo, etc.)
- No se sobrecalientan
- Pueden fabricarse en diferentes medidas.

Estos colectores son muy ligeros y debido a su poco peso se recomienda instalarlos en estructuras ligeras, estos elementos pesan aproximadamente  $2 \text{ kg/m}^2$  sin agua, y  $5 \text{ kg/m}^2$  con el fluido circulando en ellos

### 3.7 El almacenamiento

Es obvio que la necesidad de energía no siempre coincide en el tiempo con la captación de energía solar, por lo que es absolutamente imprescindible disponer de un sistema de almacenamiento que haga frente a la demanda de A.C.S en momentos de poca o nula insolación. Los materiales que se usan normalmente son: el acero, acero inoxidable, aluminio y fibra de vidrio reforzada. El más adecuado es, sin duda, el acero inoxidable, sin embargo su precio es el más elevado.

En cuanto a la forma, suele ser cilíndrica, por su simplicidad de construcción. La altura del depósito debe de ser mayor que el diámetro para favorecer el fenómeno de estratificación. El agua disminuye su densidad al aumentar la temperatura, por lo que cuanto mayor sea la altura, mayor será la diferencia de temperatura entre el agua de la parte superior y el agua de la parte inferior, es decir, mayor será la estratificación. Este fenómeno es importante puesto que de la parte superior del depósito se extrae el agua de consumo a la temperatura más alta y el agua de la parte inferior a la temperatura más baja se dirige al sistema colector, con lo que aumenta su rendimiento

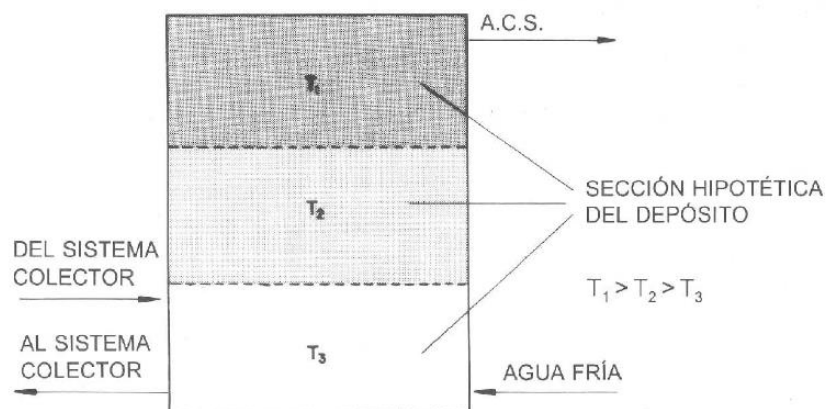


Figura 3.11 Diferencial de temperaturas dentro de tanques térmicos

Existen acumuladores que llevan el intercambiador de calor incorporado en su interior el cual presenta la desventaja de que; en caso de avería del intercambiador queda inutilizado el acumulador completo y además, en el caso de aguas con alto contenido en cal presentan muchas dificultades para su limpieza.

El dimensionado del volumen del depósito acumulador es un factor decisivo en el diseño de la instalación y depende de tres factores:

1. Superficie de colectores Instalada: Los estudios teóricos y experimentales demuestran que el volumen óptimo de acumulación está en torno a los 70 litros por cada  $m^2$  de colector.
2. Temperatura de utilización: Para obtener agua a temperaturas apreciables para uso sanitario el volumen de almacenamiento deberá de ser menor, de forma que el agua esté más tiempo a una temperatura próxima a la necesidad a cubrir.
3. Desfase entre captación y consumo: Para desfases no superiores a 24 horas, que es el caso típico en el calentamiento de agua en viviendas multifamiliares, hoteles, residencias, etc., el volumen óptimo de acumulación está entre 60 y 90 litros por  $m^2$  de colector.

Un almacenamiento mal dimensionado, tanto por exceso como por defecto, puede dar lugar a un mal funcionamiento de la instalación solar. Por un lado, un almacenamiento excesivo da lugar a un encarecimiento innecesario de la instalación y a no alcanzar los niveles de temperatura deseados, mientras que un almacenamiento de menor capacidad da lugar a que se produzcan sobrecalentamientos del circuito solar provocando una aceleración del deterioro de la instalación en su conjunto y una disminución del rendimiento de los colectores solares.

### 3.7.1 Características y especificaciones del termotanque.

Un termotanque o acumulador consta de los siguientes elementos:

- ✓ **Carcasa.** Se refiere a la estructura del equipo; Está hecha de acero galvanizado con revestimiento electroquímico y cocido en horno.
- ✓ **Aislamiento.** Está hecho por capas de poliuretano, que sirven como aislante de los depósitos de acumulación, ayudando a reducir las pérdidas de calor. Se fabrican en espesores de 30 mm para depósitos pequeños y 40 mm para depósitos de gran volumen.
- ✓ **Cilindro.** Es donde se deposita el agua caliente para consumo sanitario, tiene un recubrimiento de acero inoxidable de algunos milímetros de espesor, cuenta con un ánodo de magnesio que protege al acero de incrustaciones provocadas por la dureza del agua.

### 3.8 Criterios para una correcta elección de un colector solar

La correcta toma de decisiones al momento de adquirir un calentador solar se basa en los beneficios que el usuario obtendrá por el uso eficiente de las energías renovables, en donde la calidad del producto dependerá del costo de inversión inicial que se pretenda aportar.

Los catálogos proporcionados por los fabricantes o vendedores de CSA pueden ser engañosos, pues distorsionan la realidad en un sentido u otro. Si no se tiene experiencia o no se conocen de antemano, es muy conveniente examinar los paneles personalmente y hacer las preguntas que creamos convenientes a la persona que nos presente el equipo.

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONNUE) en conjunto con el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C (ONCCE) mediante los Dictámenes de Idoneidad Técnica emiten las especificaciones que deberán tener los diferentes equipos de calentamiento solar para garantizar el ahorro de energía,

la funcionalidad y durabilidad de los calentadores solares se deben cumplir las siguientes especificaciones.

### **3.8.1 Especificaciones técnicas**

#### **Diseño.**

Generalmente, todos los paneles solares planos consisten en un paralelepípedo, caracterizado por las tres dimensiones: largo, ancho y grueso. La disposición más general es la vertical, es decir, el lado menor se coloca horizontal, recorriendo el circuito hidráulico la placa colectora de abajo a arriba. Esta disposición vertical suele ser más eficiente para conseguir temperaturas más elevadas y de costo menor en su proceso de fabricación, en la mayoría de los casos.

Existen paneles que se colocan al revés, es decir con el lado mayor horizontal (apaisados). Esta disposición horizontal se presta más a paneles sin excesivos requerimientos de altas temperaturas como es el caso de las instalaciones en albercas, estas suelen tener un costo mayor y la distribución del fluido en su interior no suele ser tan eficiente.

Existen también paneles solares cuadrados, que tienen características intermedias, pero que en general son más pequeños en superficie que los rectangulares. Hay finalmente paneles especiales con la cubierta curvada, con espejos en el interior, etc.,

#### **Tamaño**

El tamaño de los paneles es un dato importante. Las dimensiones estandarizadas son de 2 m de largo x 1 m de ancho, lo que permite disponer de aproximadamente 1.8 a 1.9 m<sup>2</sup> de superficie útil por panel solar. No obstante, estas dimensiones dependen mucho del fabricante, ya que cada uno tiene las suyas propias. Los de mayor tamaño son difíciles de transportar, mientras que en los más pequeños el efecto de las superficies inútiles del marco, las conexiones entre ellas, etc. Aumentan considerablemente, especialmente en instalaciones de un cierto tamaño.

### **Peso de un colector solar**

El peso es otro factor a tener muy en cuenta. El peso ideal es de unos 30 Kg/m<sup>2</sup> de panel, que asegura una cierta rigidez, al tiempo que el peso total de los paneles es aceptable.

### **Acabado**

Nos fijaremos ahora en el aspecto exterior del panel. Este debe tener un aspecto agradable a la vista; debemos comprobar que el marco exterior es uniforme en toda su longitud, que la placa colectora no presente raspaduras o abolladuras, que los elementos de cierre son uniformes a todo lo largo del panel y que los orificios para las conexiones estén limpios.

### **Material y forma del circuito hidráulico**

El material y la forma del circuito hidráulico son importantes por dos motivos: el material del circuito hidráulico (aluminio, cobre, acero, acero inoxidable) nos determinará el material de las tuberías y del depósito acumulador en el caso de líquidos, ya que debido a los problemas de corrosión no es conveniente utilizar materiales muy distintos entre sí, como por ejemplo, cobre y acero galvanizado.

Por su parte, la forma del circuito hidráulico y su diseño (serie, paralelo, tubos, canalículos) determina la presión máxima de utilización. Los circuitos en serie de tubos son los más resistentes, siguiéndole luego los circuitos en paralelo, también de tubos. Los circuitos más sensibles a sobrepresiones son los formados por canalículos hechos en la propia placa, ya sea por soldadura de dos placas estampadas entre sí o por una placa Roll-Bond (en los catálogos suele venir indicada la presión máxima de servicio).

En general, son preferibles los circuitos en paralelo, así como los formados por tubos independientes de la placa colectora (que son más seguros), Aunque la transmisión de calor se en estos caso más deficiente.

### **Tratamiento de las superficies**

La superficie selectiva requerirá seguidamente nuestra atención. Debemos comprobar que el pigmento negro sea totalmente uniforme en toda la superficie de la placa colectora, sin la presencia de zonas más brillantes o mates. Asimismo, deberemos comprobar que no existe ningún agrietamiento, irregularidad, etc. En la misma. Según el sistema de tratamiento elegido y los materiales (pintura, electrodeposición, tratamiento químico). Los componentes del pigmento selectivo pueden reaccionar con el metal base o con la humedad del aire, degradándose, o bien despejándose del mismo y saltando. Este punto es sumamente delicado y no estará demás en preguntar acerca de las garantías que tiene el recubrimiento, tanto si es selectivo como si no.

Finalmente, recordemos que la selectividad, especialmente si es muy elevada, puede perder características rápidamente con el paso del tiempo y disminuir a valores inferiores de los previstos

### **Aislante térmico**

A continuación de la placa absorbidora nos encontramos con el aislante térmico. Aquí debemos comprobar la presencia del reflector, una hoja de aluminio brillante, pegada encima del aislante en la parte que mira a la placa colectora. El reflector como ya se ha explicado antes, es un espejo térmico que refleja de nueva cuenta hacia la placa la radiación que esta emite por debajo, por lo que su presencia aumenta el rendimiento energético de un panel solar respecto a otro idéntico sin ella el aislante debe tener un grosor apropiado (nunca inferior a 3 cm y preferentemente 5cm y más).

Cuanto mayor es el espesor de aislante, tanto mejor, pues las pérdidas del panel serán reducidas. Un dato muy importante y que se suele pasar por alto es comprobar que el aislante continúa por los cuatro laterales del panel solar. A veces por razones estéticas y para aproximar más la superficie total a la de abertura (es decir hacer el marco más estrecho), los fabricantes no ponen aislante en esta zona; esto es especialmente grave en el lateral superior, donde debido a la conducción interna, el material estará muy caliente, con pérdidas elevadas. Una simple inspección a través de la cubierta transparente nos evidenciara si existe aislante (que generalmente estará tapado por una chapa metálica por razones estéticas) o si es imposible que este exista debido al escaso espesor del marco.

**Exposición.**

El calentador solar no debe presentar ningún daño como roturas o deformaciones al exponerse:

- a) Durante 15 días como mínimo, a la irradiación global diaria en el plano del colector especificada en la tabla 3.1. Los días no necesariamente deben ser consecutivos.
- b) Durante 30 horas como mínimo, al nivel máximo de irradiación solar global en el plano del colector y a la temperatura mínima del aire circundante ( $t_a$ ), especificadas en la **Tabla 3.1**. Las treinta horas se pueden alcanzar en periodos mínimos de 30 min.

**Tabla 3.1 Condiciones climáticas para la prueba de exposición, resistencia a alta temperatura y choque térmico externo**

Parámetro climático	Valores mínimos para todas las condiciones climáticas
Irradiancia solar global en el plano de colector, G en $W/m^2$	850
Irradiación global diaria en el plano de colector, H en $MJ/m^2$	17
Temperatura del aire circundante, $t_a$ , en $^{\circ}C$	10

Las pruebas de resistencia a alta temperatura y de choque térmico externo se puede realizar combinadas con esta prueba de exposición.

**Resistencia a alta temperatura.**

Los calentadores solares deben resistir un irradiación solar global en el plano del colector mayor de  $1000 W/m^2$ , a una temperatura del aire circundante " $t_a$ " entre  $20^{\circ}C$  y  $40^{\circ}C$  y a una velocidad del aire circundante menor a  $1m/s$ , durante 1 hora como mínimo.



**Choque térmico externo.**

Los calentadores solares no deben presentar ningún daño como fisuras o roturas. Se deben someter a dos choques térmicos externos, para lo cual se deben mantener durante 1 hora como mínimo a un nivel alto de irradiación solar global mínima establecida en la **Tabla 3.1** y rociarse durante 15 minutos con agua a la temperatura ambiente, en forma uniforme mediante un aspersor de agua.

**Choque térmico interno.**

Los calentadores solares no deben presentar ningún daño como fisuras o roturas. Se deben someter a dos choques térmicos externos, para lo cual se deben mantener durante 1 hora como mínimo a un nivel alto de irradiación solar global mínima y a una temperatura menor a 25 ° C.

**Resistencia a la presión positiva.**

Los colectores solares deben de resistir, en su superficie expuesta, una presión positiva de 500 kPa.

**Resistencia al sobrecalentamiento.**

El colector solar debe de resistir una irradiación mínima de 18 MJ/m<sup>2</sup>, durante cuatro días consecutivos, sin tener deformaciones.

**Resistencia a la presión hidrostática**

Los sistemas deben de resistir una presión hidrostática de 1.5 veces la presión de trabajo de acuerdo con su uso, como mínimo durante una hora tal como se especifica en la **Tabla 4.2**

Tabla 3.2 Presiones de trabajo de resistencia en calentadores solares de agua

Presión de trabajo	Presión de prueba	Uso
P 294.2 kPa (3.0 kgf/cm <sup>2</sup> )	$p_p \geq 441.3 \text{ kPa}$ ( $p_p \geq 4.5 \text{ kgf/cm}^2$ )	<b>Apto para operar con:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinacos,</li> <li>• Tanques elevados de hasta 30 m de altura,</li> <li>• Redes municipales y sistemas hidroneumáticos a presión máxima de 294.2 kPa (3 kgf/cm<sup>2</sup>).</li> </ul>
P 588.4 kPa (6.0 kgf/cm <sup>2</sup> )	$p_p \geq 882.6 \text{ kPa}$ ( $p_p \geq 9.0 \text{ kgf/cm}^2$ )	<b>Apto para operar con:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinacos,</li> <li>• Tanques elevados de hasta 60m de altura,</li> <li>• Redes municipales y sistemas hidroneumáticos a presión máxima de 588.4 kPa (6 kgf/cm<sup>2</sup>).</li> </ul>

### Resistencia a heladas.

El sistema de calentamiento de agua debe resistir una temperatura de -10 °C con una diferencia de – 1 grado o + 1 grado sin presentar fugas, roturas o deformaciones. El manual de operación y mantenimiento debe describir el método de protección contra heladas usado en la tecnología de calentamiento solar.

### Resistencia al impacto.

Estos deben resistir los impactos de un balón de acero, con una masa de 150 g con una tolerancia de 10 g, desde una altura mínima de 1m.

### Ahorro de gas.

El sistema debe de proporcionar como mínimo un ahorro de gas L.P. en 30 días, de acuerdo a la **tabla 3.3**, aplicando la ecuación referida.

Tabla 3.3 Ahorro en el consumo de gas

Energía solar (MJ/m <sup>2</sup> )	17	19	21	23	25
Ahorro de gas LP mes (kg)	>16.5	>17.0	>17.5	>18.0	>18.5

Ecuación obtenida con la tabulación: Ahorro de gas > 0.25 \*(energía solar MJ/m<sup>2</sup>) + 12.25.

**Rendimiento térmico del colector solar.**

Esta tecnología solar debe proporcionar como mínimo un calor útil por día o por año en 8 horas o en 24 horas superior al establecido en la **Tabla 3.4**

**Tabla 3.4 Rendimiento térmico del colector solar**

<b>Calor útil por día solar de 8 horas MJ</b>	<b>Calor útil en 24 hrs MJ</b>	<b>Calor útil al año en 8 horas MJ</b>	<b>Calor útil al año en 24 horas MJ</b>
Templado	Templado	Templado	Templado
>12.5	>8.7	>4550	>3170

Fuente: NOM-004-ES-004-NORMEX-2010

**Etiqueta de rendimiento y eficiencia térmica.**

Los colectores solares deberán portar una etiqueta o calcomanía en algún lugar visible del producto, que incluya por lo menos la siguiente información.

- Modelo, Marca.;
- Área de apertura;
- Presión máxima de operación;
- Flujo del fluido recomendado;
- Una tabla que muestre, para diferentes usos del colector solar, la temperatura típica de operación, el calor útil y la capacidad de calentamiento así como;
- La ecuación de la eficiencia térmica.

En cumplimiento de la Norma NMX-ES-001-NORMEX-2005, como se muestra en la **Figura 3.16**

**RENDIMIENTO Y EFICIENCIA TÉRMICA**

Fabrica  Modelo

Marca  Tel.

Area de apertura  m<sup>2</sup>/ Fecha de prueba

Presión máxima de operación  Kpa

ECUACION DE EFICIENCIA TERMICA  
 $\eta = 0,691 - 3,5 X - 12,2 X^2$ ;  $X = (T_{in} - T_a)/G$   
 Flujo recomendado del colector solar  l/min

** Tem- peratura °C	Para uso típico en	Calor útil al día/m <sup>2</sup> Mega Joules/(día·m <sup>2</sup> )			Capacidad de Calentamiento litros/(día·m <sup>2</sup> )*		
		Tropical	Templado	Semidesértico	Tropical	Templado	Semidesértico
30	Alberca	7,2-11,1	7,7-9,3	5,5-12,3	N.A.	N.A.	N.A.
50	Doméstico	6,5-10,4	6,6-8,2	4,5-11,5	67-109	46-58	39-104
70	Industrial	5,1-9,1	5,6-7,3	3,2-10,3	19-36	21-28	11-41

CERT No. 000/NESO/CP. De conformidad con los criterios establecidos en el esquema de certificación NORMEX/ESQ/NESO/000/2005 El cual considera: Las especificaciones de la Norma NMX-ES-001-NORMEX-2005. Buenas prácticas de manufactura y control de los puntos críticos de proceso.

Símbolos  $\eta$  > Eficiencia,  $T_{in}$  > Temperatura de entrada °C,  $T_a$  > Temperatura ambiente °C  
 $G$  > Irradiancia solar W/m<sup>2</sup>

\*Los valores de la temperatura del agua fría de entrada se consideran variables de acuerdo a la norma.  
 \*\* Temperatura típica de operación N.A. No aplica

Figura 3.12 Etiqueta de rendimiento y eficiencia térmica

### Capacidad del termostanque.

La capacidad mínima del termostanque debe de ser de 150 L, con una tolerancia de  $\pm 2$  L

### Componentes mínimos obligatorios.

Todos los equipos de tecnología de calentamiento solar deben de estar equipados con los siguientes componentes mínimos, para su adecuado funcionamiento.

- Válvula de corte a la entrada.

El sistema debe de contar con una válvula de corte a la entrada del calentador solar con el propósito de permitir y facilitar su servicio de mantenimiento.

La válvula de corte se debe de instalar entre la línea de alimentación y la entrada de agua fría al calentador solar.

- Válvulas de Desviación (By- pass)

El sistema debe contar con una válvula de desviación que le permitan operar en cualquiera de las siguientes modalidades:

1. 100% de abastecimiento del agua caliente por el calentador solar (el flujo de agua no debe circular a través del calentador de respaldo);
2. En serie con el calentador de respaldo;

3. 100% de abastecimiento del agua caliente por el calentador de respaldo (en el caso de falla o mantenimiento del calentador solar)
  - Válvulas anti-retorno (check): A la entrada del agua fría al termotanque.
  - válvulas de drenado: En el termotanque para eliminar los lodos que se acumulen y en el colector solar.
  - Válvula de sobrepresión o de seguridad. Este componente debe de operar (abrir) a un 30 % por arriba de la presión de trabajo marcada por el fabricante.
  - Ánodo de Sacrificio debe de ser de mínimo 250 g por m<sup>2</sup> de superficie interior del termotanque.
  - Dispositivo de protección contra quemaduras: Dispositivo automático que limite la temperatura de extracción de agua a  $65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el caso de sistemas que puedan alcanzar esta temperatura. Se recomienda usar una válvula de mezclado.

El manual de instalación debe indicar la ubicación de estos elementos en el sistema.

- **Desarmado e inspección final**

Al final de las pruebas el calentador solar se debe desarmar e inspeccionar visualmente todas sus partes o componentes. Todas las anomalías se deben registrar y fotografiar.

- **Garantía.**

El calentador solar, y en su caso el sistema, debe de contar con una garantía total, por escrito, de 10 años por parte del fabricante. El proveedor será solidariamente responsable por la garantía, considerando el mantenimiento previsto para el sistema.

- **Vida útil de los colectores solares**

El promedio de la vida útil de los colectores solares, sin tomar en cuenta su tecnología, es de 19 años. La tecnología que tiene mayor durabilidad es:

Tubo y aleta de cobre soldada sin cubierta, y el de tubo y aleta de cobre soldada con cubierta con marco de perfil de aluminio, con 30 años de duración, en tanto que los de cobre con aleta de aluminio sin cubierta duran solamente 5 años. **La Tabla 3.5** muestra la vida útil por tipo de tecnología.

**Tabla 3.5** vida útil de colectores solares por tipo de tecnología

Tipo de colector o tecnología del colector	Años
- Tubo y aleta de cobre soldada sin cubierta	30
- Tubo y aleta de cobre soldada con marco y perfil de aluminio y cubierta de vidrio	
- Polipropileno, descubiertos	25
- Polipropileno con cubierta	
- Cobre aletados, con cubierta de vidrio	
- De cobre encapsulados	20
- Concentradores solares	
- PVC (plástico) desnudos	
- Tubos al vacío de vidrio	15
- Cobre con cubierta de vidrio	13
- Cobre con aleta de aluminio sin cubierta	5

**Fuente:** CONUEE 2009

## 4 Configuración e Instalación de calentadores solares de agua

Todo proyecto de instalación solar térmica para consumo de ACS constituye un desarrollo del proyecto general del edificio en el que está incluida. Por consiguiente, las decisiones generales del proyecto arquitectónico condicionan la disposición de la instalación. La integración arquitectónica del campo de colectores viene condicionado por la orientación y colocación de estos a nivel de azotea de toda edificación, a lo que se suman condiciones estéticas en muchas ordenanzas.

Por otra parte, el tipo de configuración requerido en la instalación condicionará los cálculos y el dimensionado de los diferentes componentes de la instalación. El presente capítulo pretende facilitar al usuario la elección de los componentes adecuados para el tipo de configuración que vaya a disponer.

### 4.1 Configuraciones básicas de instalación

Existe un amplio número de alternativas de diseño dentro de todas las posibilidades de configuración que pueden darse en una instalación de energía solar térmica de producción de agua caliente, bien sea para usos sanitarios, o para apoyo en el calentamiento de elementos externos (como piscinas o sistemas de calefacción).

De un modo general, las instalaciones solares térmicas pueden clasificarse atendiendo a los siguientes criterios:

#### **Principio de circulación.**

- Instalaciones por termosifón (funcionamiento por convección natural)
- Instalaciones por circulación forzada (funcionamiento por accionamiento eléctrico de las bombas).

#### **Sistema de expansión.**

- Sistemas abiertos (en comunicación directa con la atmósfera).
- Sistemas cerrados (Circuito cerrado, con vasos de expansión).

**Sistema de Intercambio**

- Sistemas directos (fluido del circuito primario igual al agua de consumo)
- Sistemas indirectos (Intercambiador de calor entre circuito primario y de consumo)

**Según la solución de integración con el sistema de energía auxiliar.**

- Sistemas Centralizados en circuito solar y sistema de apoyo.
- Sistemas con circuito y acumulación solar centralizada y apoyo individual con sistema instantáneo.
- Sistemas con circuito solar centralizado y acumulación distribuida indirecta, con apoyo individual con sistema instantáneo.
- Sistemas con circuito solar centralizado y acumulación distribuida indirecta, con apoyo individual con sistema instantáneo.

**Según su aplicación**

- Sistemas solares térmicos para producción de ACS.
- Sistemas Solares térmicos para calentamiento de piscinas
- Sistemas solares térmicos para apoyo a la calefacción
- Sistemas solares térmicos para aplicaciones de refrigeración.

**4.1.1 Principio de circulación**

Esta configuración se refiere al mecanismo mediante el que se produce el movimiento del fluido portador del calor que circula en el circuito primario solar, pudiendo diferenciarse entre dos tipos:

**Circulación natural:**

Son instalaciones conocidas a nivel coloquial por termosifón donde el fluido de trabajo circula por convección libre. El movimiento del fluido de trabajo se produce por cambios de densidad del fluido, como consecuencia de variaciones en la temperatura. El fluido contenido en los colectores, al recibir la radiación solar, se calienta, aumentando su temperatura y disminuyendo su densidad. Al pesar menos, dicho fluido asciende hacia la parte alta del circuito, mientras que el fluido frío



Contenido en el depósito de acumulación, con mayor densidad, se desplaza hacia la parte baja de la instalación por la tubería de entrada a colectores. Así se genera una circulación del fluido que se mantiene siempre que exista un gradiente de temperaturas entre el fluido de colectores y el del depósito de acumulación, y cesa cuando las temperaturas se igualan.

Uno de los inconvenientes de esta instalación es la forzosa ubicación del acumulador en el exterior y a una distancia mínima de 30 cm por encima del colector. De no hacerlo se afectaría la eficiencia del sistema de calentamiento

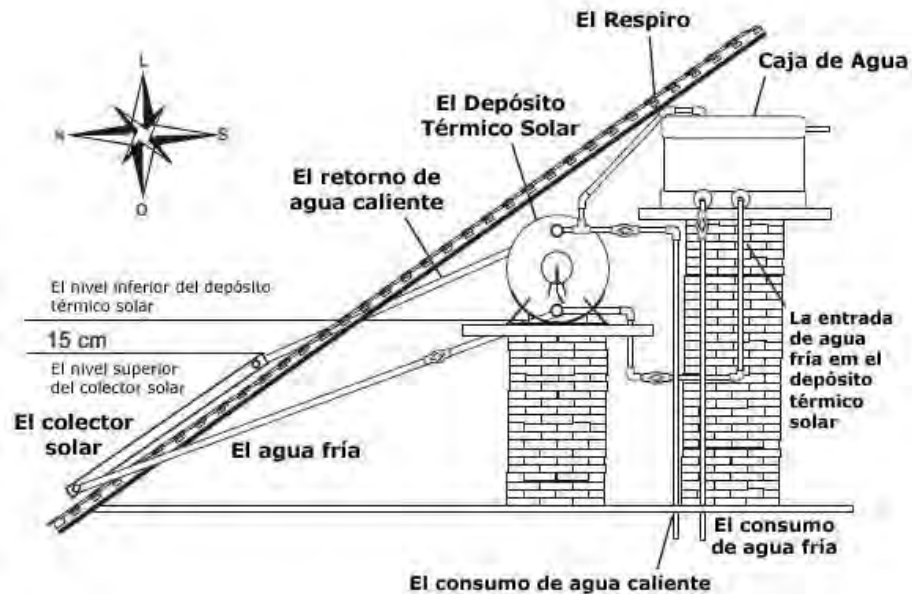


Figura 4.1 Esquema de una instalación solar por termosifón

### Circulación Forzada:

Son instalaciones dotadas con dispositivos auxiliares, denominados bombas de circulación, que provocan la circulación forzada del fluido de trabajo. El movimiento del fluido se realiza a través de una bomba de circulación, con un caudal que normalmente está en el rango del doble que los de termosifón y los saltos de temperatura en el fluido de los colectores suelen ser de unos 5 °C. En este caso la circulación del sistema se debe de efectuar por medio de un control diferencial de temperaturas, entre la parte inferior del depósito de acumulación y la salida de colectores.

El control diferencial compara, mediante dos sondas, la temperatura existente en la salida de colectores con la temperatura de la parte baja del depósito de acumulación. Cuando la primera sea superior a la segunda en 6 °C, se accionaran las bombas transfiriendo así la energía para almacenarla en el depósito de acumulación. Las bombas de circulación se pararan cuando la diferencia de temperatura entre ambas sondas sea de 3 °C. En este tipo de instalación podemos controlar la temperatura máxima que se alcanza en el interior del depósito de acumulación, ya que colocando un termostato de máxima podremos parar las bombas de circulación antes de que se alcance una temperatura excesivamente elevada

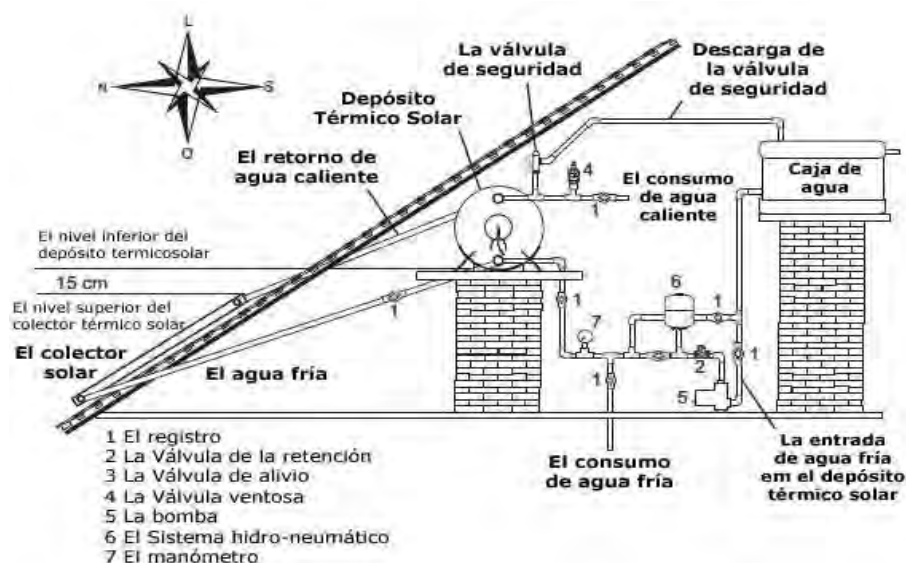


Figura 4.2 Esquema de instalación solar con configuración de circulación forzada

#### 4.1.2 Sistema de expansión.

El fluido portador del calor que circula por el circuito primario en las instalaciones solares está sometido a importantes variaciones de temperaturas. Dichas diferencias pueden oscilar desde temperaturas bajo cero, en zonas con heladas, especialmente por las noches, hasta superiores a 170 °C en situaciones de alta radiación y nulo consumo. Como consecuencia de estas diferencias de temperatura van a traer consigo variaciones en el volumen del fluido. Por ello es necesario disponer de elementos capaces de absorber estas variaciones, los denominados sistemas de expansión.

Los Sistemas de expansión disponibles para esta tecnología son:

- **Expansión Abierta:** el fluido del circuito primario está comunicado de forma permanente con la atmósfera, por lo que se deben ubicar los elementos del sistema de expansión a una altura superior a la del punto más alto del circuito primario solar.
- **Expansión Cerrada.** El fluido del circuito primario está separado físicamente de la atmósfera. En este caso, se incorpora un vaso de expansión que tiene una membrana elástica que divide al mismo, por un lado contiene el fluido del circuito primario y por el otro un gas o aire a una cierta presión. Cuando el fluido portador del calor se enfría, se produce una disminución en la presión del circuito y el gas del vaso ejerce la contrapresión necesaria para devolver el fluido a dicho circuito.

#### **4.1.3 Sistema de intercambio.**

Esta configuración se refiere a la forma de transferir la energía del circuito primario de colectores al circuito secundario o de consumo. Dicha transferencia se puede realizar de forma directa, siendo el fluido de trabajo el agua de consumo o, manteniendo el fluido de trabajo de colectores en un circuito independiente, sin posibilidad de ser distribuido al consumo, dando lugar a los sistemas indirectos.

## **4.2 Configuraciones de conexión.**

Los captadores se dispondrán en filas constituidas preferentemente por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie o en serie-paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución etc.

Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie o paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante. El número de captadores conexiados en serie no será superior a tres para evitar bajos rendimientos. En casos de aplicaciones para algunos usos industriales y refrigeración por absorción, si está justificado, este número podrá elevarse a cuatro, siempre y cuando sea permitido por el fabricante. En el caso de que la aplicación sea de agua caliente sanitaria no deben conectarse más de dos captadores en serie.

Se dispondrá de un sistema para asegurar igual recorrido hidráulico en todas las baterías de captadores. En general se debe alcanzar un flujo equilibrado mediante el sistema de retorno invertido. Si esto no es posible, se puede controlar el flujo mediante mecanismos adecuados, como válvulas de equilibrado.

#### 4.2.1 Conexión en serie.

El objetivo de esta configuración es el de alcanzar temperaturas más altas, sin importar que se reduzca el rendimiento. El flujo entre cada colector es el mismo, no así la temperatura que va incrementándose al paso por cada uno de ellos y afecta al último colector, el cual debe soportar una temperatura muy elevada que a su vez afecta su rendimiento. Por este motivo, el fabricante limita el número de colectores a usarse en este tipo de conexión.

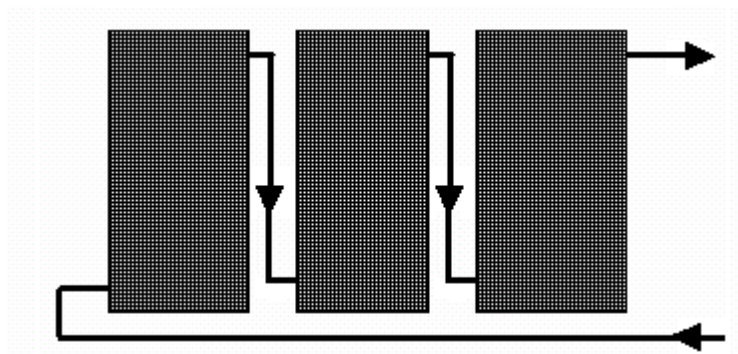


Figura 4.3 Conexión de colectores solares en serie

### 4.2.2 Conexión en paralelo

Este montaje tiene un límite en el número de colectores a ser instalados, el cual es marcado por el fabricante a fin de evitar pérdidas de carga en los tubos de cada colector. Por otro lado, debe garantizarse que todos los colectores trabajen en las mismas condiciones, es decir que tengan un fluido equilibrado.

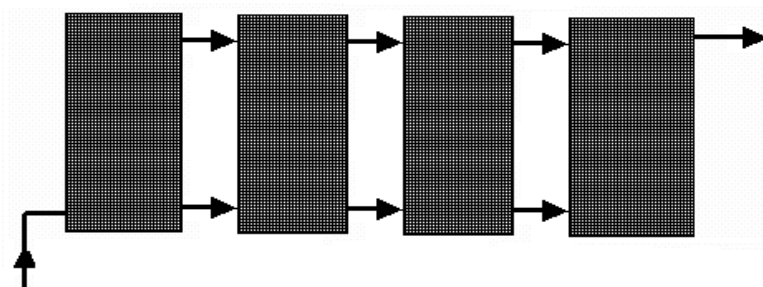


Figura 4.4 Conexión de colectores solares en paralelo

Esta configuración además de aumentar el flujo, mantiene una temperatura de trabajo baja, esto implica menores pérdidas del total de la energía recogida. Un grupo de colectores solares conectados en paralelo capta más energía que otros conectados en serie.

### 4.2.3 Conexión en serie-paralelo

Esta conexión presenta las características de las dos configuraciones anteriores, las **figura 4.5** esquematiza este montaje.

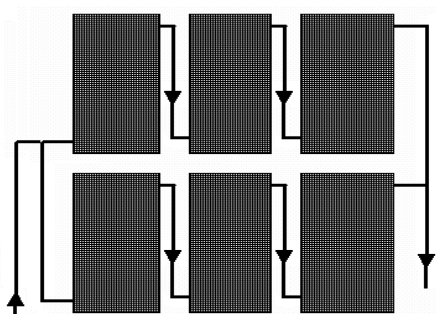


Figura 4.5 Conexión de colectores en serie-paralelo

### 4.3 Orientación e inclinación

#### 4.3.1 Orientación

Los colectores solares se deben de situar de tal forma que a lo largo del periodo de utilización el equipo solar aproveche el máximo posible de la radiación solar incidente. Por ello preferentemente. **Se orientaran hacia el sur geográfico** (si nos encontramos en el hemisferio norte).

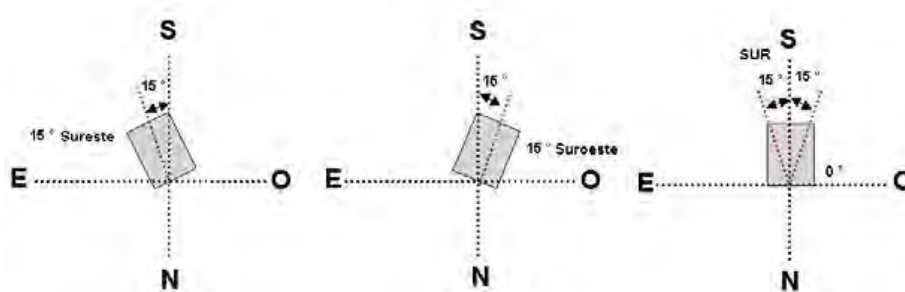


Figura 4.6 Orientación de instalación de calentadores solares

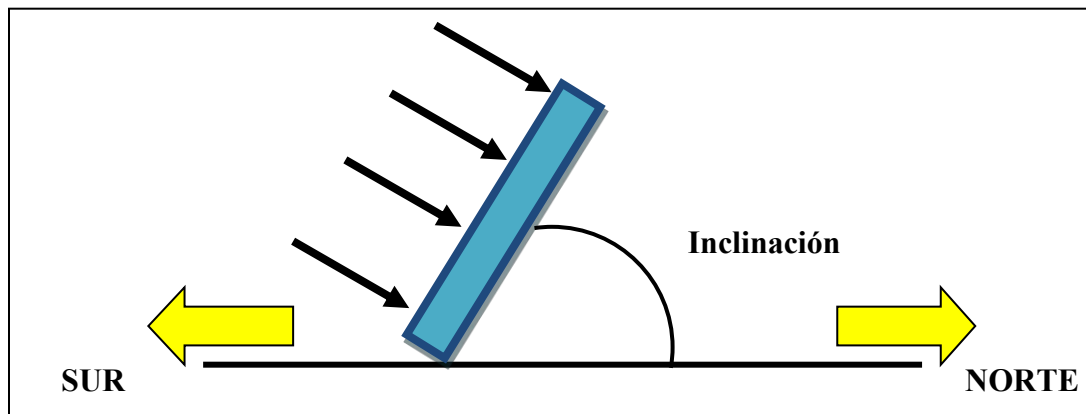
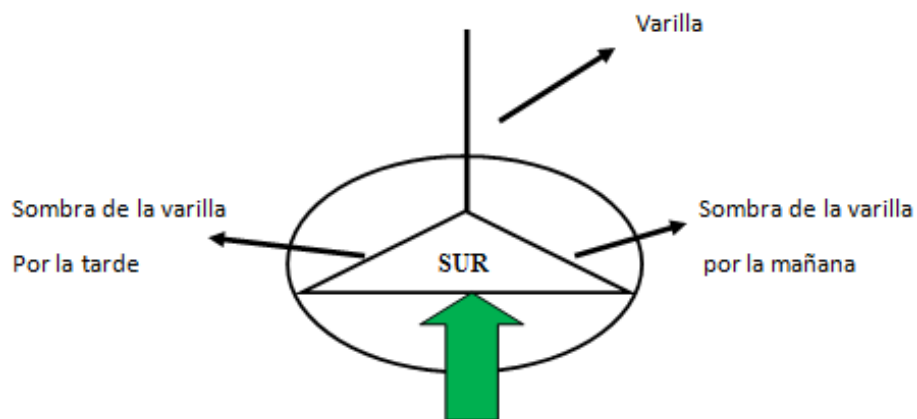


Figura 4.7 Inclinación y orientación de colocación de C.S.A

Se ha de procurar que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la superficie del captador al medio día solar.

También es conveniente saber que el sur geográfico no coincide con el magnético dado por la brújula. **El sur geográfico se puede localizar de la siguiente manera:**

- 2 o 3 horas antes del mediodía solar, colocar una varilla vertical en el suelo, medir su sombra y hacer una señal.
- Hacer un círculo con la medida de la sombra en el suelo
- Por la tarde, cuando la sombra tenga otra vez la medida del círculo, hacer otra señal.
- La recta que une ambas señales, mirando hacia la varilla, está orientada al sur geográfico.



**Figura 4.8 Método de localización del sur geográfico**

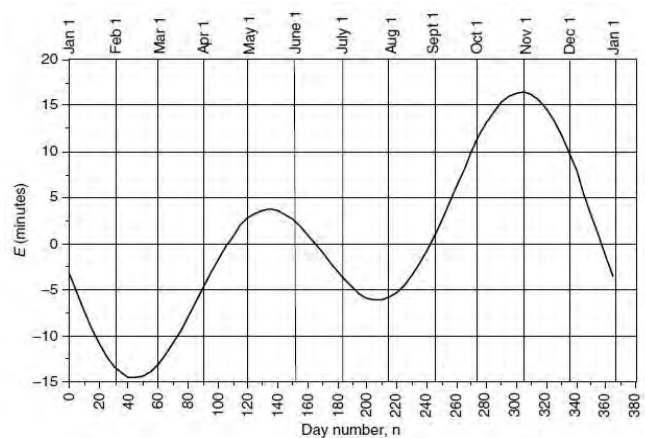
\*En la práctica, si se tienen desviaciones de un 15% hacia el suroeste o sureste, estas no afectan al rendimiento ni a la energía térmica útil aportada por el equipo solar

### **Diferencia entre hora solar y hora local**

La hora local que marca el reloj no coincide con la hora solar, debido a los adelantos horarios, la longitud del lugar y otros parámetros: para mostrarlo se va a explicar el cálculo del tiempo solar verdadero (T.S.V)

$$\text{T.S.V} = \text{Hora oficial local} - \text{adelanto respecto de la hora solar} \pm \text{longitud del lugar} \pm \text{ecuación del tiempo.}$$

La longitud del tiempo influye con 4 minutos por grado; si es hacia el este se restará, y si es hacia el oeste se sumará.



Gráfica 4.1 ecuación del tiempo

#### 4.3.2 Inclinación

El ángulo de inclinación de los colectores dependerá del uso del equipo solar mediante los siguientes consumos:

- Consumo Constante Anual. Si la producción de agua caliente sanitaria se realizara a lo largo de todo el año el ángulo de inclinación será igual a la latitud geográfica del lugar
- Consumo Preferente en Invierno. Este consumo es para aplicaciones de calefacción, en el cual el ángulo de inclinación = latitud geográfica + 10 °
- Consumo preferente en verano. Se utiliza para aplicaciones de calentamiento de agua para piscinas descubiertas en el cual el ángulo de inclinación es igual a la latitud geográfica menos 10 °

**Nota:** Variaciones de  $\pm 10^\circ$  con respecto al ángulo de inclinación óptimo prácticamente no afectan al rendimiento del equipo solar.



#### 4.4 Integración arquitectónica

Se considera que existe integración arquitectónica cuando los captadores cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales. Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal del absorbedor. Una regla fundamental a seguir para conseguir la integración o superposición de las instalaciones solares es la de mantener, dentro de lo posible, la alineación con los ejes principales de la edificación.

Deben emplearse los colectores solares y elementos de sujeción más adecuados para conseguir una mejor integración a la estructura del edificio. La instalación de colectores solares no necesariamente debe perjudicar el aspecto exterior de un inmueble, por lo contrario deben realzarlo, acoplándose a la arquitectura de este, de sus ventanas, puertas, cornisas, etc.



**Figura 4.9 Integración arquitectónica de colectores solares a la estructura del inmueble Club Pumas - Cd. México**

#### 4.5 Distancia entre captadores solares

$$d = L * \left( \frac{\sin(180 - \beta - h)}{\sin h} \right)$$

Dónde:

- $\beta$  = la inclinación del colector (latitud geográfica del lugar)
- $h$  = La Altura Solar
- $L$  = longitud del colector

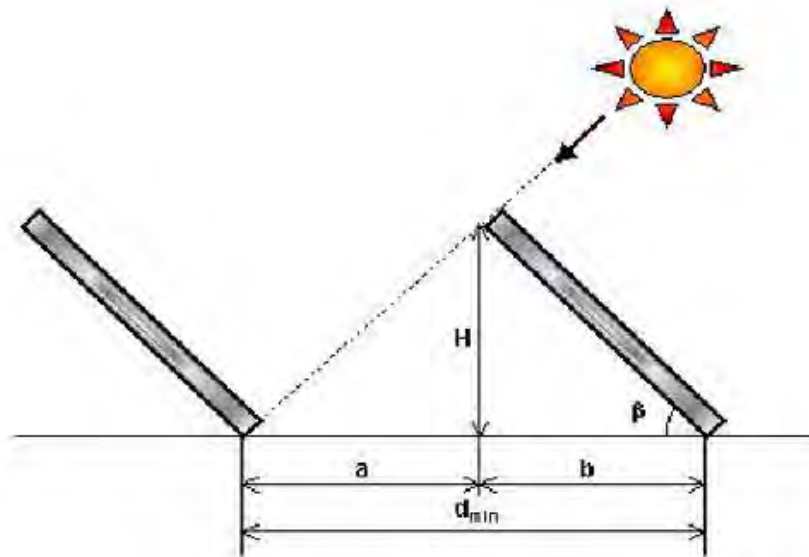


Figura 4.10 Distancia mínima entre filas consecutivas de colectores solares

De la **figura 4.10** deducimos:

$$d_{\min} = L * \left( \cos \beta + \frac{\cos \beta}{\tan H} \right)$$

Dónde:

- $d_{\min}$  es la distancia entre colectores solares para evitar sombras expresada en metros
- $L$  Es la longitud del módulo (incluido el marco y el soporte correspondiente)
- $H$  = a la altura solar en el mediodía del mes más desfavorable
- $\beta$  = al grado de inclinación de los módulos respecto a la horizontal

## 4.6 Estructuras de soporte

Los colectores solares deben de asentarse sobre estructuras que se adapten al diseño arquitectónico del edificio y que además resistan condiciones climáticas adversas, como son: vientos fuertes, intensas lluvias, granizo, etc.

Las estructuras deberán estar construidas con materiales que resistan las agresiones del ambiente, contando para ello con tratamientos anticorrosivos y empleo de acero inoxidable en tornillería y otros componentes auxiliares.

Otras consideraciones a tomar en cuenta son:

- El anclaje de los colectores a la azotea del edificio deberá estar diseñado para soportar ráfagas de viento de 100 km/hr.
- En estructuras de soporte montadas en el exterior, el fabricante deberá especificar los valores máximos de la velocidad media del viento.
- Evitar que la estructura y los componentes de sujeción de los colectores arrojen sombra sobre estos mismos.
- Durante el diseño de la instalación habrá que calcular los esfuerzos de las estructuras de conformidad con la normatividad y reglamentos de construcciones vigentes.
- Cualquier perforación que se haga en la azotea o área destinada para el anclaje de los colectores, deberá sellarse perfectamente para no perjudicar la impermeabilización.

Es necesario consultar el Reglamento de construcciones para el Distrito Federal y las Normas Técnicas complementarias, a fin de que las cargas máximas que habrá que soportar la estructura no sean causa de riesgo para los colectores, sus accesorios y el propio establecimiento.

A continuación se muestran algunas estructuras de montaje para colectores solares, para su colocación en superficies planas.

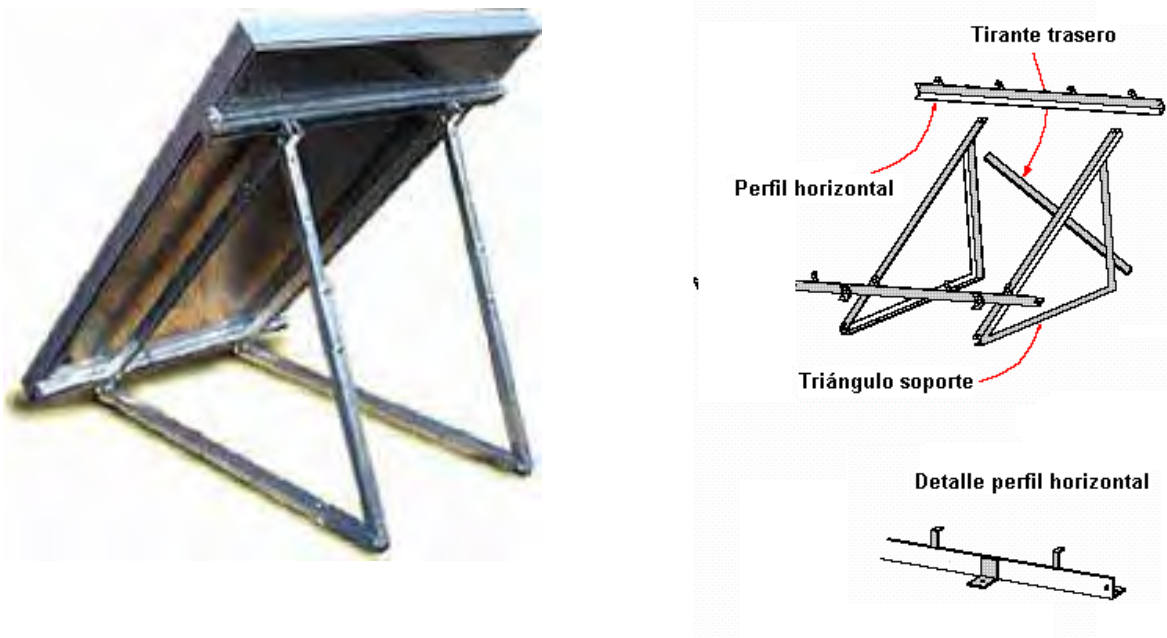


Figura 4.11 Estructuras de montaje para calentadores solares

Algunas de estas estructuras o soportes incorporan elementos que permiten ajustar la inclinación de los colectores, a fin de obtener un máximo aprovechamiento de la energía solar.

Este campo de colectores, tiene como aplicación principal el uso sanitario. Debido a su peso requiere de una estructura metálica especial que lo soporte, misma que debe alcanzarse en piso firme, preferentemente en loza de concreto

#### 4.7 Sistema de calentamiento auxiliar (calentadores de Gas)

Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica, las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema de energía auxiliar, ya que las tecnologías de calentamiento solar alcanzan una eficiencia máxima de entre 50% y 70%. Precisamente la valoración de la energía solar aportada, en términos del tipo de energía utilizada en la fuente auxiliar, es la que nos permite abordar el análisis económico de la instalación.

La energía convencional consumida en la mayoría de las instalaciones residenciales suele ser a través de la quema de combustibles fósiles a por el uso de calentadores de gas L.P. o natural o en casos mínimos el uso de calentadores eléctricos. Cada uno de estos tipos da lugar a distintas disposiciones de conexionado en las instalaciones.

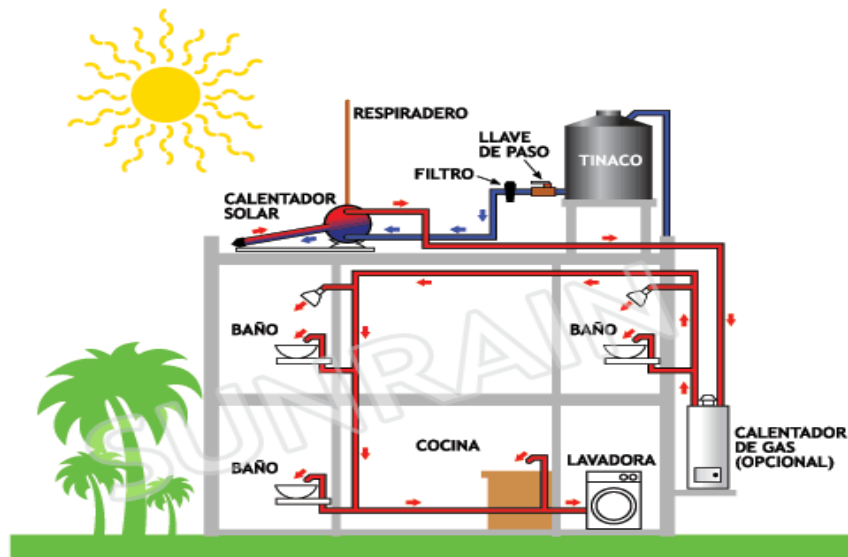


Figura 4.12 instalación solar con sistema de calentamiento auxiliar

La fuente de calor no debe interferir bajo ningún concepto con el proceso de captación de energía solar. Por tanto, la instalación debe de estar diseñada de tal manera que el calor procedente de esta fuente sea producido y conducido hacia el punto de consumo, sin pasar ni ser acumulado por el subsistema solar.

Queda prohibido el uso de sistemas de energía auxiliar en el circuito primario de captadores solares. El diseño del sistema de energía auxiliar se realizará en función de la aplicación (o aplicaciones) de la instalación, de forma que solo entre en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y que se aproveche lo máximo posible la energía extraída del campo de captación solar. Para ello se seguirán los siguientes criterios:

1. Para pequeñas cargas de consumo se recomienda usar un sistema de energía auxiliar en línea, siendo para estos casos los sistemas de gas modulantes en temperatura los más idóneos.

2. Para la preparación de agua caliente sanitaria, se permitirá la conexión del sistema de energía auxiliar en paralelo con la instalación solar cuando se cumplan los siguientes requisitos:
  - Exista previamente un sistema de energía auxiliar constituido por uno o varios calentadores instantáneos no modulantes y sin que sea posible regular la temperatura de salida del agua
  - Exista una preinstalación solar que impida o dificulte el conexionado en serie.
1. En instalaciones donde la fuente auxiliar sea calentada por un quemador, se puede insertar la caldera a través de un intercambiador, entre la salida del acumulador solar y el punto de consumo, controlando el quemador desde el elemento intercambiador mediante un termostato
2. La instalación térmica deberá efectuarse de manera que en ningún caso se introduzca en el termotanque el agua caliente proveniente del sistema de calentamiento auxiliar
3. No se recomienda la conexión de una línea de retorno de agua caliente desde la fuente de calentamiento auxiliar al acumulador solar, salvo que existan periodos de bajo consumo estacionales

#### **4.8 Condiciones de instalación**

Estas condiciones establecen los criterios de elección del acumulador y de su ubicación, a fin de alcanzar niveles altos de seguridad y rendimiento.

Las siguientes recomendaciones son de vital importancia para el instalador de sistemas solares de baja temperatura

- ✓ El acumulador debe de ser de tipo vertical, con una relación altura/diámetro mayor de dos y deberá ubicarse en zonas interiores.

- ✓ Debe tener incorporado un termómetro, mismo que debe ser visible.
- ✓ En acumuladores con volumen superior a 20 m<sup>3</sup>, deberán instalarse válvulas de corte a fin de facilitar las operaciones de mantenimiento.

Al fin de aprovechar al máximo la energía captada y evitar la pérdida de la estratificación por temperatura en los depósitos, las conexiones de los diferentes sistemas de acumulación deberán ajustarse a los siguientes puntos.

- a) La conexión de entrada de agua caliente proveniente de los colectores o del intercambiador hacia el acumulador deberá realizarse a una altura comprendida entre el 50% y 75% de la altura total del mismo.
- b) La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia los colectores o el intercambiador deberá realizarse por la parte inferior de este
- c) En caso de una sola aplicación, la alimentación de agua de retorno de consumo al depósito se realizará por la parte inferior. En caso de sistemas abiertos en el consumo, la extracción de agua caliente del depósito se realizará por la parte superior.
- d) En caso de varias aplicaciones dentro del mismo depósito habrá que tener en cuenta los niveles térmicos de éstas, de forma que tanto las salidas como los retornos para aplicaciones que requieran un mayor nivel térmico en temperaturas estén por encima de las que requieran un nivel menor, de modo que estas no efectúen un choque térmico.

## 5 Estudio de factibilidad

Para realizar el estudio de factibilidad económica, a partir de la investigación documental desarrollada en los capítulos anteriores, se seleccionaron dos tecnologías de calentamiento solar, los calentadores de placa plana y los de tubos evacuados. Se iniciará definiendo el concepto de factibilidad.

La factibilidad económica se refiere a los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar o llevar a cabo las actividades o procesos mediante los objetivos planteados, se apoya en tres aspectos básicos:

- La evaluación económica
- Análisis costo – beneficio
- Indicadores de rentabilidad

### 5.1 Evaluación económica

La evaluación económica es el análisis comparativo de alternativas en función de los costos y beneficios. Su objetivo, en este caso, es determinar la rentabilidad económica en la adquisición de tecnología que utilice energías solar térmica. Los **costos** como los **beneficios** se miden en pesos. Este análisis se desarrollará en un periodo de estudio de 20 años, el cual equivale a la vida útil de los calentadores solares.

### 5.2 Análisis costo – beneficio

Para realizar el análisis costo - beneficio se plantearon dos escenarios: el primero es una vivienda que cuenta con un calentador tradicional que utiliza gas natural o gas L.P., como el llamado *de paso* o recuperación rápida, los instantáneos y los clásicos calentadores de depósito, que trabajan por termosifonamiento. El segundo escenario es una vivienda que cuenta con un calentador solar y un sistema auxiliar tradicional



### 5.2.1 Escenario 1. Viviendas sin calentador solar

El primer escenario consiste en una vivienda que cuenta con un sistema tradicional de calentamiento de agua, en donde el combustible utilizado es gas natural o gas L.P. Para efectuar el análisis económico es necesario conocer el costo que representa la adquisición de calentadores de gas y sus diferentes tecnologías.

### 5.2.2 Costos de calentadores tradicionales

Los costos de equipos tradicionales varían acorde al mecanismo de calentamiento. A continuación se muestran algunos ejemplos:



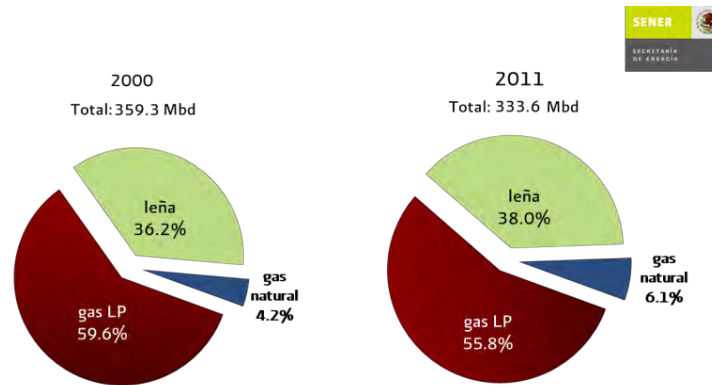
Figura 5.1 Costo de calentadores convencionales de gas

### 5.2.3 Consumo de gas en el sector residencial

México presenta alta dependencia a los combustibles fósiles, representando cerca del 62 % del consumo nacional de energía primaria. Entre los combustibles utilizados se encuentra el gas licuado de petróleo (LP), con un 55.8 % de consumo a nivel nacional, seguido por el uso de leña en un 38 % y el gas natural con un 6.1 %. Ver **Gráfica 5.1**.

Aun en la actualidad algunas viviendas cuentan con tecnologías de calentamiento de agua que utilizan combustibles fósiles, como el gas natural, el gas L.P. o la energía eléctrica para elevar la temperatura y así aprovecharla en usos sanitarios.

El consumo de combustibles impacta económicamente al sector residencial, aunado a los incrementos mensuales en la tarifas de gas que ponen entre dicho el uso de tecnologías convencionales.



**Gráfica 5.1 Distribución del consumo de combustibles en el sector residencial**

**Fuente: Anuario Estadístico de energía 2011**

En el sector residencial, los costos en el consumo de gas varían en función del tipo de combustible utilizado y de la región geográfica de abastecimiento. La estimación del consumo de gas está basada en las necesidades energéticas de una familia de 4.5 integrantes, considerando su uso en regaderas, lavabos, lavadoras y en el lavado de trastes.

El consumo energético anual debido al calentamiento de agua se calcula mediante la expresión analítica descrita en la NADF-008-AMBT-2005. Los resultados de dicha expresión son transformados a unidades de capacidad para la medición en el consumo de gas que tienen las viviendas, determinando así los costos con respecto a los precios actuales de los combustibles.

#### 5.2.4 Cálculo del consumo energético anual por utilización de agua caliente

Este parámetro sirve para conocer el consumo de energía necesaria para el calentamiento de agua de uso doméstico. Se obtiene de la siguiente fórmula:

$$CEA = P \cdot DA \cdot PAC \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) \cdot t$$

Dónde:

- **CEA** es el consumo energético anual por el uso de agua caliente en cocina(s), regadera(s) y/o lavamanos, (kJ/año);
- **P** es la cantidad de usuarios: para este caso 4.5 habitantes
- **DA** es la dotación mínima de agua<sup>4</sup> potable; 150 L/hab/día
- **PAC** es el porcentaje de agua caliente utilizada con relación a la dotación mínima diaria de agua. Se considera 30%;
- **$\rho$**  es la densidad del agua, se utiliza 1 kg/L;
- **Cp** es el calor específico, se utiliza 4,19 kJ/kg°C;
- **T1** es la temperatura del agua de la red municipal, se utiliza 15,5°C;
- **T2** es la temperatura del agua caliente requerida para el uso específico, se utiliza 50°C
- **t** son los días de consumo de agua caliente sanitaria en la vivienda por año (días/año)

Los valores considerados para el cálculo del CEA a nivel residencial son:

- **P** = 4.5 hab
- **DA** = 150 L/hab/día
- **PAC** = 0.30
- **$\rho$**  = 1 kg/l
- **Cp** = 4,19 kJ/kg°C
- **T1** = 15,5°C
- **T2** = 50°C
- **t** = 365 días

Sustituyendo valores en la ecuación:

$$\text{CEA} = 4.5 \text{ (hab)} * 150 \text{ (L/hab/día)} * 0.30 * 1 \text{ (kg/L)} * 4,19 \text{ (KJ/Kg°C)} * (50^\circ\text{C} - 15.5^\circ\text{C}) * 365$$

El consumo energético anual para la generación de agua caliente en el sector residencial es:

$$\text{CEA} = 10,684,421.44 \text{ (kJ/año)}$$

---

<sup>4</sup> La **dotación mínima de agua potable** para vivienda se puede consultar en el anexo B del presente documento

A partir del CEA y con base en la **tabla 5.1** que muestra la eficiencia térmica de calentadores domésticos, establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ENER-2011, es posible determinar el consumo energético total que se lleva a cabo en una casa habitación mediante el uso de un calentador convencional de gas.

**Tabla 5.1 Eficiencia térmica mínima para calentadores domésticos y comerciales, con base en el poder calorífico interior**

Eficiencia térmica (%)		
Tipo de calentador	Volumen (L)	Eficiencia
Almacenamiento	1 - 40	76
	+40 - 62	77
	+62 - 106	79
	+106 - 400	82
Rápida recuperación		82
Instantáneo		84

Fuente: SENER, Norma Oficial Mexicana NOM-003-ENER-2011

El cálculo se hace dividiendo el CEA entre la eficiencia térmica, basada en el poder calorífico interior que ejercen los diferentes calentadores convencionales.

En el primer caso se obtiene el CEA que representa el uso de un calentador de recuperación rápida, cuya eficiencia mínima es de 82 %

$$\text{Consumo energético anual Total} = \frac{CEA}{n_{boiler}} = \frac{10,684,421.44}{0.82}$$

$$CEA_T = 13,029,782.24 \text{ (kJ/año)}$$

Este valor significa la energía calorífica requerida anualmente para elevar la temperatura del agua a 50°C.

Para el segundo caso se obtiene el CEA utilizando la eficiencia térmica mínima de un calentador tradicional de depósito, que es de 79% ya que el volumen de almacenamiento es de 103 L.

$$\text{Consumo energético anual total} = \frac{CEA}{n_{boiler}} = \frac{10,684,421.44}{0.79}$$

$$CEA = 13,524,584.1 \text{ (kJ/año)}$$

### 5.2.5 Consumo anual de gas en el sector residencial

Para determinar el consumo de gas anual que tienen las viviendas por el uso de calentadores convencionales es necesario, inicialmente, verificar el mecanismo de abasto, éste se da de tres maneras:

- gas natural, abastecido por ductos y comercializado en m<sup>3</sup>
- gas L.P. a tanque estacionario, va de los 120 L a los 5,000 L
- gas L.P. en cilindros, de 10 kg a 45 kg

### 5.2.6 Determinación del costo del consumo anual de gas natural

Para determinar el consumo promedio que tienen las viviendas que ocupan este hidrocarburo, es necesario obtener el volumen de gas natural consumido de manera anual, para ello se utiliza el poder calorífico del gas natural, mismo que fue tomado de la **NOM-027-SCFI-1993 “Calentadores para agua tipo almacenamiento a base de gases licuados del petróleo o gas natural”**, que en su epígrafe 8.3 “Cálculos”, muestra el poder calorífico de los combustibles fósiles en (kJ/m<sup>3</sup>), siendo:

- Poder calorífico del gas natural = 35,441 (kJ/m<sup>3</sup>)

Con fines prácticos se supone que las viviendas cuentan con un calentador tradicional de depósito, por ello el  $CEA_t$  fue dividido entre la eficiencia térmica mínima de 79%.

Ya que las unidades del  $CEA_t$  están dadas en  $\text{kJ/año}$  y la comercialización del gas se mide en unidades de capacidad, es necesaria su conversión, esto se realiza a continuación:

$$\text{Consumo de gas natural} = \frac{CEA_t \left( \frac{\text{kJ}}{\text{año}} \right)}{\text{Poder calorífico del gas natural} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right)}$$

**Sustituyendo valores:**

$$\text{Consumo de gas natural} = \frac{13,524,584.1 \text{ (kJ/año)}}{35,441 \text{ (kJ/m}^3\text{)}} = 381.6084 \text{ (m}^3\text{/año)}$$

Con el consumo de gas natural medido en  $(\text{m}^3/\text{año})$  se obtiene el costo económico del consumo de gas por el uso de calentadores convencionales. En la **tabla 5.3** se muestran los conceptos involucrados en el abastecimiento de gas natural y sus precios unitarios, publicados en el Diario Oficial de la Federación. Dichos importes también son expresados en las facturas que emite la empresa comercializadora Metro Gas México S. A de C.V., por concepto del consumo de gas natural.

**Tabla 5.2 Costo anual de comercialización de gas natural por uso de calentadores de agua<sup>5</sup>**

costos de comercialización y distribución del gas natural en el Distrito Federal				
consumo	Unidad	concepto	precio unitario (\$)	Importe anual
381.6084	m <sup>3</sup>	precio de adquisición	2.2633	\$ 863.694
381.6084	m <sup>3</sup>	Distribución y comercialización por uso y capacidad	2.8092	\$ 1,072.014
		cargo por servicio mensual	41.07	\$ 492.84
		ajuste operativo mensual	2.485	\$ 29.82
		Total		\$ 2,458.36
		IVA 16 %		\$ 393.34
		<b>Costo de adquisición anual</b>		<b>\$ 2,851.70</b>

Fuente: Metrogas S. A de C.V.

<sup>5</sup> El diario oficial de la Federación publica que los incrementos en los costos de distribución y adquisición del gas natural tendrán un aumento porcentual del 5% anual de manera conjunta

La tabla anterior indica el costo anual generado en una vivienda de 4.5 habitantes, que deberá pagar a la empresa distribuidora de gas natural \$ 2,851.70 por un consumo anual de 381.6084 m<sup>3</sup> de gas natural.

### 5.2.7 Determinación del costo del consumo anual de gas L.P. suministrado a tanque estacionario

Así como en el apartado anterior, las unidades del CEAt están dadas en kJ/año, dado que la comercialización del gas se mide en unidades de capacidad, es necesaria su conversión. La **NOM-027-SCFI-1993** muestra el poder calorífico del gas LP en (kJ/m<sup>3</sup>).

- Poder calorífico del gas L.P. = 97,260 (kJ/m<sup>3</sup>)

Esto se realiza a continuación:

$$\text{Consumo de gas L.P.} = \frac{\text{CEAt} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{año}} \right)}{\text{Poder calorífico del gas L.P.} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right)}$$

$$\text{Consumo de gas L.P.} = \frac{13,524,584.1 \text{ (kJ/año)}}{97,260 \text{ (kJ/m}^3\text{)}} = 139.056 \text{ (m}^3\text{/año)}$$

La venta del gas L.P. mediante carros tanque se mide en unidades de capacidad. Ya que las unidades resultantes en el cálculo del consumo de gas no son consistentes con las unidades de venta, se utiliza un factor de conversión, mismo que es emitido por la SENER (Secretaría de Energía) y vigilado por PROFECO. Dicho factor es:

$$1 \text{ m}^3 \text{ de gas L.P.} = 3.8970 \text{ Litros}^6$$

<sup>6</sup> Fuente: HANDBOOK BUTANE-PROPANE GASES; 4th edition, Publ. Chilton Company, Los Angeles, EE.UU. 1962, pág. 22.

Entonces:

$$\text{Consumo de gas L.P.} = 139.056 \text{ (m}^3\text{/año)} * 3,8970 \text{ (L/m}^3\text{)} = \mathbf{541.90 \text{ ( L / año)}}$$

El abastecimiento de gas L.P. por medio de pipas tiene un costo promedio de 6.73 \$/litro, en la región 92 (Distrito Federal).

Esto significa que:

$$\text{Consumo de gas L.P.} = \mathbf{541.90 \text{ (L/año)} * 6.73 \text{ (\$/L)} = \mathbf{3,646.994 \text{ (\$/año)}}$$

Es decir, se gastan 3,646.994 pesos cada año por concepto de suministro de gas LP a tanque estacionario.

### **5.2.8 Determinación del costo del consumo anual de gas L.P. suministrado en cilindros**

El consumo de gas L.P. a través de los cilindros se cuantifica en kilogramos. Las diferentes capacidades de almacenamiento de los cilindros de gas LP van de los 10 a los 45 kilos

Un factor de conversión emitido por la SENER (Secretaría de Energía) y vigilado por PROFECO es:

$$\mathbf{1 \text{ m}^3 \text{ de gas L.P.} = \mathbf{2.10438 \text{ kg}}$$

Por lo tanto:

$$\text{Consumo de gas L.P. en cilindros} = 139.056 \text{ (m}^3\text{/año)} * 2.10438 \text{ (kg/m}^3\text{)} = \mathbf{292.63 \text{ kg/año}}$$

El abastecimiento de gas L.P. por medio de cilindros de gas tiene un costo de 12.45 \$/kg en la región 92 (Distrito Federal).

Por lo tanto se puede determinar el costo anual que representa el consumo de gas suministrado en cilindros de la siguiente forma:

$$\text{Consumo } 292.63 \text{ (kg/año)} * \text{costo } 12.45 \text{ (\$/kg)}$$

$$\text{Costo anual de consumo de gas L.P. en el uso de cilindros de gas} = \mathbf{\$ 3,643.24 \text{ anuales}}$$



Los costos obtenidos por el uso de gas natural o L.P. mediante los cálculos están representados en la **tabla 5.3**, estos fueron obtenidos con base en los precios actuales de adquisición de los diferentes hidrocarburos utilizados en el sector residencial.

**Tabla 5.3 Resumen de costos por uso de calentadores de gas en las viviendas**

Calentadores de agua con depósito de 103 L	Calentador de agua de recuperación rápida
	
<b>Consumo de gas natural</b> 381.6084 (m <sup>3</sup> /año)	<b>Consumo de gas natural</b> 367.64139 (m <sup>3</sup> /año)
<b>Consumo de gas L.P.</b> 541.90 ( litros / año)	<b>Consumo de gas L.P.</b> 522.07 ( litros /año)
<b>Consumo de gas L.P.</b> 292.63 (kg/año)	<b>Consumo de gas L.P.</b> 281.92 (kg/año)
<b>Costo por consumo de gas natural</b> 2851.70 (\$/año)	<b>Costo por consumo de gas natural</b> 2769.56 (\$/año)
<b>Costo por consumo de gas L.P. Suministro a tanque estacionario</b> 3,646.99 (\$/año)	<b>Costo por consumo de gas L.P. Suministro a tanque estacionario</b> 3,513.57 (\$/año)
<b>Costo por consumo de gas L.P. Suministro en cilindros</b> 3,643.24 (\$/año)	<b>Costo por consumo de gas L.P. Suministro en cilindros</b> 3,509.91 (\$/año)

### 5.3 Indicadores de rentabilidad económica

Los indicadores de rendimiento de la inversión se definen por el incremento o disminución del bienestar que se derivaría del uso de recursos en alguna actividad específica. Los indicadores utilizados para medir la rentabilidad económica son el valor presente neto (VPN) y el tiempo de recuperación de la inversión o también llamado periodo de amortización.

#### 5.3.1 Valor presente neto

Es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El valor presente neto permite determinar si un proyecto de inversión cumple con el objetivo de aumentar o reducir su valor en un periodo de tiempo determinado

Para este caso el VPN determina el valor del dinero a futuro que se utiliza en el calentamiento de agua por un periodo de 20 años en el uso de calentadores convencionales

La expresión analítica de este concepto es la siguiente

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FC_t}{(1+r)^t}$$

Dónde:

VPN = Valor presente neto

$I_0$  = Inversión inicial

t = Tiempo en años

n = Vida útil del calentador solar

FCt = Flujo de caja neto en el periodo indicado

r = Tasa de descuento<sup>7</sup>

<sup>7</sup> **Tasa de descuento** Llamada así por que descuenta el valor del dinero en el futuro a su equivalente en el presente.

Para poder realizar una comparación entre los sistemas de calentamiento de agua tradicionales y los sistemas de calentamiento solar se utilizó el VPN. Cabe destacar que los calentadores convencionales generan un egreso monetario permanente en las viviendas por el uso de gas, en tanto que los calentadores solares generan un costo menor que se traduce en un ahorro económico.

Se obtiene el VPN para dos escenarios. El primer análisis económico se realiza para una vivienda que cuenta con calentador de agua que funciona con gas, el segundo análisis es para una vivienda en la que se implementa un sistema de calentamiento solar con un sistema de calentamiento auxiliar de gas.

### **5.3.2 Análisis económico para viviendas con sistema de calentamiento tradicional**

#### **Determinación de la inversión inicial.**

Los costos de los calentadores que funcionan con gas varían de acuerdo al tipo de tecnología, para este caso se utiliza el costo de adquisición de un calentador de agua con depósito de 101 L de la marca Calorex. Este tipo de calentadores es el más utilizado en los hogares mexicanos debido a su bajo costo y a su integración arquitectónica

Inversión inicial = costo del calentador de gas + costo de instalación

- Costo de calentador de agua para gas natural o L.P. = \$ 5,000.00
- Costo de instalación (insumos + mano de obra) = \$ 1,500

Entonces la inversión inicial es = \$ 6,500

#### **Determinación de los flujos de caja.**

Los flujos de caja están representados en la **tabla 5.10**, que son los costos que tiene un sistema de calentamiento convencional que utiliza gas natural o gas L.P. como medio de combustión para elevar la temperatura del agua hasta 50°C y así obtener el beneficio del agua caliente para usos sanitarios.

Tabla 5.4 flujos de caja por consumo de gas

proyecto	Análisis económico del uso de calentadores de gas en el sector residencial						Vida útil del C.S.A	20 años				
flujos efectivos de caja (año/pesos)												
Conceptos	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Costos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>Inversión Inicial</b>	-\$ 6,500.00											
costos de mantenimiento 5% anual del costo del equipo							-\$ 391.11	-\$ 468.23	-\$ 556.37	-\$ 655.53	-\$ 765.70	
tasa de inflación anual 3.39% a septiembre 2013												
<b>Costos de consumo de gas</b>												
consumo de gas natural en ductos		-\$ 2,851.70	-\$ 2,994.29	-\$ 3,144.00	-\$ 3,301.20	-\$ 3,466.26	-\$ 4,030.68	-\$ 4,700.44	-\$ 5,491.83	-\$ 6,421.94	-\$ 7,508.74	
consumo de gas L.P en tanque estacionario		-\$ 3,646.99	-\$ 3,843.93	-\$ 4,051.50	-\$ 4,270.28	-\$ 4,500.88	-\$ 5,135.03	-\$ 5,880.55	-\$ 6,754.46	-\$ 7,774.73	-\$ 8,960.27	
Consumo de gas L.P en cilindros		-\$ 3,643.24	-\$ 3,854.55	-\$ 4,078.11	-\$ 4,314.64	-\$ 4,564.89	-\$ 5,220.76	-\$ 5,991.79	-\$ 6,895.68	-\$ 7,951.16	-\$ 9,178.02	
<b>Tasa de incremento anual de combustibles</b>												
gas natural	5%											
gas L.P en litros	5.4%											
gas L.P en litros	5.8%											
flujos efectivos de caja (año/pesos)												
		2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<b>Inversión por remplazo de calentador solar</b>	-\$ 8,923.85											
costos de mantenimiento 5% anual del costo del nuevo equipo							-\$ 941.98	-\$ 1,129.28	-\$ 1,327.59	-\$ 1,536.93	-\$ 1,757.28	
<b>continuación de Costos de consumo de gas</b>												
consumo de gas natural en ductos		-\$ 16,432.59	-\$ 7,884.18	-\$ 8,278.39	-\$ 8,692.31	-\$ 9,126.92	-\$ 10,525.25	-\$ 12,180.79	-\$ 14,117.42	-\$ 16,360.22	-\$ 18,935.50	
consumo de gas L.P en tanque estacionario		-\$ 17,884.12	-\$ 9,444.12	-\$ 9,954.102	-\$ 10,491.624	-\$ 11,058.171	-\$ 12,597.293	-\$ 14,406.824	-\$ 16,512.385	-\$ 18,940.979	-\$ 21,721.067	
Consumo de gas L.P en cilindros		-\$ 18,101.87	-\$ 9,710.35	-\$ 10,273.55	-\$ 10,869.42	-\$ 11,499.84	-\$ 13,108.81	-\$ 14,998.40	-\$ 17,195.90	-\$ 19,730.19	-\$ 22,631.82	

El uso de tecnologías convencionales de calentamiento de agua por medio de gas no genera ningún beneficio económico ya que solo se generan egresos monetarios por contar con el servicio de agua caliente. Estos egresos aumentan en función del tiempo, debido a que las tarifas de adquisición de gas se incrementan mes con mes, para ello se analizan los incrementos a lo largo de la vida útil del calentador solar.

La tasa de incremento anual de gas natural es de 5.0 % distribuido por ductos, 5.4% para gas L.P. a tanque estacionario y un 5.8% para el caso de gas L.P. abastecido en cilindros<sup>8</sup>.

El costo de mantenimiento de los calentadores de agua se ve reflejado hasta después del 6to año de uso, ya que la gran mayoría de los fabricantes garantiza sus productos de 5 a 7 años, esto se traduce a que en los primeros 5 a 7 años de uso cualquier falla ocurrida en el calentador será reparada por los técnicos de la marca sin costo alguno. A partir del 6to año los fabricantes recomiendan presupuestar un 5% del costo de adquisición del calentador para destinarlo al mantenimiento.

### Tasa de descuento

Se utiliza una tasa de descuento del 4% que equivale al porcentaje promedio de retorno de una inversión en el banco (basado en la tasa CETES a 28 días en México, redondeo septiembre 2013).

**Periodo de análisis** (t= tiempo en años, n= periodo de estudio= vida útil del C.S.A)

El periodo de análisis es de 20 años, el cual está representado por la vida útil que tienen los calentadores solares

Una vez obtenidos los datos requeridos para realizar el análisis de rentabilidad económica se procede a calcular el VPN por utilizar calentadores de agua en un periodo de 20 años, los resultados obtenidos se representan en la **tabla 5.5**

**Tabla 5.5 VPN por el uso de calentadores de gas en las viviendas**

Valor Presente Neto	tasa de descuento anual	4%	periodo de análisis	20 años
calentamiento de agua con gas natural	-\$ 93,737.88			
calentamiento de agua con gas L.P tanque estacionario	-\$ 113,359.40			
calentamiento de agua con gas L.P cilindros	-\$ 116,673.81			

<sup>8</sup> Fuente: Diario Oficial de la Federación y Anuario estadístico de energía e hidrocarburos 2013 SENER

## 5.4 Escenario 2. Viviendas que cuentan con un sistema de calentamiento solar

En el segundo escenario se plantea el análisis costo - beneficio para viviendas que cuentan con un sistema de calentamiento solar de agua, este sistema puede estar conformado por un calentador solar de placa plana o un calentador solar de tubos evacuados, que además cuentan con un subsistema de calentamiento auxiliar que funciona con gas natural o gas L.P.

Existe un gran número de calentadores solares en el mercado mexicano, sus costos varían de acuerdo a las necesidades del usuario y del tipo de tecnología usada.

### 5.4.1 Costos de calentadores solares

El costo promedio del metro cuadrado de tecnología solar que incluye tanque térmico de almacenamiento, colector, estructura de soporte y válvulas, oscila entre los **\$3,500 a los \$4,000**, dependiendo del fabricante.

El costo del termotanque se cotiza de acuerdo al volumen de almacenamiento y al espesor de pared, la gran mayoría de los calentadores solares utilizados para vivienda cuentan con un termotanque de 150 L, estos soportan una presión máxima de  $8\text{kg/cm}^2$ , teniendo un costo que oscila entre los \$2,500 a los \$4,000, dependiendo del material, aislante térmico así como del fabricante.

En la **Tabla 5.5** se muestran algunas marcas y modelos de calentadores solares comercializados en México y sus costos actuales.

**Tabla 5.5 Equipos, modelos y costos de calentadores solares de agua con termotanque mínimo de 150 L**

Marca	Modelo	País de origen	Tipo de tecnología	capacidad del termotanque (L)	Precio sin IVA
ROTOPLAS	CI-GBA-66-ET	México	Placa plana	147	\$ 9,000.00
IUSA	IUSASOL SCS11008	México	Placa plana	150	\$ 8,595.00
ZEUS	CIA-GBA-25-ET	México	Placa plana	150	\$ 8,000.00
AXOL	AXL-150	México	Placa plana	150	\$ 8,666.00
SAECSA	SAECSA200	México	Placa plana	200	\$ 11,650.00
SAECSA	SAECSA100PP	México	Placa plana	100	\$ 7,950.00
HELIOCOL	CT2-N	México	Placa plana	150	\$ 10,400.00
FUNCOSA	SCS15H	México	Placa plana	150	\$ 10,095.00
FUNCOSA	SCS-15	China	Tubos evacuados	150	\$ 8,328.27
SOLARIS-ECOSYSTEM	SOLSEC-150	China	Tubos evacuados	150	\$ 6,990.00
GENESIS	GNSIS-TE150L	China	Tubos evacuados	150	\$ 11,300.00
NOVOSOL	TE-NVSL-CTT150L	China	Tubos evacuados	150	\$ 6,275.00
SIESOL	CS-TE-150-SISL	China	Tubos evacuados	150	\$ 6,200.00
GENERACION SOLAR	GNCSLAR-AB150	China	Tubos evacuados	150	\$ 6,600.00
KRUGER	SCS-150-HPEP	Alemania	Tubos evacuados	150	\$ 9,240.00

#### 5.4.2 Costo de instalación

El costo de instalación varía de acuerdo a las necesidades del usuario, este oscila entre los \$1,000 a los \$2,500, dependiendo del personal especializado. Marcas como Heliocol, Rotoplas, Energisol e Inversolar incluyen el costo de la instalación en el costo de adquisición del equipo.

#### 5.4.3 Costos de mantenimiento

Los costos de mantenimiento de un calentador solar se estiman en 5% anual del costo del equipo. El costo de mantenimiento puede variar dependiendo el tipo de tecnología solar. Si el usuario adquiere un calentador solar con tecnología de tubos evacuados se puede enfrentar a un incremento en los costos de mantenimiento y compra de refacciones, tal como el remplazo de los tubos evacuados, los empaques y, en casos extremos, el remplazo del termotanque.

Por otra parte, si se adquiere tecnología solar de placa plana, el costo de mantenimiento es mínimo o nulo, ya que solo se realiza la limpieza periódica de la cubierta transparente de policarbonato, acrílico o cristal templado, y el termotanque de almacenamiento se drena cada seis meses, evitando así incrustaciones en el interior del mismo. En algunos casos se requiere el remplazo de empaques y válvulas.

La mayoría de los fabricantes de tecnologías solares indican en sus productos una garantía de 10 años, por lo que los costos de mantenimiento se suscitarán hasta el onceavo año después de instalarlos.

## 5.5 Beneficios

Hoy en día el aprovechamiento de las energías renovables, como la energía solar térmica, tiene beneficios económicos, ambientales y sociales. El principal beneficio y el de mayor interés es el **Económico-Ambiental**, ya que por la NADF-008-AMBT-2005 indica que en cualquier tipo de instalación solar se debe cumplir un porcentaje mínimo de ahorro del 30 % en el consumo de gas natural o gas L.P.

Dependiendo del tipo de instalación se puede lograr hasta un 80% de ahorro en el consumo de combustibles.

Otros beneficios del uso de calentadores solares son:

- La energía solar térmica es un recurso inagotable y completamente renovable
- Contribuye a un desarrollo sostenible en cualquier aspecto social
- No contamina
- La fuente de energía que provee al calentador solar es gratuita
- Disponibilidad permanente de agua caliente.
- Los costos de operación son nulos, ya que su mantenimiento es básicamente de limpieza
- Disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, como el CO<sub>2</sub>, provenientes de la quema de combustibles fósiles para el calentamiento de agua.
- Creación de fuentes de trabajo y capacitación a trabajadores
- En algunas regiones del país impulso al turismo ecológico
- Disminución del tránsito de vehículos que distribuyen el gas L.P.
- Genera un aumento en el mercado del valor de la vivienda debido a su ahorro de energía y practicidad



### 5.5.1 Beneficio económico

#### 5.5.2 Disminución en el consumo de energía por el uso de tecnología solar térmica

Para determinar la disminución en el consumo de energía debido al uso de tecnología solar térmica se consideran dos casos: el primero es el uso de un calentador solar de placa plana y otro de tubos evacuados. Para el primer caso, se propone la adquisición de un calentador solar de placa plana marca Heliocol Modelo CT-2, el cual es el más recomendado por el programa de Hipotecas Verdes del INFONAVIT, Este calentador tiene un área total de captación de energía solar térmica de 1.9 m<sup>2</sup>, con una eficiencia en su funcionamiento del 50% y una capacidad de almacenamiento de 150 L.

En el segundo escenario se analizará el ahorro energético que se tiene por el uso de un calentador solar de tubos evacuados marca Funcosa modelo SCS-15 de 15 tubos evacuados tricapa de alta eficiencia del 65% y un área de captación solar de 2.00 m<sup>2</sup>

A partir de estos datos se determina el ahorro energético, usando la siguiente ecuación proporcionada por la comisión nacional de ahorro de energía (CONAE):

$$A_e = \frac{(A)(I_{prom})(F.C)(t)(n_{solar})}{(n_{boiler})}$$

Utilizando los datos del primer escenario “calentador solar de placa plana marca Heliocol Modelo CT-2 tenemos que:

- $A_e$  = Ahorro anual de energía (kJ/año)
- $A$  = Área del colector solar plano 1.9 (m<sup>2</sup>)
- $I_{prom}$  = Radiación solar promedio 5 (kWh/m<sup>2</sup>/día)
- $F.C$  = Factor de conversión de 1 (KWh) = 3600 KJ
- $t$  = son los días de consumo de agua caliente sanitaria por año (días/año)
- $n_{solar}$  = Eficiencia del calentador solar de agua 50(%)
- $n_{boiler}$  = Eficiencia del calentador convencional 79 (%)

Por lo tanto, sustituyendo:

$$A_e = \frac{(1.9)(5.0)(3600)(365)(.50)}{(.79)}$$

$$A_e = 7,900,632.911 \text{ (kJ/año)}$$

Este valor se traduce en la energía que aportará el calentador solar de placa plana para el calentamiento de agua en usos sanitarios, disminuyendo el consumo de gas.

Utilizando las variables del cálculo anterior y sustituyendo los datos técnicos del segundo escenario “calentador solar de tubos evacuados marca Funcosa modelo. SCS-15” en la ecuación del ahorro energético,

Entonces:

- $A_e$  = Ahorro anual de energía (kJ/año)
- $A$  = Área del colector solar plano 2.00 (m<sup>2</sup>)
- $I_{prom}$  = Radiación solar promedio 5 (kWh/m<sup>2</sup>/día)
- $F.C$  = Factor de conversión de 1 (kWh) = 3600 kJ
- $t$  = Días de consumo de agua caliente sanitaria por año (días/año)
- $n_{solar}$  = Eficiencia del calentador solar de agua 65(%)
- $n_{boiler}$  = Eficiencia del calentador convencional 79 (%)

Sustituyendo:

$$A_e = \frac{(2.0)(5.0)(3600)(365)(.65)}{(.79)}$$

$$A_e = 10,811,392.41 \text{ (kJ/año)}$$

### 5.5.3 Porcentaje de ahorro energético

Para esclarecer los beneficios que aporta el uso de estas ecotecnologías, se obtendrá el porcentaje de ahorro energético. Las viviendas que cuentan con sistemas tradicionales de calentamiento a base de gas tienen un consumo energético anual de 13,524,584.1 (kJ/año). Ahora si estas viviendas adquirieran e instalaran un calentador solar con las características antes mencionadas, tendrían los beneficios de ahorrar energía, el uso de estos equipos genera una disminución en el consumo energético de 7,900,632.911 kJ/año, utilizando calentadores solares con tecnología de placa plana, y un ahorro energético anual de 10,811,392.41 (kJ/año) utilizando calentadores solares de tubos evacuados.

Así:

#### Porcentaje de ahorro energético de calentador de placa plana (PAE)

$$PAE = \frac{A_e \times 100\%}{CEA_T} = \frac{7,900,632.911 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{año}}\right) \times 100\%}{13,524,584.1 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{año}}\right)} = 58.41 \%$$

#### Porcentaje de ahorro energético de calentador de tubos evacuados (PAE)

$$PAE = \frac{A_e \times 100\%}{CEA_T} = \frac{10,811,392.41 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{año}}\right) \times 100\%}{13,524,584.1 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{año}}\right)} = 79.94 \%$$

Por lo tanto con el uso de calentadores solares para elevar la temperatura del agua para usos sanitarios, se puede decir que del 100 % de la energía que habitualmente se consume, debido al ahorro que conlleva el uso de calentadores con tecnología de placa plana solo se ocupa un 41.59 %, y un 20.06 % con calentadores a base de tecnología de tubos evacuados. Esto representa un ahorro energético de 58.41% para calentadores con tecnología de placa plana, y un 79.94 % para la tecnología de tubos evacuados.

#### 5.5.4 Ahorro anual de combustibles

#### 5.5.5 Cálculo del ahorro en el consumo de gas natural

Haciendo una analogía de la metodología para la determinación del consumo de gas se puede obtener el ahorro en el consumo de gas. Ya que las unidades del ahorro energético anual están dadas en kJ/año y la comercialización del gas es mediante medidas de capacidad, es necesaria la conversión de unidades. Esto se realiza a continuación:

$$\text{Ahorro de gas natural} = \frac{A_e \left( \frac{\text{kJ}}{\text{año}} \right)}{\text{Poder calorífico del gas natural} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right)}$$

Aplicando esta ecuación a distintos equipos, se tiene:

- Ahorro energético anual para calentadores de placa plana = 7,900,632.911 (kJ/año)
- Ahorro energético anual para calentadores de tubos evacuados = 10,811,392.41 (kJ/año)
- Poder calorífico del gas natural = 35,441 (kJ/m<sup>3</sup>)

Con calentador solar de placa plana se tiene que:

$$\text{Ahorro anual de gas natural} = \frac{7,900,632.911 \text{ (kJ/año)}}{35,441 \text{ (kJ/m}^3\text{)}} = 222.92 \text{ m}^3 / \text{año}$$

Con calentador solar de tubos evacuados se tiene que

$$\text{Ahorro anual de gas natural} = \frac{10,811,392.41 \text{ (kJ/año)}}{35,441 \text{ (kJ/m}^3\text{)}} = 305.05 \text{ m}^3 / \text{año}$$

Con el dato de ahorro de consumo de gas natural en (m<sup>3</sup>/año) se obtiene el costo monetario del ahorro de gas por el uso de calentadores solares

En las **tablas 5.6 y 5.7** se muestran los conceptos y sus costos, incluyendo los precios de adquisición actual del combustible. Se consideraron los precios emitidos en el Diario Oficial de la Federación, y las tarifas proporcionadas por la empresa Metro gas México S. A de C.V.

**Tabla 5.6 Ahorro anual de gas natural utilizando calentadores de placa plana**

<b>costos de comercialización y distribución del gas natural en el Distrito Federal</b>				
Ahorro anual	Unidad	concepto	precio unitario (\$)	Importe anual
<b>222.92</b>	m <sup>3</sup>	precio de adquisición	2.2633	\$ 504.535
<b>222.92</b>	m <sup>3</sup>	Distribución y comercialización por uso y capacidad	2.8092	\$ 626.226
		cargo por servicio mensual	41.07	\$ 492.84
		ajuste operativo mensual	2.485	\$ 29.82
		Total		\$ 1,653.42
		IVA 16 %		\$ 264.55
		<b>Ahorro anual de consumo de gas</b>		<b>\$ 1917.97</b>

Datos calculados a partir de los costos de adquisición de Metro gas México S. A de C.V.

Fuente: gas natural México

De la **tabla 5.6** se observa que si se instala un calentador solar de placa plana se tendrá una disminución en el pago de las facturas de adquisición de gas natural de \$ 1917.97 anualmente, si con el uso de calentadores convencionales paga \$ 2,851.70 anualmente por consumo de gas (ver **tabla 5.2**), con el uso de un calentador solar solo se pagarán \$ 933.73 anualmente.

**Tabla 5.7 ahorro anual de gas natural utilizando calentadores solares de tubos evacuados**

<b>costos de comercialización y distribución del gas natural en el Distrito Federal</b>				
Ahorro anual	Unidad	concepto	precio unitario (\$)	Importe anual
<b>305.05</b>	m <sup>3</sup>	precio de adquisición	2.2633	\$ 690.42
<b>305.05</b>	m <sup>3</sup>	Distribución y comercialización por uso y capacidad	2.8092	\$ 856.95
		cargo por servicio mensual	41.07	\$ 492.84
		ajuste operativo mensual	2.485	\$ 29.82
		Total		\$ 2,070.03
		IVA 16 %		\$ 331.20
		<b>Ahorro anual de consumo de gas</b>		<b>\$ 2,401.23</b>

Datos calculados a partir de los costos de adquisición de Metro gas México S. A de C.V.

Fuente: gas natural México

### 5.5.6 Cálculo del ahorro en el consumo de gas L.P.

Aplicando la metodología usada para el cálculo del ahorro de gas natural, se tiene:

#### Caso: tanque estacionario

$$\text{Ahorro de gas L.P.} = \frac{A_e \left( \frac{\text{kJ}}{\text{año}} \right)}{\text{Poder calorífico del gas L.P.} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right)}$$

Resultando para los distintos sistemas de calentamiento solar:

- Ahorro energético anual para calentadores de placa plana = 7,900,632.911 (kJ/año)
- Ahorro energético anual para calentadores de tubos evacuados = 10,811,392.41 (kJ/año)
- Poder calorífico del gas L.P. = 97,260 (kJ/m<sup>3</sup>)

Utilizando calentador solar de placa plana, se tiene:

$$\text{Ahorro de consumo anual de gas L.P.} = \frac{7,900,632.911 \text{ (kJ/año)}}{97,260 \text{ (kJ/m}^3\text{)}} = 81.232 \text{ m}^3 / \text{año}$$

Utilizando calentador solar de tubos evacuados, se tiene:

$$\text{Ahorro de consumo anual de gas L.P.} = \frac{10,811,392.41 \text{ (kJ/año)}}{97,260 \text{ (kJ/m}^3\text{)}} = 111.16 \text{ m}^3 / \text{año}$$

Con el fin de determinar el ahorro económico de gas LP se utilizó un factor de conversión, emitido por la SENER (Secretaría de Energía) vigilado por PROFECO, ya que el gas L.P. se comercializa en unidades de capacidad. Este factor es:

$$1 \text{ m}^3 \text{ de gas L.P.} = 3.8970 \text{ Litros}$$

Entonces:

Utilizando un calentador solar de placa plana

$$\text{Ahorro de consumo de gas L.P.} = 81.232 \text{ (m}^3\text{/año)} * 3,8970 \text{ (L/m}^3\text{)} = \mathbf{316.56 \text{ (L /año)}}$$

Utilizando un calentador solar de tubos evacuados

$$\text{Ahorro de consumo de gas L.P.} = 111.16 \text{ (m}^3\text{/año)} * 3,8970 \text{ (L/m}^3\text{)} = \mathbf{433.19 \text{ ( L /año)}}$$

El abastecimiento de gas L.P. por medio de pipas tiene un costo promedio de 6.73 \$/litro, en la región 92 (Distrito Federal)

Esto significa que:

Con calentador de placa plana el ahorro de gas será:

$$\text{Ahorro de gas L.P.} = 316.56 \text{ (L/año)} * 6.73 \text{ (\$/L)} = \mathbf{2,130.45 \text{ (\$/año).}}$$

Con calentador de tubos evacuados el ahorro de gas será:

$$\text{Ahorro de gas L.P.} = 433.19 \text{ (L/año)} * 6.73 \text{ (\$/L)} = \mathbf{2,915.37 \text{ (\$/año)}}$$

### **Caso cilindros de gas**

En este caso solo se realizarán los cálculos del ahorro económico, tomando los datos del ahorro energético anual anterior, que son:

Utilizando calentador solar de placa plana

$$\text{Ahorro de consumo anual de gas L.P.} = \mathbf{81.232 \text{ m}^3\text{ / año}}$$

Utilizando calentador solar de tubos evacuados

$$\text{Ahorro de consumo anual de gas L.P.} = \mathbf{111.16 \text{ m}^3\text{ / año}}$$

Para determinar el ahorro económico de gas LP se utilizó un factor de conversión emitido por la SENER (Secretaría de Energía) vigilado por PROFECO, ya que la comercialización de este hidrocarburo es en cilindros con capacidades que van de los 10 a los 45 kg. Este factor es:

$$\text{Factor de conversión: } 1 \text{ m}^3 \text{ de gas L.P.} = 2.10438 \text{ kg}$$

Por lo tanto:

Utilizando un calentador solar de placa plana el ahorro será:

$$\text{Ahorro anual de gas L.P.} = 81.232 \text{ (m}^3\text{/año)} * 2.10438 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 170.943 \text{ (kg/año)}$$

Utilizando un calentador solar de tubos evacuados el ahorro será

$$\text{Ahorro de consumo de gas L.P.} = 111.16 \text{ (m}^3\text{/año)} * 2.10438 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 233.923 \text{ (kg/año)}$$

El abastecimiento de gas L.P. por medio de cilindros de gas tiene un costo de 12.45 \$/kg en la región 92 (Distrito Federal).

Esto significa que:

#### **Con calentador de placa plana**

$$\text{Ahorro de gas L.P.} = 170.943 \text{ (kg/año)} * 12.45 \text{ (\$/kg)} = 2,128.24 \text{ (\$/año)}$$

#### **Con calentador de placa tubos evacuados**

$$\text{Ahorro de gas L.P.} = 233.923 \text{ (kg/año)} * 12.45 \text{ (\$/kg)} = 2,787.84 \text{ (\$/año)}$$



Tabla 5.8 Resumen de ahorros y costos de gas L.P. por el uso de calentadores solares de agua

	tipo de abastecimiento	
	tanque estacionario	cilindros de gas
	Unidad	Unidad
<b>Ahorro de gas L.P.</b>	<b>(L)</b>	<b>(kg)</b>
Con C.S.A. de placa plana	<b>316.56</b>	<b>170.943</b>
Con C.S.A. de tubos evacuados	<b>433.19</b>	<b>233.923</b>
	unidad	unidad
<b>Ahorro económico de gas L.P.</b>	<b>(\$/año)</b>	<b>(\$/año)</b>
Con C.S.A de placa plana	<b>\$ 2,130.45</b>	<b>\$ 2,128.24</b>
Con C.S.A de tubos evacuados	<b>\$ 2,915.37</b>	<b>\$ 2,912.34</b>

### 5.5.7 Beneficio ambiental



Los ahorros energéticos por el uso de calentadores solares generan un beneficio ambiental, el cual está dado por la reducción de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. En la **tabla 5.9** se muestra la huella de carbono que conlleva el consumo de algunos elementos. Para este caso aplica la equivalencia de gas natural y de gas L.P. (mezcla propano - butano), realizándose los cálculos para determinar el beneficio ambiental.

Tabla 5.9 huella de carbono por algunos productos consumidos

CONCEPTO	EQUIVALENCIA	CO2 EMITIDO (KILOGRAMOS)
ENERGÍA ELECTRICA DE LA RED	1 KWH	0.4
GASOLINA (VEHICULO UTILITARIO MEDIO)	1 litro	2.3
GASOIL (VEHÍCULO UTILITARIO MEDIO)	1 litro	2.7
FUEL OIL / GAS OIL	1 m3	2,660
GAS NATURAL	1 m3	1.7
PROPANO, BUTANO	1 kg	2.7
PAPEL	1 kg	3
PAPEL RECICLADO	1 kg	1.8
AGUA POTABLE EN VIVIENDAS Y SECTOR SERVICIOS (40 % A.C.S. Y 60 % AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE)	1 m3	14.4
AGUA POTABLE A TEMPERATURA AMBIENTE	1 m3	4
AGUA POTABLE CALIENTE SANITARIA (A.C.S.) (65 °C )	1 m3	40

Entonces, el ahorro ecológico producido por el uso de tecnologías de calentamiento solar, está dado por los datos mostrados en la **tabla 5.10**

**Tabla 5.10 Factibilidad ambiental por el uso de calentadores solares**

Calentadores solares de placa plana	Calentadores solares de tubos evacuados
	
Ahorro de gas natural <b>222.92 (m<sup>3</sup> / año)</b>	Ahorro de gas natural <b>305.05 m<sup>3</sup> / año</b>
Ahorro de gas L.P. <b>316.56 ( L /año)</b>	Ahorro de gas L.P. <b>433.19 ( L /año)</b>
Ahorro de gas L.P. <b>170.943 (kg/año)</b>	Ahorro de gas L.P. <b>233.923 (kg/año)</b>
Emisiones de CO <sub>2</sub> a la atmósfera por quema de gas natural <b>1.7 kg (CO<sub>2</sub>)/m<sup>3</sup></b>	
Emisiones de CO <sub>2</sub> a la atmósfera por quema de gas L.P. <b>2.7 kg (CO<sub>2</sub>)/kg</b>	
Disminución de emisiones a la atmósfera por quema de gas natural <b>378.96 kg (CO<sub>2</sub>) /año</b>	Disminución de emisiones a la atmósfera por quema de gas natural <b>518.58 kg (CO<sub>2</sub>) /año</b>
Disminución de emisiones a la atmósfera por quema de gas L.P. <b>461.54 kg (CO<sub>2</sub>) /año</b>	Disminución de emisiones a la atmósfera por quema de gas L.P. <b>631.59 kg (CO<sub>2</sub>) /año</b>

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior se transforma el valor de la disminución de la emisión de gases a la atmósfera a un ahorro económico, esto con base en los precios de la venta de bonos de carbono. La tonelada de CO<sub>2</sub> se cotiza en el mercado actual de los CERs<sup>9</sup>, entre los 3 y 5 Euros, casi la tercera parte del valor que tenían en 2008<sup>10</sup>

Fijando del precio de la tonelada de CO<sub>2</sub> a 5 euros (\$87.93), se obtienen las siguientes equivalencias económicas:

En el caso de gas natural.

#### Utilizando calentadores solares de placa plana

$$378.96 \text{ kg (CO}_2\text{)/año} * 0.001 \frac{\text{ton}}{\text{Kg}} * 87.93 \frac{\$}{\text{Ton}} = \$ 33.32 \text{ anuales}$$

#### Utilizando calentadores solares de tubos evacuados

$$518.58 \text{ kg (CO}_2\text{)/año} * 0.001 \frac{\text{ton}}{\text{Kg}} * 87.93 \frac{\$}{\text{Ton}} = \$ 45.59 \text{ anuales}$$

En el caso de gas L.P.

#### Utilizando calentadores solares de placa plana

$$461.54 \text{ kg (CO}_2\text{)/año} * 0.001 \frac{\text{ton}}{\text{kg}} * 87.93 \frac{\$}{\text{Ton}} = \$ 40.58 \text{ anuales}$$

#### Utilizando calentadores solares de tubos evacuados

$$631.59 \text{ kg (CO}_2\text{)/año} * 0.001 \frac{\text{ton}}{\text{kg}} * 87.93 \frac{\$}{\text{Ton}} = \$ 55.53 \text{ anuales}$$

<sup>9</sup> CERs: Certificado de Reducción de Emisiones (siglas en ingles)

<sup>10</sup> Fuente: Gallegos Santillán, Emanuel Tesis "El Mercado de los bonos de carbono en México Generalidades y Perspectivas de Desarrollo" Facultad de Economía, SAÚL Julio 2009

## 5.6 Análisis económico para viviendas que cuentan con calentador solar

Para ejemplificar la rentabilidad económica del uso de calentadores solares se determina la **inversión inicial**, la cual está dada por el costo de adquisición de los equipos solares. Para ello se utilizan las cotizaciones proporcionadas por la empresa Heliocol de México S. A de C.V. y la distribuidora Funcosa S. A, las cuales proporcionaron datos sobre el calentador solar de placa plana Modelo. CT-2TT-150, y el calentador solar de tubos evacuados modelo. SCS-15. Cabe destacar que estos son los productos más comercializados en el sector residencial y en el programa de Hipotecas Verdes del Infonavit<sup>11</sup>. En la **tabla 5.11 y 5.12** se muestran los conceptos que integran la inversión inicial.

**Tabla 5.11 Inversión inicial por la adquisición de calentador solar de placa plana**

Concepto	Valor
Costo x m <sup>2</sup> de Colector solar	\$ 3,780.00
m <sup>2</sup> de colector solar	1.90
costo del colector solar	\$ 7,182.00
costo del termotanque de 150 litros	\$ 2,650.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 9,832.00</b>
IVA	\$ 1,573.12
<b>costo total de implementación</b>	<b>\$ 11,405.12</b>

**Tabla 5.12 Inversión inicial de la adquisición de calentador de tubos evacuados**

Concepto	Valor
Costo x m2 de Colector solar	\$ 3,500.00
m2 de colector solar	2.00
Costo del colector solar	\$ 7,000.00
Costo del termotanque 150 litros	\$ 1,328.27
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 8,328.27</b>
IVA	\$ 1,332.52
Costo de instalación mano de obra + insumos	\$ 1,300.00
<b>Costo total de implementación</b>	<b>\$ 10,960.79</b>

<sup>11</sup> La descripción del programa de hipotecas verdes esta proporcionada en el anexo C del presente documento

Como el sistema de calentamiento solar no cubre al 100% los requerimientos energéticos anuales por el consumo de agua caliente sanitaria, ya que los equipos tienen una eficiencia térmica del 50% para el caso de los calentadores solares con tecnología de placa plana y un 65% para las tecnologías solares de tubos evacuados, es necesario implementar un sistema de calentamiento auxiliar, como los calentadores que funcionan con gas natural o gas L.P.

Se tomará en cuenta para este análisis el costo de implementación del sistema auxiliar de calentamiento, cuyo costo es de \$6,500, teniendo una vida útil de 10 años en el calentador marca calorex con depósito de 103 L.

**Teniendo entonces que:**

**Inversión Inicial** para el sistema de calentamiento de agua con **calentador de placa plana** con subsistema de calentamiento con **calentador de depósito igual a:**

$$I_0 = \$11,405.12 + \$6500 = \$17,905.12$$

**Inversión Inicial** para el sistema de calentamiento de agua con **calentador de tubos evacuados** con subsistema de calentamiento con **calentador de depósito igual a:**

$$I_0 = \$10,960.79 + \$6500 = \$17,460.79$$

### **Determinación de los flujos de caja**

Los flujos de caja están representados por los costos y los beneficios que tiene un sistema de calentamiento de agua que utiliza un calentador solar y un subsistema de calentamiento convencional.

En este análisis de rentabilidad económica, los **flujos de caja** son el costo en el consumo de gas natural o gas L.P., generado por los calentadores convencionales. Los beneficios están representados por los ahorros económicos que tiene el uso de calentadores solares, estos se determinaron en el presente capítulo y están representados de manera simplificada en el **tabla 5.13**.

Tabla 5.13 costo – beneficio del uso de calentadores solares de placa plana

proyecto	análisis económico del uso de calentadores solares en el sector residencial						vida útil del C.S.A de placa plana		20 años		
	Tasa de incremento anual de combustibles			gas natural			5.0%	gas L.P	5.4%	5.8%	
<b>flujos efectivos de caja (año/pesos)</b>											
Conceptos	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Costos</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Inversión Inicial</b>											
calentador solar de placa plana	-\$ 11,405.12										
sistema de calentamiento auxiliar calentador de gas	-\$ 6,500.00										
<b>inversión inicial total</b>	-\$ 17,905.12										
<b>Costos de mantenimiento</b>											
<b>mantenimiento del calentador de deposito 5% anual</b>							-\$ 391.11	-\$ 468.23	-\$ 556.37	-\$ 655.53	-\$ 765.70
<b>Costos de consumo de gas sin tecnología solar</b>											
consumo de gas natural en ductos		-\$ 2,851.70	-\$ 2,994.29	-\$ 3,144.00	-\$ 3,301.20	-\$ 3,466.26	-\$ 4,030.68	-\$ 4,700.44	-\$ 5,491.83	-\$ 6,421.94	-\$ 7,508.74
consumo de gas L.P en tanque estacionario		-\$ 3,646.99	-\$ 3,843.93	-\$ 4,051.50	-\$ 4,270.28	-\$ 4,500.88	-\$ 5,135.03	-\$ 5,880.55	-\$ 6,754.46	-\$ 7,774.73	-\$ 8,960.27
Consumo de gas L.P en cilindros		-\$ 3,643.24	-\$ 3,854.55	-\$ 4,078.11	-\$ 4,314.64	-\$ 4,564.89	-\$ 5,220.76	-\$ 5,991.79	-\$ 6,895.68	-\$ 7,951.16	-\$ 9,178.02
<b>Beneficios</b>											
<b>ahorro economico anual de gas por uso de C.S.A de placa plana</b>											
ahorro de gas natural		\$ 1,917.97	\$ 2,013.87	\$ 2,114.56	\$ 2,220.29	\$ 2,331.30	\$ 2,447.87	\$ 2,570.26	\$ 2,698.78	\$ 2,833.72	\$ 2,975.40
ahorro de gas L.P. a tanque estacionario		\$ 2,130.45	\$ 2,245.49	\$ 2,366.75	\$ 2,494.56	\$ 2,629.26	\$ 2,771.24	\$ 2,920.89	\$ 3,078.62	\$ 3,244.86	\$ 3,420.08
ahorro de gas L.P en cilindros		\$ 2,128.24	\$ 2,251.68	\$ 2,382.28	\$ 2,520.45	\$ 2,666.63	\$ 2,821.30	\$ 2,984.93	\$ 3,158.06	\$ 3,341.23	\$ 3,535.02
<b>flujos efectivos de caja (año/pesos)</b>											
Conceptos	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
<b>Costos</b>	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<b>Inversión por remplazo de calentador convencional de gas</b>	-\$ 8,923.85										
<b>costos de mantenimiento 5% anual del costo del nuevo equipo</b>							-\$ 941.98	-\$ 1,129.28	-\$ 1,327.59	-\$ 1,536.93	-\$ 1,757.28
<b>continuación de Costos de consumo de gas</b>											
consumo de gas natural en ductos	-\$ 16,808.03	-\$ 7,884.18	-\$ 8,278.39	-\$ 8,692.31	-\$ 9,126.92	-\$ 10,525.25	-\$ 12,180.79	-\$ 14,117.42	-\$ 16,360.22	-\$ 18,935.50	
consumo de gas L.P en tanque estacionario	-\$ 18,367.97	-\$ 9,444.12	-\$ 9,954.10	-\$ 10,491.62	-\$ 11,058.17	-\$ 12,597.29	-\$ 14,406.82	-\$ 16,512.39	-\$ 18,940.98	-\$ 21,721.07	
Consumo de gas L.P en cilindros	-\$ 18,597.49	-\$ 9,673.64	-\$ 10,234.71	-\$ 10,828.32	-\$ 11,456.37	-\$ 13,062.81	-\$ 14,949.74	-\$ 17,144.41	-\$ 19,675.71	-\$ 22,574.18	
<b>Beneficios</b>											
<b>continuación de beneficios por ahorro de gas</b>											
ahorro de gas natural	\$ 3,124.17	\$ 3,280.38	\$ 3,444.40	\$ 3,616.62	\$ 3,797.45	\$ 3,987.32	\$ 4,186.69	\$ 4,396.02	\$ 4,615.82	\$ 4,846.61	
ahorro de gas L.P. a tanque estacionario	\$ 3,604.77	\$ 3,799.43	\$ 4,004.60	\$ 4,220.84	\$ 4,448.77	\$ 4,689.00	\$ 4,942.21	\$ 5,209.09	\$ 5,490.38	\$ 5,786.86	
ahorro de gas L.P en cilindros	\$ 3,740.05	\$ 3,956.97	\$ 4,186.48	\$ 4,429.29	\$ 4,686.19	\$ 4,957.99	\$ 5,245.55	\$ 5,549.80	\$ 5,871.68	\$ 6,212.24	

Tabla 5.14 costo – beneficio del uso de calentadores solares de tubos evacuados

proyecto	análisis económico del uso de calentadores solares en el sector residencial						vida útil del C.S.A de tubos evacuados		15 años		
	Tasa de incremento anual de combustibles			gas natural			5.0%	gas L.P	5.4%	5.8%	
flujos efectivos de caja (año/pesos)											
Conceptos	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Costos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión Inicial											
calentador solar de tubos evacuados	-\$ 10,960.79										
sistema de calentamiento auxiliar calentador de gas	-\$ 6,500.00										
<b>inversión inicial total</b>	<b>-\$ 17,460.79</b>										
Costos de mantenimiento											
mantenimiento del calentador de deposito 5% anual							-\$ 391.11	-\$ 468.23	-\$ 556.37	-\$ 655.53	-\$ 765.70
mantenimiento del calentador de C.S.A de tubos evacuados 5% anual							-\$ 561.16	-\$ 691.20	-\$ 839.82	-\$ 1,007.01	-\$ 1,192.78
tasa de inflación anual 3.39% a septiembre 2013											
Costos de consumo de gas sin tecnología solar											
consumo de gas natural en ductos		-\$ 2,851.70	-\$ 2,994.29	-\$ 3,144.00	-\$ 3,301.20	-\$ 3,466.26	-\$ 4,591.84	-\$ 5,980.85	-\$ 7,676.08	-\$ 9,722.42	-\$ 12,167.03
consumo de gas L.P en tanque estacionario		-\$ 3,646.99	-\$ 3,843.93	-\$ 4,051.50	-\$ 4,270.28	-\$ 4,500.88	-\$ 5,696.19	-\$ 7,163.21	-\$ 8,946.20	-\$ 11,091.84	-\$ 13,649.28
Consumo de gas L.P en cilindros		-\$ 3,643.24	-\$ 3,854.55	-\$ 4,078.11	-\$ 4,314.64	-\$ 4,564.89	-\$ 5,781.92	-\$ 7,276.70	-\$ 9,094.93	-\$ 11,284.97	-\$ 13,897.98
Beneficios											
ahorro económico anual de gas por uso de C.S.A de tubos evacuados											
ahorro de gas natural		\$ 2,401.23	\$ 2,521.29	\$ 2,647.36	\$ 2,779.72	\$ 2,918.71	\$ 3,064.65	\$ 3,217.88	\$ 3,378.77	\$ 3,547.71	\$ 3,725.10
ahorro de gas L.P. a tanque estacionario		\$ 2,915.37	\$ 3,072.80	\$ 3,238.73	\$ 3,413.62	\$ 3,597.96	\$ 3,792.25	\$ 3,997.03	\$ 4,212.87	\$ 4,440.36	\$ 4,680.14
ahorro de gas L.P en cilindros		\$ 2,912.34	\$ 3,081.26	\$ 3,259.97	\$ 3,449.05	\$ 3,649.09	\$ 3,860.74	\$ 4,084.66	\$ 4,321.57	\$ 4,572.22	\$ 4,837.41
flujos efectivos de caja (año/pesos)											
Conceptos	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
Costos	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Inversión por remplazo de calentador convencional de gas	-\$ 8,923.85										
costos de mantenimiento del calentador de tubos evacuados 5% anual	-\$ 1,397.13	-\$ 1,620.06	-\$ 1,861.56	-\$ 2,121.64	-\$ 2,400.30						
continuación de Costos de consumo de gas											
consumo de gas natural en ductos	-\$ 23,096.36	-\$ 15,792.57	-\$ 18,443.76	-\$ 19,365.95	-\$ 20,334.25	-\$ 21,350.96	-\$ 22,418.51	-\$ 23,539.43	-\$ 24,716.40	-\$ 25,952.22	
consumo de gas L.P en tanque estacionario	-\$ 24,707.32	-\$ 17,403.53	-\$ 20,204.88	-\$ 21,295.95	-\$ 22,445.93	-\$ 23,658.01	-\$ 24,935.54	-\$ 26,282.06	-\$ 27,701.29	-\$ 29,197.16	
Consumo de gas L.P en cilindros	-\$ 24,969.46	-\$ 17,665.67	-\$ 20,551.84	-\$ 21,743.84	-\$ 23,004.99	-\$ 24,339.28	-\$ 25,750.95	-\$ 27,244.51	-\$ 28,824.69	-\$ 30,496.52	
Beneficios											
continuación de beneficios por ahorro de gas											
ahorro de gas natural	\$ 3,911.35	\$ 4,106.92	\$ 4,312.26	\$ 4,527.88	\$ 4,754.27	\$ 4,991.98	\$ 5,241.58	\$ 5,503.66	\$ 5,778.85	\$ 6,067.79	
ahorro de gas L.P. a tanque estacionario	\$ 4,932.87	\$ 5,199.25	\$ 5,480.01	\$ 5,775.93	\$ 6,087.83	\$ 6,416.57	\$ 6,763.06	\$ 7,128.27	\$ 7,513.20	\$ 7,918.91	
ahorro de gas L.P en cilindros	\$ 5,117.98	\$ 5,414.82	\$ 5,728.88	\$ 6,061.16	\$ 6,412.71	\$ 6,784.64	\$ 7,178.15	\$ 7,594.49	\$ 8,034.97	\$ 8,501.00	

Tabla 5.15 Flujos de efectivo del C.S.A de placa plana auxiliado con un calentador convencional de gas

Concepto	flujos efectivos de caja (año/pesos)										
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Sistema de calentamiento de agua con C.S.A y Calentador convencional	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Inversión Inicial</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
calentador solar de placa plana	-\$ 11,405.12										
sistema de calentamiento auxiliar calentador de gas	-\$ 6,500.00										
<b>Inversión Inicial total</b>	<b>-\$ 17,905.12</b>										
costos de consumo de gas con sistema de calentamiento mixto											
consumo de gas natural en ductos		-\$ 933.73	-\$ 980.42	-\$ 1,029.44	-\$ 1,080.91	-\$ 1,134.95	-\$ 1,582.81	-\$ 2,130.18	-\$ 2,793.05	-\$ 3,588.23	-\$ 4,533.34
consumo de gas L.P en tanque estacionario		-\$ 1,516.54	-\$ 1,598.43	-\$ 1,684.75	-\$ 1,775.72	-\$ 1,871.61	-\$ 2,363.79	-\$ 2,959.66	-\$ 3,675.85	-\$ 4,529.87	-\$ 5,540.18
Consumo de gas L.P en cilindros		-\$ 1,515.00	-\$ 1,602.87	-\$ 1,695.84	-\$ 1,794.19	-\$ 1,898.26	-\$ 2,399.46	-\$ 3,006.86	-\$ 3,737.62	-\$ 4,609.93	-\$ 5,643.01
Concepto	flujos efectivos de caja (año/pesos)										
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
<b>continuación de Costos de consumo de gas</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	
costos de consumo de gas con sistema de calentamiento mixto											
consumo de gas natural en ductos	-\$ 13,683.86	-\$ 4,603.80	-\$ 4,833.99	-\$ 5,075.69	-\$ 5,329.47	-\$ 6,537.93	-\$ 7,994.10	-\$ 9,721.40	-\$ 11,744.39	-\$ 14,088.89	
consumo de gas L.P en tanque estacionario	-\$ 14,763.20	-\$ 5,644.69	-\$ 5,949.51	-\$ 6,270.78	-\$ 6,609.40	-\$ 7,908.29	-\$ 9,464.61	-\$ 11,303.30	-\$ 13,450.60	-\$ 15,934.21	
Consumo de gas L.P en cilindros	-\$ 14,857.44	-\$ 5,716.67	-\$ 6,048.23	-\$ 6,399.03	-\$ 6,770.17	-\$ 8,104.82	-\$ 9,704.18	-\$ 11,594.62	-\$ 13,804.03	-\$ 16,361.94	

Tabla 5.16 Flujos de efectivo del sistema de C.S.A de tubos evacuados auxiliado con un calentador convencional de gas

Concepto	flujos efectivos de caja (año/pesos)										
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Sistema de calentamiento de agua con C.S.A y Calentador convencional	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Inversión Inicial</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
calentador solar de tubos evacuados	-\$ 10,960.79										
sistema de calentamiento auxiliar calentador de gas	-\$ 6,500.00										
<b>Inversión Inicial total</b>	<b>-\$ 17,460.79</b>										
costos de consumo de gas con sistema de calentamiento mixto											
consumo de gas natural en ductos		-\$ 450.47	-\$ 472.99	-\$ 496.64	-\$ 521.48	-\$ 547.55	-\$ 1,527.19	-\$ 2,762.98	-\$ 4,297.31	-\$ 6,174.71	-\$ 8,441.93
consumo de gas L.P en tanque estacionario		-\$ 731.62	-\$ 771.13	-\$ 812.77	-\$ 856.66	-\$ 902.92	-\$ 1,903.94	-\$ 3,166.18	-\$ 4,733.34	-\$ 6,651.47	-\$ 8,969.13
Consumo de gas L.P en cilindros		-\$ 730.90	-\$ 773.29	-\$ 818.14	-\$ 865.60	-\$ 915.80	-\$ 1,921.18	-\$ 3,192.03	-\$ 4,773.36	-\$ 6,712.75	-\$ 9,060.57
Concepto	flujos efectivos de caja (año/pesos)										
	2024	2025	2026	2027	2028						
<b>continuación de Costos de consumo de gas</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>						
costos de consumo de gas con sistema de calentamiento mixto											
consumo de gas natural en ductos	-\$ 19,185.01	-\$ 11,685.65	-\$ 14,131.50	-\$ 14,838.07	-\$ 15,579.97						
consumo de gas L.P en tanque estacionario	-\$ 19,774.45	-\$ 12,204.28	-\$ 14,724.88	-\$ 15,520.02	-\$ 16,358.10						
Consumo de gas L.P en cilindros	-\$ 19,851.47	-\$ 12,250.84	-\$ 14,822.95	-\$ 15,682.68	-\$ 16,592.28						



### Tasa de descuento

Se utiliza una tasa de descuento del 4%, esta equivale en promedio al porcentaje de retorno de una inversión en el banco (basado en la tasa CETES a 28 días en México, redondeo septiembre 2013).

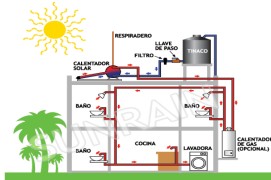
### Periodo de análisis

El periodo de análisis será de 20 años para el caso de C.S.A. con tecnología de placa plana y 15 años para S.S. con tecnología de tubos evacuados. La elección de estos valores obedece a la vida útil que tienen dichos sistemas.

Una vez que se obtienen los datos requeridos para realizar el análisis de rentabilidad económica, se procede a calcular el valor presente neto (VPN) que generan las viviendas por utilizar un sistema C.S.A de placa plana con equipo de calentamiento auxiliar a gas, en un periodo de 20 años. Los resultados obtenidos están representados en la **Tabla 5.17**.

**Tabla 5.17 VPN del sistema de calentamiento solar de placa plana y equipo de calentamiento auxiliar a gas**

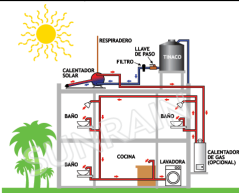
Valor Presente Neto	periodo de análisis	20 años
Tasa de descuento anual	4.0%	
<b>sistema de calentamiento de agua mixto con C.S.A y Calentador convencional</b>	<b>VPN</b>	
calentamiento de agua parcial con gas natural		-\$77,931.05
calentamiento de agua parcial con gas L.P. tanque estacionario		-\$91,420.70
calentamiento de agua parcial con gas L.P. cilindros		-\$92,769.27



El VPN que generan las viviendas que utilizan un sistema de calentamiento solar de tubos evacuados con equipo de calentamiento auxiliar a gas en un periodo de 15 años, están representados en la **Tabla 5.18**

**Tabla 5.18 VPN del sistema de calentamiento solar de tubos evacuados y equipo de calentamiento auxiliar a gas**

Valor Presente Neto	periodo de análisis	15 años
Tasa de descuento anual	4.0%	
<b>sistema de calentamiento de agua mixto con C.S.A de tubos evacuados y Calentador convencional</b>	<b>VPN</b>	
calentamiento de agua parcial con gas natural		-\$ 45,629.62
calentamiento de agua parcial con gas L.P. tanque estacionario		-\$ 50,206.61
calentamiento de agua parcial con gas L.P. cilindros		-\$ 50,485.47



### 5.6.1 Tiempo de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación del capital es el plazo o número de años en que la inversión original se recupera con los ahorros futuros. La regla de decisión asociada a este indicador señala que se deben preferir los proyectos con menor periodo de recuperación. Cuanto más corto sea éste, mejor.

**Tabla 5.19 Periodo de recuperación de la inversión de calentadores de placa plana**

<b>calentador solar de placa plana</b>	
<b>Inversión Inicial</b>	<b>\$ 11,405.12</b>
<b>Período de recuperación de la inversión</b>	<b>años</b>
calentador solar de placa con ahorro económico de gas natural	<b>5.25</b>
calentador solar de placa plana con ahorro económico de gas L.P.	<b>4.81</b>
calentador solar de placa plana con ahorro económico de gas L.P.	<b>4.77</b>

**Tabla 5.20 Periodo de recuperación de la inversión del sistema de calentamiento de agua mixto 1**

<b>Sistema de calentamiento de agua mixto</b>	
<b>Inversión inicial de calentador solar de placa plana + calentador convencional de gas</b>	<b>-\$ 17,905.12</b>
<b>Período de recuperación de la inversión</b>	<b>años</b>
Sistema de calentamiento de agua con C.S.A y calentador convencional a <b>gas natural (m<sup>3</sup>)</b>	<b>7.82</b>
Sistema de calentamiento de agua con C.S.A y calentador convencional a <b>gas L.P. (L)</b>	<b>6.94</b>
Sistema de calentamiento de agua con C.S.A y calentador convencional a <b>gas L.P. (kg)</b>	<b>6.85</b>

**Tabla 5.21 Periodo de recuperación de la inversión de calentadores de tubos evacuados**



<b>calentador solar de tubos evacuados</b>	
<b>Inversión Inicial</b>	<b>\$ 10,960.79</b>
<b>Período de recuperación de la inversión</b>	<b>años</b>
calentador solar de tubos evacuados con ahorro económico de gas natural	<b>4.13</b>
calentador solar de tubos evacuados con ahorro económico de gas L.P.	<b>3.47</b>
calentador solar de tubos evacuados con ahorro económico de gas L.P.	<b>3.45</b>

**Tabla 5.22 Periodo de recuperación de la inversión del sistema de calentamiento de agua mixto 2**

<b>Sistema de calentamiento de agua mixto</b>	
<b>Inversión inicial de calentador solar de tubos evacuados + calentador convencional de gas</b>	<b>-\$ 17,460.79</b>
<b>Período de recuperación de la inversión</b>	<b>años</b>
Sistema de calentamiento de agua con C.S.A y calentador convencional a <b>gas natural (m<sup>3</sup>)</b>	<b>6.25</b>
Sistema de calentamiento de agua con C.S.A y calentador convencional a <b>gas L.P. (L)</b>	<b>5.23</b>
Sistema de calentamiento de agua con C.S.A y calentador convencional a <b>gas L.P. (kg)</b>	<b>5.18</b>

## 5.7 Comparativa de Resultados

Tabla 5.23 comparativa de resultados del uso de calentadores de placa plana con respecto a calentadores convencionales

Sistema de calentamiento de agua tradicional con calentador que funciona con gas	Sistema de calentamiento de agua mixto con C.S.A de placa plana y calentador convencional a gas
	
<b>Consumo de gas natural</b> 381.60 (m <sup>3</sup> /año)	<b>Consumo de gas natural</b> 158.69 (m <sup>3</sup> /año)
<b>Consumo de gas L.P.</b> 541.90 (L/año)	<b>Consumo de gas L.P.</b> 225.54 (L/año)
<b>Consumo de gas L.P.</b> 292.63 (kg/año)	<b>Consumo de gas L.P.</b> 121.69 (kg/año)
Costo por consumo de gas natural en ductos 2851.70 (\$/año)	Costo por consumo de gas natural en ductos 933.73 (\$/año)
Costo por consumo de gas L.P. en tanque estacionario 3,646.99 (\$/año)	Costo por consumo de gas L.P. en tanque estacionario 1,516.54 (\$/año)
Costo por consumo de gas L.P. en cilindros 3,643.24 (\$/año)	Costo por consumo de gas L.P. en cilindros 1,515.00 (\$/año)
<b>VPN</b> por calentamiento de agua con gas natural en un período de 20 años \$ 93,737.88	<b>VPN</b> por calentamiento de agua con gas natural en un período de 20 años \$ 77,931.05
<b>VPN</b> por calentamiento de agua con gas L.P. abastecido a tanque estacionario, en un período de 20 años \$ 113,359.40	<b>VPN</b> por calentamiento de agua con gas L.P. abastecido a tanque estacionario, en un período de 20 años \$ 91,420.70
<b>VPN</b> por calentamiento de agua con gas L.P. abastecido con cilindros, en un período de 20 años \$ 116,673.81	<b>VPN</b> por calentamiento de agua con gas L.P. abastecido con cilindros, en un período de 20 años \$ 92,769.27

**Tabla 5.24 Comparativa de resultados del uso de calentadores solares de tubos evacuados con respecto a calentadores convencionales**


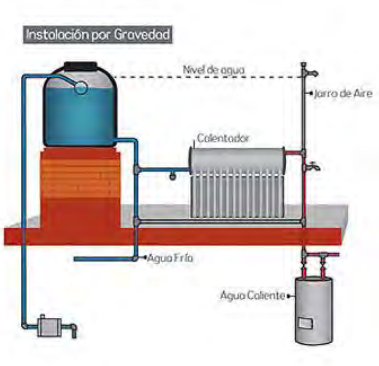


Sistema de calentamiento de agua tradicional con calentador que funciona con gas	Sistema de calentamiento de agua mixto con C.S.A de Tubos evacuados y Calentador convencional a gas
	
Consumo de gas natural 381.60 (m <sup>3</sup> /año)	Consumo de gas natural 76.55 (m <sup>3</sup> /año)
Consumo de gas L.P. 541.90 (L/año)	Consumo de gas L.P. 108.71 (L/año)
Consumo de gas L.P. 292.63 (kg/año)	Consumo de gas L.P. 58.707 (kg/año)
Costo por consumo de gas natural en ducto	Costo por consumo de gas natural en ducto
2851.70 (\$/año)	450.47 (\$/año)
Costo por consumo de gas L.P. a tanque estacionario	Costo por consumo de gas L.P. a tanque estacionario
3,646.99 (\$/año)	731.62 (\$/año)
Costo por consumo de gas L.P. en cilindros	Costo por consumo de gas L.P. en cilindros
3,643.24 (\$/año)	730.90 (\$/año)
VPN	VPN
por calentamiento de agua con gas natural	por calentamiento de agua con gas natural
en un periodo de 15 años	en un periodo de 15 años
\$ 58,489.15	\$ 45,629.62
VPN	VPN
por calentamiento de agua con gas L.P. abastecido a	por calentamiento de agua con gas L.P. abastecido a
tanque estacionario, en un periodo de 15 años	tanque estacionario, en un periodo de 15 años
\$ 72,183.15	\$ 50,206.61
VPN	VPN
por calentamiento de agua con gas L.P. abastecido con	por calentamiento de agua con gas L.P. abastecido con
cilindros, en un periodo de 15 años	cilindros, en un periodo de 15 años
\$ 73,793.10	\$ 50,485.47

Tabla 5.25 comparativa de tecnologías de calentamiento solar

Calentador solar de agua con tecnología de placa plana	Calentador solar de agua con tecnología de tubos evacuados
	
<b>Inversión Inicial</b> \$ 11,405.12	<b>Inversión inicial</b> \$ 10,960.79
<b>ahorro de gas natural</b> 222.92 (m <sup>3</sup> /año)	<b>Ahorro de gas natural</b> 305.05 (m <sup>3</sup> /año)
<b>Ahorro de gas L.P.</b> 316.56 (L/año)	<b>Ahorro de gas L.P.</b> 433.19 (L/año)
<b>Ahorro de gas L.P.</b> 170.94 (kg/año)	<b>Ahorro de gas L.P.</b> 233.92 (kg/año)
<b>Ahorro económico de gas natural</b> 1,917.97 (\$/año)	<b>Ahorro económico de gas natural</b> 2,401.23 (\$/año)
<b>Ahorro económico de gas L.P. a tanque estacionario</b> 2,130.45 (\$/año)	<b>Ahorro económico de gas L.P. a tanque estacionario</b> 2915.37 (\$/año)
<b>Ahorro económico de gas L.P. en cilindros</b> 2,128.24 (\$/año)	<b>Ahorro económico de gas L.P. en cilindros</b> 2,787.84 (\$/año)
<b>Tiempo de recuperación de la inversión</b> Con ahorro de gas natural 5.25 años	<b>Tiempo de recuperación de la inversión</b> Con ahorro de gas natural 4.13 años
<b>Con ahorro de gas L.P. (tanque estacionario)</b> 4.81 años	<b>Con ahorro de gas L.P. (tanque estacionario)</b> 3.47 años
<b>Con ahorro de gas L.P. (cilindros)</b> 4.77 años	<b>Con ahorro de gas L.P. (cilindros)</b> 3.45 años

## 6 Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

El uso de calentadores solares en el sector residencial, tienen un amplio aprovechamiento de las energías renovables a través de la energía solar que se trasmite en forma de radiación hacia la superficie del colector solar, transformándola en energía térmica, la cual es utilizada en el calentamiento de agua sanitaria para usos domésticos como el aseo personal, lavado de ropa, lavado de trastes y otros usos.

Existen diferentes tecnologías y diseños de calentamiento solar, como las tecnologías de placa plana, tubos evacuados y tubos *head-pipe*, los cuales pueden ser incorporados a los hogares, reduciendo los costos por consumo de gas.

Se obtuvo el costo anual promedio de gas por el calentamiento de agua. En el caso de las viviendas que cuentan con una instalación de gas natural se determinó un consumo de 381.60 m<sup>3</sup>/año, lo cual involucra un pago anual de \$2,851.70. Para las viviendas que cuentan con abasto de gas L.P. a tanque estacionario se determinó un consumo de 541.90 litros/año, lo cual equivale a un pago de \$ 3,646.99. Por otra parte, el consumo anual de gas L.P. en cilindros es de 292.63 kg/año lo cual equivale a un pago \$3,643.24.

Se tiene un mayor egreso por el uso de calentadores convencionales que utilizan gas L.P. abastecido por tanque estacionario.

Un método para evaluar la viabilidad entre alternativas es la obtención del VPN, aterrizado a este estudio dicho valor significa el costo económico de calentar agua para uso sanitario durante el periodo de análisis. En el caso de los calentadores convencionales que utilizan gas natural se obtuvo un VPN de \$93,737.88, en tanto que aquellos abastecidos de gas LP mediante tanque estacionario representan un VPN de \$113,359.40, por otra parte el uso de calentadores que usan el gas L.P. distribuido en cilindros representa un VPN de 116,673.82.

Se propusieron dos alternativas de adquisición, una de tecnología solar de placa plana marca *Heliocol modelo. CT-2*, con un colector solar de 1.9 m<sup>2</sup> y un termotanque de 150 L, la segunda alternativa es un calentador solar con tecnología de tubos evacuados marca *Funcosa modelo. SCS-15* de 15 tubos evacuados con área de captación solar de 2.00 m.

El ahorro energético que producen los equipos es de 58.41 % utilizando tecnología de placa plana y 79.94 % con tecnología de tubos evacuados.

Los hogares podrán tener una disminución en el pago de las facturas de adquisición de gas natural, por ejemplo, en el primer año se ejerce un ahorro de \$1,917.97 utilizando un calentador solar de placa plana, y una disminución de \$2,401.23 utilizando un calentador solar de tubos evacuados.

En términos económicos, la mejor opción para el calentamiento de agua consiste en la instalación de un calentador solar de tubos evacuados, ya que es el equipo que más disminuye el consumo de gas, además de que la inversión inicial por suministro y colocación se recupera en 3.45 años.

El sistema de calentamiento de agua más sustentable es el de placa plana auxiliado con un calentador convencional de paso abastecido por gas natural, ya que éste involucra, por su producción y quema, menos CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera. Además representa la tarifa por consumo energético más baja.

## 6.2 Recomendaciones

Uno de los objetivos del presente trabajo es incentivar a la población al uso de las energías renovables, adquiriendo un calentador solar que apoye a los sistemas de calentamiento convencional para contar con agua caliente.

Antes de elegir cualquier tecnología de calentamiento solar se deberá identificar el número de usuarios que requieran agua caliente.

Las marcas y modelos existentes de C.S.A. en el mercado mexicano cuentan con diferentes superficies de colector. Se deberán buscar las etiquetas informativas y certificaciones FIDE, que indiquen las especificaciones técnicas con base a las dimensiones del calentador, la eficiencia térmica del producto y el rendimiento.

Los costos de adquisición pueden variar en función de las marcas y modelos, la mejor opción de compra dependerá del presupuesto.

Se recomiendan marcas de calentadores solares de placa plana hechos en México como Heliocol, Rotoplas y SAECSA, inscritas en el programa de hipotecas verdes del INFONAVIT. Además cuentan con los Dictámenes de Idoneidad Técnica otorgados por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.

Aunque las tecnologías de tubos evacuados y tubos head pipe no cuentan con las certificaciones correspondientes por ser un producto de origen chino, son las mejores opciones de compra, ya que suelen tener un precio más accesible. Cuentan con un rendimiento térmico más alto y una mayor eficiencia energética en comparación con las tecnologías de placa plana.

En cuanto a la instalación de los equipos se recomienda que estén colocados libres de sombras y cerca de las líneas de conducción de agua caliente.



Para la optimización del sistema de calentamiento se deberá contar con un aislamiento térmico en la tubería a partir de la salida del termotanque y a lo largo de toda la línea de conducción de agua caliente,

Dado que la temperatura máxima de salida del agua es de 70 °C utilizando tecnologías de tubos evacuados, se recomienda el uso de tubería de cobre tipo M, ya que se ha observado que el uso de tubería plástica implica deformaciones en la línea de conducción.

Para obtener la temperatura adecuada en épocas del año frías, se deberá contar con un sistema auxiliar de calentamiento.

La tecnología del sistema de calentamiento auxiliar deberá ser de paso, ya que estos equipos cuentan en la actualidad con una eficiencia mayor que los equipos convencionales de depósito.

## Referencias

### Libros y Publicaciones

- Fuentes Frexainet, Víctor. “**Geometría solar**”. México. Editorial Limusa.
- Junta de Castilla y León – Consejería de Industria, Comercio y Turismo Ente Regional de la Energía de Castilla y León. “**Energía Solar Térmica**”. Manual del Proyectista. España. Fundación CIDAUT.
- Ecoenergy México, S. A de C.V. “**Alternativas Financieras para la promoción del Uso de calentadores solares de agua en el Sector Doméstico Mexicano**. Programa Gestión Ambiental y manejo de Recursos Naturales, Componente Promoción de Energías Renovables. CONAE 2006.
- Secretaría de Energía. **Prospectiva del mercado de gas natural 2005-2014**. Dirección General de Planeación Energética. México, D.F., México 2005.
- Secretaría de Energía. **Prospectiva del mercado de gas Licuado de Petróleo 2005-2014**. Dirección General de Planeación Energética. México, D.F., México 2005.
- Remoción de Barreras y Diseño de un **Programa de Gran Escala para el uso masivo de la Energía Solar en la Zona metropolitana del Valle de México en sustitución de gas Licuado de petróleo para calentamiento de agua en los Sectores residencial y Comercial**. Segundo Informe. México 15 de mayo de 2000.
- Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía, CONAE. **Programa para la Promoción de Calentadores Solares en México (PROCASOL)**. México 2007, Forever Print S. A de C.V.
- Pilatowsky et. al (2005). **La Utilización de la Energía Termosolar en el Sector Industrial México**.
- CONAE, **Calentadores de agua en el sector doméstico**. México mayo 2005.
- Baca Urbina, Gabriel, **Evaluación de Proyectos**. Quinta edición, México Mc Graw Hill.

- División de Ingeniería Civil y Geomática UNAM (2009). **Externalidades Ambientales del proyecto Hipoteca Verde de INFONAVIT** (ahorro de agua). México: UNAM (inédito).
- Quadri de la Torre, Gabriel. **Estudio de Costo Beneficio del Programa de certificación de Edificaciones Sustentables**, USAID/México competitiveness Program, México, 2008.

### Apuntes

- Monterrubio, Pablo. **Apuntes del curso, Instalaciones Especiales para Edificaciones, Tecnologías Alternativas**. Programa de Especialización de Ingeniería Sanitaria. Posgrado UNAM, México 2011.
- Notas sobre el **Curso de Energía Solar**, Departamento de Procesos tecnológicos e Industriales, División de Ingeniería, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente, Tlaquepaque Jalisco, febrero 2013.

### Publicaciones Electrónicas

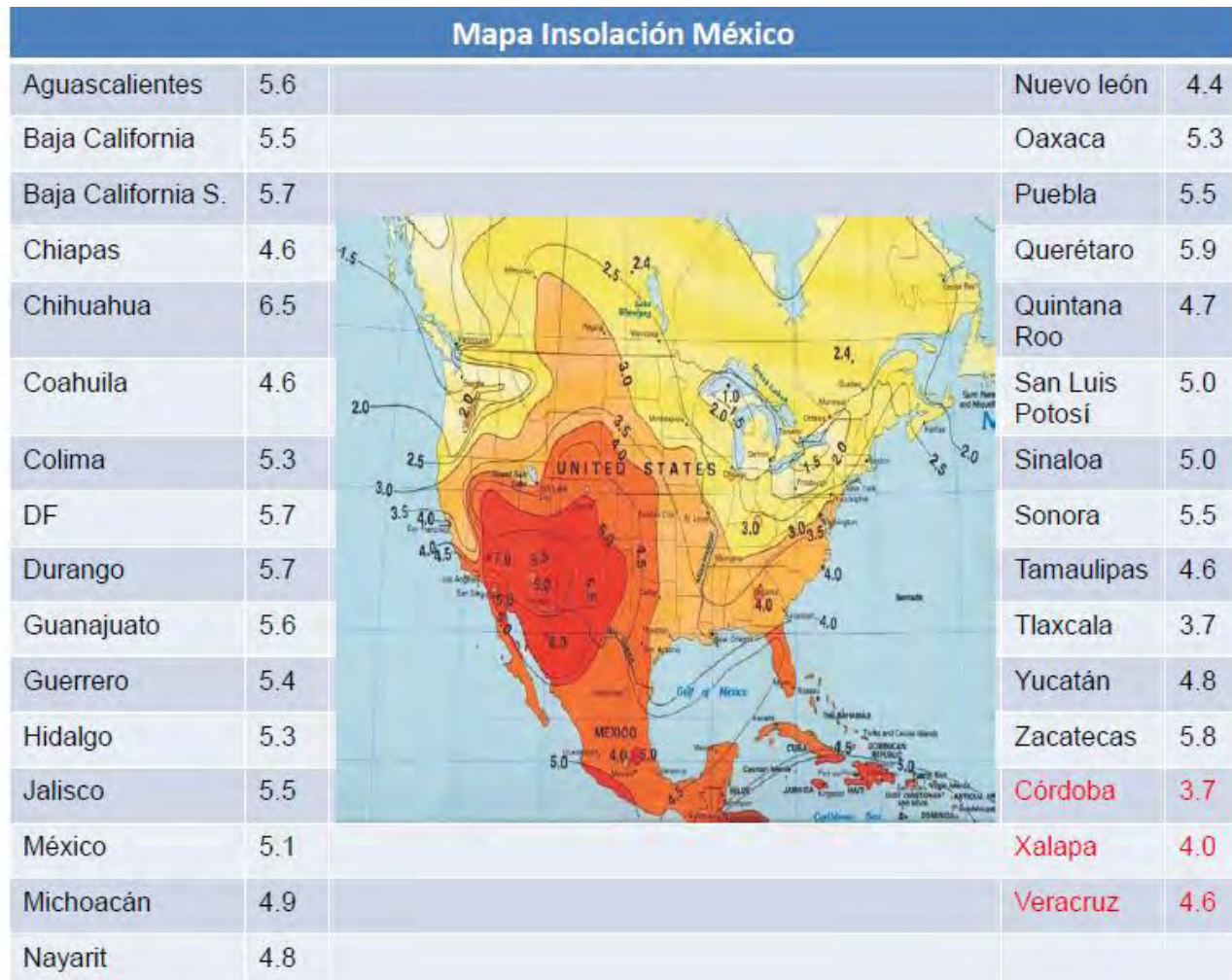
- Islas Samperio, Jorge Marcial. **Evaluación Económica y Ambiental de Escenarios de la Energía Solar en el Sector Residencial de México 2030**. Taller de Innovación y caracterización de celdas solares. CIE-UNAM, Temixco Morelos.
- Islas Samperio, Jorge Marcial. **Proyectos para el aprovechamiento de las energías renovables y el ahorro y uso eficiente de la energía en Temixco, Morelos**. Centro de Investigación en Energía, UNAM. 2010.
- Publicación de la Asociación Nacional de Energía Solar, **Revista Energías Renovables ANES**. Vol. 1, Núm. 4 Año 1, Diciembre 2009.
- Fuentes Cantero, David **“Instalación de colectores solares para suministro de ACS en valencia**. España, Universidad Técnica de Valencia, España 2008.

- Asociación Nacional de Energía Solar, A.C. **Las Energías Renovables en México. Potencial, Retos y Oportunidades**. Foro Consultivo Científico Tecnológico. Veracruz. Ver. Noviembre 2007.
- Herrera Alcázar, concepción. **Estudio Técnico – Económico de colectores solares planos para zonas Rurales del Estado de Oaxaca**. Departamento de investigación y Ciencia de la UAAGS, Número 50 pág. (50-68). México Septiembre-Diciembre 2010.
- “**Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable En México**”. SENER y GTZ año 2009.
- García Valladares, Octavio. **Tecnologías Actuales en Colectores Solares: Convencionales y en Tubos Evacuados**. Foro de Generación de Energía Solar en Chihuahua, CIE UNAM, 2011.
- CONUE. Calentadores Solares para uso en Vivienda de Interés Social, ANES 2012.
- Publicación de la empresa INVERSOLAR S. A de C.V., Comparativa entre calentadores Solares” Guanajuato 2010.

### **Mesografía**

- [www.sitiosolar.com](http://www.sitiosolar.com)
- <http://www.innovasolar.com.mx/pdf/comparativo.pdf>
- <http://www.conorevi.org.mx/pdf/Evento%20AGS/Cd%20de%20Presentaciones/Empresas/3.2.1%20FAMERAC.pdf>
- <http://www.thegreenexpo.com.mx/2012/conf12-programa02.html>
- [www.greenpeace.com.mx](http://www.greenpeace.com.mx)
- [www.seduvi.df.gob](http://www.seduvi.df.gob)
- [www.rotoplas.com/assets/files/hogar/certificadocalentadorsolar/.pdf](http://www.rotoplas.com/assets/files/hogar/certificadocalentadorsolar/.pdf)

### Anexo A Mapa de irradiación solar en México



**Figura Anexo A**  
**Mapa de radiación Solar máxima diaria en (KWh/m<sup>2</sup>)**

Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas

**Anexo B Dotación mínima de agua potable y temperatura de agua en la red**

**Tabla Anexo B dotación mínima de agua potable**

TIPO DE EDIFICACION	DOTACION MINIMA (En litros)
<b>HABITACIONAL</b>	
Vivienda	150 L/hab /día
<b>COMERCIAL</b>	
<b>Abasto y almacenamiento</b>	
Mercados públicos	100 L/puesto/día
Locales comerciales en general	6 L/m <sup>2</sup> /día
Baños públicos	300 L/bañista/día
Servicios sanitarios públicos	300 L/mueble/día
Lavanderías	40 L/kg Ropa seca
Agencias y talleres	100 L/trabajador/día
<b>SERVICIOS</b>	
<b>Administración</b>	
Oficinas de cualquier tipo	50 L/persona/día
Otros servicios	100 L/trabajador/día
<b>Hospitales y centros de salud</b>	
Atención médica a usuarios externos	12 L/sitio/paciente
Servicios de salud a usuarios internos	800 L/cama/día
<b>Asistencia social</b>	
Asilos y orfanatos	300 L/huésped/día
<b>Asistencia animal</b>	
Dotación para animales en su caso	25 L/animal/día
<b>Educación e instituciones científicas</b>	

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para el diseño Arquitectónico

**Tabla Anexo B Temperaturas del agua promedio en las redes de abastecimiento de agua potable**

CLIMA	$T_{\text{agua}} (^{\circ}\text{C})$		EJEMPLO
	Anual	dic-jul	
TROPICAL	26.0	23.5-28.6	Chetumal, Q.R.
TEMPLADO	15.45	13.6-17.3	Distrito Federal
SEMIÁRIDO	22.5	15.1-29.9	Monterrey

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

## Anexo C Programa de Hipotecas verdes. INFONAVIT.

### Concepto:

Es el crédito hipotecario que se otorga a una vivienda basada en el ahorro de agua y el consumo de energía derivada de la utilización de tecnologías ecológicas eficientes instaladas en las viviendas y que permiten al INFONAVIT proporcionar un crédito adicional debido a la capacidad de pago crediticio

### Objetivos.

- **Coadyuvar a la Estrategia Nacional para el Cambio Climático mediante la promoción de la oferta de vivienda con criterios ecológicos.** Proporciona la condiciones adecuadas y el estímulo para que los derechohabientes del INFONAVIT puedan adquirir casas de mayor valor dado por el uso de tecnologías innovadoras orientadas a disminuir el consumo de agua y energía
- **Cooperar con la CONAVI en el desarrollo, aplicación y esfuerzos por promover los criterios de Vivienda sustentable, vivienda vertical y conjuntos emblemáticos para operar los subsidios** correspondientes junto con las hipotecas verdes; así como mantener los estímulos de subsidio de las Autoridades estatales y Municipales a las viviendas económicas con Hipotecas Verdes
- Traer beneficios colaterales a los desarrolladores de vivienda que buscan diferenciarse, así como a la industria de eco-tecnologías y a la comunidad en general

Con este programa se busca que las familias que adopten este sistema reduzcan su consumo de agua y energía hasta un 75%, contribuyan a proteger el medio ambiente y generen un mayor ahorro económico.

El préstamo adicional hipotecario que otorga el INFONAVIT como hipoteca verde, aplica solo en la adquisición de tecnologías que estén certificadas bajo la norma **NMX-ES-001-NORMEX-2005 para el caso de calentadores solares el INFONVIT deberá constatar que los calentadores solares cumplan con el Dictamen de Idoneidad Técnica, para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos establecido por la Comisión Nacional para el uso eficiente de la Energía (CONUEE)**

## Anexo D Dictamen de idoneidad técnica del calentador solar de placa plana Heliocol

### Dictamen de Idoneidad Técnica (DIT)

FICHA TÉCNICA

**CALENTADOR SOLAR CON COLECTOR SOLAR PLANO**  
 Producido por: Heliocol de México S. A. de C. V.  
 Boulevard Toluca No. 14 y 16  
 Col. San Francisco Cuautitlan  
 Naucalpan Estado de México, C. P. 53370  
 Tels. 01(55) 5250 6100

Calentador Solar con Colector Solar Plano  
**Infonavit by Heliocol Premium**

Vigencia 15 de diciembre del 2017



[www.onncoe.org.mx](http://www.onncoe.org.mx)  
[atenciones@onncoe.org.mx](mailto:atenciones@onncoe.org.mx)

Contacto: Ing. Felipe Sánchez  
 Email: [felipe@heliocol.com.mx](mailto:felipe@heliocol.com.mx)  
[www.heliocol.com.mx](http://www.heliocol.com.mx)

Dictamen de Idoneidad Técnica DIT1118/10 emitido por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S. C., con base en las "Especificaciones para determinar el ahorro de gas LP, en el sistema de calentadores solares de agua que utilizan la radiación solar y el gas LP" (PROCALSOL).<sup>1</sup>

#### Características del producto

El "Calentador Solar" es un equipo de calentamiento de agua cuya fuente de energía es la solar, el cual puede acoplarse a un calentador de gas. Está integrado por el colector solar, el termotanque y la estructura de soporte, elementos descritos a continuación:

- **Colector solar:** Es el elemento absorbedor que transforma la energía solar en energía térmica misma que emplea para calentar el agua con cabezales y tubería de plástico (polipropileno). Área de colección 1,9 m<sup>2</sup>.
- **Termotanque:** Es el depósito en el que se almacena el agua caliente proveniente del colector solar, el cual cuenta con un aislante térmico. Capacidad real de almacenamiento 150,9 L.
- **Estructura de soporte:** Es una base metálica que sirve para montar el termotanque y el colector solar.

Especificaciones PROCALSOL <sup>1</sup>		Valores obtenidos
Resistencia a la presión hidrostática	Deben resistir una presión hidrostática de 3 kg/cm <sup>2</sup> interna por un tiempo de 12 horas, sin estar expuestos a la radiación solar directa e indirecta, sin presentar al final de la prueba caídas de presión superior al 5%.	Cumple
Determinación del ahorro de gas LP (Ahorro mínimo <sup>2</sup> )	Debe medir el consumo de gas LP del sistema que se va a evaluar y compararlo con el consumo de gas LP del calentador de referencia, ambos operando simultáneamente y bajo las mismas condiciones ambientales y de trabajo (extracciones de agua caliente) y presentar un ahorro mínimo de 13,5 kg, en 30 días, de gas LP.	Cumple

Ahorro de energía (diciembre 2009; radiación promedio 18,8 MJ/m<sup>2</sup>; temperatura promedio diurna 28,6 °C; temperatura nocturna promedio 17,87 °C)



Ahorro Mínimo

Mayor Ahorro

El Calentador Solar debe marcarse y etiquetarse en forma clara y que permanezca por lo menos durante la vigencia de la garantía con los siguientes datos como mínimo:

Nombre de la empresa	HELIOCOL DE MÉXICO S. A. DE C. V.
Modelo	INFONAVIT BY HELIOCOL PREMIUM
País de origen del producto	México / Israel
Fecha de fabricación o lote	Lo proporciona el proveedor
Marca o símbolo del fabricante	Lo proporciona el proveedor
Presión máxima de operación	8 kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad del termotanque	150,9 L
Indicar material con que está fabricado	Ver punto 4 de DIT1118/10
Instructivo	Ver punto 9 de DIT1118/10
Combustible del calentador de respaldo	Gas LP, gas natural o calentador eléctrico
<b>Garantía por escrito al cliente</b>	<b>10 años en el colector solar, termotanque, accesorios y componentes.</b>

Nota: el proveedor debe proporcionar las especificaciones del equipo y los manuales tanto de instalación como del usuario final.

<sup>1</sup>Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México.

Resumen 1 de 6



## Dictamen de Idoneidad Técnica (DIT)

FICHA TÉCNICA

### CALENTADOR SOLAR CON COLECTOR SOLAR PLANO

Producido por: Heliocol de México S. A. de C. V.  
Boulevard Toluca No. 14 y 16  
Col. San Francisco Cuautalpan  
Naucalpan Estado de México, C. P. 53370  
Tels. 01(55) 5250 6100

Contacto: Ing. Felipe Sánchez  
Email: [felipe@heliocol.com.mx](mailto:felipe@heliocol.com.mx)  
[www.heliocol.com.mx](http://www.heliocol.com.mx)

### Calentador Solar con Colector Solar Plano Infonavit by Heliocol Premium

Vigencia 15 de diciembre del 2011



[www.onncce.com.mx](http://www.onncce.com.mx)  
[certific@onncce.com.mx](mailto:certific@onncce.com.mx)

Dictamen de Idoneidad Técnica DIT/118/10 emitido por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S. C., con base en las "Especificaciones para determinar el ahorro de gas LP, en el sistema de calentadores solares de agua que utilizan la radiación solar y el gas LP" (PROCALSOL).<sup>1</sup>




Imagen del producto ensayado en el laboratorio

"CALENTADOR SOLAR"	
Marcas: "HELIOCOL"	
Modelo del colector solar	INFONAVIT BY HELIOCOL PREMIUM
Modelo del termotanque	TT 160 L (IMPORTACIÓN)
Componentes y Materiales	Especificaciones
<b>COLECTOR SOLAR</b>	
Tipo de material (nombre)	Polímero de especialidad
Largo (mm)	2000
Ancho (mm)	940
<b>CUBIERTA DEL COLECTOR SOLAR</b>	
Tipo de material (nombre)	Vidrio
<b>TERMOTANQUE</b>	
Diámetro del tanque (mm)	565
Largo (mm)	950
Recubrimiento exterior (nombre)	Pintura hornoada
<b>ESTRUCTURA DE SOPORTE</b>	
Tipo de material	Cuadrado de 1" con pintura hornoada
<b>EL SISTEMA INTEGRAL</b>	
Orientación preferente	Sur
Inclinación o ángulo de uso (en grados)	Latitud de la zona +/- 10°
Presión máxima de operación (kg/cm <sup>2</sup> )	8

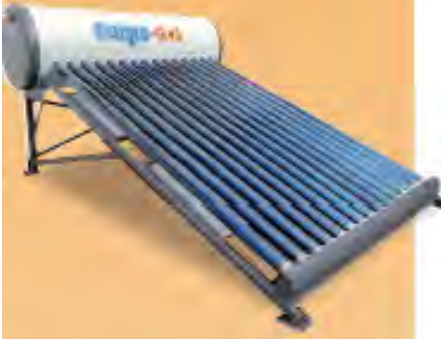
Nota: Para consultar el DIT completo puede visitar la página [www.onncce.com.mx](http://www.onncce.com.mx) aplicando en "DIT Completas"  
<sup>1</sup> Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México.

### 6.3 Anexo E Ficha técnica del calentador de tubos evacuados marca Funcosa



**CALENTADOR SOLAR POR GRAVEDAD CON TERMOTANQUE (BAJA PRESIÓN) SCS**

Los calentadores de tubos al vacío funcionan gracias a la energía solar absorbida por los tubos al vacío de alta eficiencia. Estos tubos están compuestos por superficies cilíndricas concéntricas fabricadas de borosilicato, entre las cuales se genera vacío. Este vacío es el que evita la pérdida del calor. Además en la pared exterior del tubo interior existe un recubrimiento de nitruro de cobre, el cual es el coplador hacia del 80% del total de la luz solar.



**FICHA TÉCNICA**  
SCS-01

**CARACTERÍSTICAS**

- Ecológico
- Hasta 60°C de temperatura en el agua.
- Instalación fácil y rápida.
- Vida útil de 20 años.
- Amortizable en menos de 2 años.
- Ahorre hasta un 80% en su consumo de gas.

**COMPONENTES**

- A. Tubos evacuados
- B. Placa fraserá o reflector
- C. Termotanque
- D. Estructura
- E. Base para soporte de tubos



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**Tubos evacuados (A)**

Material: Borosilicato.  
Dimensiones: 1800 mm de largo x Ø 68 mm.

**Placa fraserá o reflector (B)**

Material: Aluminio.

**Termotanque (C)**

Material: Acero inoxidable.  
Recubrimiento: Pintura epóxica color blanco.  
Material aislante: Poliuretano.

**Estructura (D)**

Material: Perfil de acero galvanizado.

**Sistema integral**

Orientación: Sur.  
Inclinación o ángulo: Latitud del lugar +/- 10°.  
Temperatura de operación: 60°C.  
Presión máxima: 0.5 kg/cm².  
Líquido de trabajo: Agua  
Material de sellado entre tubos de vacío y termotanque: Silicón.

Modelo	SCS10	SCS12	SCS15	SCS20	SCS25	SCS30
No. de tubos	10	12	15	20	25	30
Termotanque	Ø - 475 mm L - 1002 mm	Ø - 475 mm L - 1200 mm	Ø - 475 mm L - 1480 mm	Ø - 475 mm L - 1810 mm	Ø - 475 mm L - 2200 mm	Ø - 475 mm L - 2680 mm
Capacidad	100 L	120 L	150 L	200 L	250 L	300 L
Rendimiento	2 servicios	3 servicios	4 servicios	5 servicios	6 servicios	7 servicios
Área de colección	0.80 m²	0.96 m²	2.00 m²	2.57 m²	5.87 m²	5.20 m²
Volumen*	A - 1002 L - 2100 H - 1100	A - 1200 L - 2100 H - 1100	A - 1480 L - 2100 H - 1100	A - 1810 L - 2100 H - 1100	A - 2200 L - 2100 H - 1100	A - 2680 L - 2100 H - 1100
Peso (vacío)	59kg	65.8kg	61.5kg	72kg	82kg	95kg

\*A=Ancho, L=Largo, H=Alto.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CALENTADOR SCS-12\*

Modelo del colector	CS-12
Modelo del termotanque	CS-12
<b>COLECTOR SOLAR (TUBOS DE VACÍO)</b>	
Tipo de material de los tubos de vacío (nombre)	Borasilicato
Número de tubos de vacío	12
Largo (mm)	1800
Díámetro (mm)	58
Material de tubos de calor	N/A
<b>PLACA TRASERA O REFLECTOR DEL COLECTOR SOLAR</b>	
Tipo de material (nombre)	Aluminio
<b>TERMOTANQUE</b>	
Tipo material (nombre)	Acero inoxidable
Díámetro del tanque (mm)	475
Largo (mm)	1200
Recubrimiento exterior (nombre)	Pintura epóxica color blanco
Recubrimiento interior contra corrosión (nombre)	N/A
Capacidad de almacenamiento nominal (L)	120
Tipo de material aislante (nombre)	Poliestireno
Cuenta con ánodo de sacrificio	No
Intercambiador de calor	N/A
<b>ESTRUCTURA DE SOPORTE</b>	
Tipo de material (nombre)	Piñi de acero galvanizado
<b>VASO DE EXPANSIÓN</b>	
Presión máxima de operación (kg/cm <sup>2</sup> )	5
Capacidad de almacenamiento (L)	5.78
Material	Acero inoxidable
Cuenta con aislamiento térmico	Si
<b>EL SISTEMA INTEGRAL</b>	
Área de colección nominal (m <sup>2</sup> )	0.96
Área de colección real (m <sup>2</sup> )	1.65
Orientación preferente	Sur
Inclinación o ángulo de uso (en grados)	Latitud de la zona $\pm 10^\circ$
Temperatura de operación (°C)	65
Presión máxima de operación (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5
Presión máx. de operación con vaso de expansión (kg/cm <sup>2</sup> )	5
Peso vacío (kg)	55.8
Peso lleno de agua (kg)	206.6
Líquido de trabajo	Agua
Material de sellado entre tubos de vacío y termotanque	Silicón



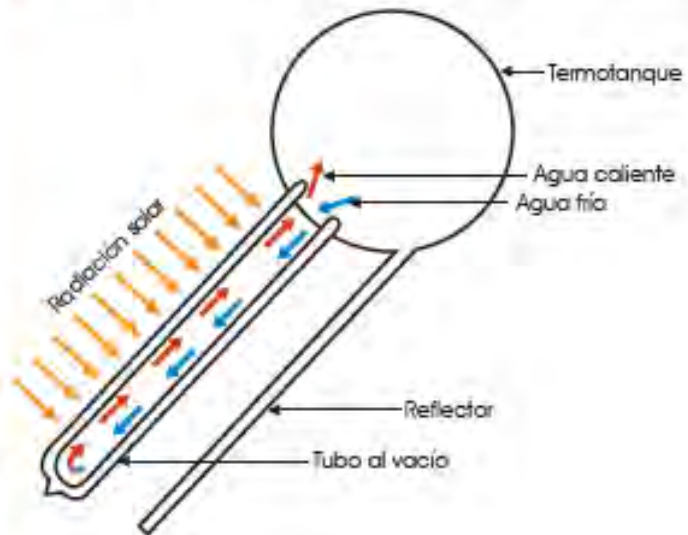
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CALENTADOR SCS-15\*


Modelo del calentador solar	CS-15
Modelo del Termotanque	CS-15
<b>COLECTOR SOLAR (TUBOS DE VACÍO)</b>	
Tipo de material de los tubos de vacío (nombre)	Borossilicato
Número de tubos de vacío	15
Largo (mm)	1800
Díametro (mm)	58
<b>TERMOTANQUE</b>	
Tipo de material (nombre)	Acero inoxidable
Díametro del tanque (mm)	475
Largo (mm)	1450
Recubrimiento exterior (nombre)	Pintura epóxica color blanco
Recubrimiento interior (nombre)	NO
Capacidad de almacenamiento (L)	160
Tipo de material aislante (nombre)	Polisulfato
Cuenta con ánodo de sacrificio	No
<b>ESTRUCTURA DE SOPORTE</b>	
Tipo de material (nombre)	Perfil de acero galvanizado
<b>VASO DE EXPANSIÓN</b>	
Presión máxima de operación (kg/cm <sup>2</sup> )	5
Capacidad de almacenamiento (L)	3.75
Material	Acero inoxidable
Cuenta con aislamiento térmico	Si
<b>EL SISTEMA INTEGRAL</b>	
Área de colección nominal (m <sup>2</sup> )	2
Área de colección real (m <sup>2</sup> )	2
Orientación preferente	Sur
Inclinación o ángulo de uso (en grados)	Latitud del lugar +/- 10°
Temperatura de operación (°C)	40-45
Presión máxima de operación (kg/cm <sup>2</sup> )	0.5
Peso vacío (kg)	61.5
Peso lleno de agua (kg)	256.2
Líquido de trabajo	Agua
Material de sellado entre tubos de vacío y termotanque	Silicón

## FUNCIONAMIENTO

El depósito acumulador de agua, recibe el agua fría y esta circula naturalmente por los tubos por diferencia de densidades, por lo que no requiere de una bomba ni otro elemento que le confiera movimiento.

El tubo de vacío recibe el agua fría de la parte inferior del termo tanque, el agua se calienta gracias a la energía solar absorbida y una vez caliente asciende de nuevo (por el mismo tubo) regresando al termo tanque, dando inicio una vez más al mismo ciclo.





**Tengo un mañana que es mío  
y un mañana que es de todos  
el mío acaba mañana  
pero sobrevive el otro**

**Mario Benedetti  
(poeta Uruguayo 1920-2009)**