



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

**Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica**

**“EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS SOLARES
DE AGUA CALIENTE SANITARIA (A.C.S.),
PARA EL LABORATORIO DE
TERMOFLUIDOS”**

**Seminario de Titulación presentado
en conformidad a los requisitos
para obtener el título de Ingeniero
de Ejecución en Mecánica.**

**Profesor Guía:
Sr. Santiago Riquelme Castillo**

Felipe Andrés Rubilar Alarcón

2011

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios, que permitió lo bueno y lo malo durante esta carrera, pero sobretodo por darme la vida y la inteligencia para terminar este proyecto y por regalarme una comunidad que rezó por mí todo este tiempo.

En segundo lugar a mi familia, a mis padres por el sacrificio que han hecho para educarme y darme lo mejor para completar esta etapa, por ayudarme a levantarme de mis fracasos y darme mesura en los momentos de éxito, por transmitirme la Fe como lo principal para mi vida. A mis hermanos pequeños que con su alegría y cariño hacían olvidar el cansancio de una jornada agotadora y los más grandes por su disposición a prestarme su ayuda cuando lo necesitaba. A mis abuelas, que sin importar la hora me atendían con mucha dedicación.

A Cynthia que creyó en mí y en mis capacidades de poder lograr este objetivo y me animó cuando fue necesario.

A don Santiago Riquelme por su buena amabilidad al atenderme, por aconsejarme y prestarme toda la ayuda necesaria para mi desarrollo profesional.

Y finalmente a mis amigos, hermanos de comunidad, compañeros y profesores, que aportaron en este proyecto.

Gracias.

RESUMEN

El presente Seminario de Título tiene relación con una evaluación y propuesta de dos sistemas de agua caliente sanitaria, para implementarlo en el laboratorio de Termofluidos de la Universidad del Bío-Bío, utilizado para este fin dos colectores solares, que recibirán la radiación proveniente del Sol.

La propuesta considera con fines pedagógicos, un colector solar de tubos de vacío y un colector solar de placa plana, para poder determinar la eficiencia de ambos y verificar el aprovechamiento de la energía proveniente del Sol.

La instalación considera además, la incorporación de un intercambiador de calor placas para efectos de ensayos de transferencia de calor y para usos donde se requiera agua caliente en el laboratorio de mediciones básicas.

CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
INTRODUCCIÓN	VII
OBJETIVOS	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. REFERENCIAS HISTÓRICAS.	1
1.2. SISTEMA DE UNIDADES.	1
1.3. GENERALIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR.	2
1.3.1. EL SOL.	4
1.4. RADIACIÓN SOLAR A NIVEL DEL SUELO.	6
1.5. ENERGÍA SOLAR EN CONCEPCIÓN.	8
1.6. RECEPCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LOS CAPTADORES.	9
1.7. PARÁMETROS DE POSICIÓN TIERRA – SOL.	10
CAPÍTULO 2	13
2. ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES.	13
2.1. INTRODUCCIÓN.	13
2.2. ENERGÍAS RENOVABLES.	13
2.2.1. FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE.	13
2.2.1.1. Energía solar.	13
2.2.1.2. Energía eólica.	13
2.2.1.3. Energía geotérmica.	13
2.2.1.4. Energía del mar.	14
2.2.1.5. Energía de biomasa.	14
2.2.1.6. Energía Hidráulica no convencional o Mini Hidro.	14
2.2.2. CAPACIDAD ENERGÉTICA CHILENA.	14
CAPÍTULO 3	18
3. PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA.	18
3.1. INTRODUCCIÓN.	18
3.2. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS.	19
3.3. COLECTOR SOLAR.	20
3.3.1. COLECTORES SOLARES PLANOS.	20
3.3.2. COLECTORES DE TUBOS AL VACÍO.	21
3.3.2.1. Colector de vacío de tubos de calor (Heat-Pipe).	22
3.3.2.2. Colector de vacío de tubos en U (U-Tube).	23
3.3.2.3. Colectores atmosféricos.	23
3.3.2.4. Colectores presurizado Coil.	24

3.4.	ACUMULADORES.	24
3.4.1.	Características constructivas y funcionales.	24
3.5.	INTERCAMBIADORES EXTERNOS.	25
CAPÍTULO 4		26
4.	LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES.	26
4.1.	INTRODUCCIÓN.	26
4.2.	USOS DEL A.C.S. EN EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES.	26
4.2.1.	Usos en el Laboratorio de Mediciones Básicas.	26
4.2.2.	Uso en un Intercambiador de calor.	27
4.3.	PROPUESTA DE UN SISTEMA DE A.C.S. O SOLAR TÉRMICO.	27
4.4.	INSTALACIÓN.	27
4.4.1.	Diagrama de instalación para un colector solar Heat-Pipe.	29
4.4.2.	Diagrama de instalación para un colector solar plano.	30
CAPÍTULO 5		31
5.	REQUERIMIENTOS DE CONSUMO.	31
5.1.	INTRODUCCIÓN.	31
5.2.	CÁLCULO DE LAS DEMANDAS.	31
5.2.1.	Determinación del consumo volumétrico de A.C.S.	31
5.2.2.	Temperatura de agua de red.	32
5.2.3.	Cálculo del salto térmico cubrir.	33
5.2.4.	Cálculo de la energía necesaria para cubrir el salto térmico.	34
5.2.5.	Cálculo de las demandas energéticas mensuales y anuales.	36
5.3.	CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA.	36
5.3.1.	Identificación de la demanda total diaria de A.C.S. del edificio.	36
5.3.2.	Identificación de la zona climática donde se encuentra la ciudad.	37
5.3.3.	Deducción de la contribución solar mínima.	37
5.3.4.	Cuantificación de la contribución solar mínima.	37
5.4.	CÁLCULO DE LA IRRADIANCIA.	38
5.4.1.	Irradiación diaria media mensual sobre superficie horizontal (H).	38
5.4.2.	Irradiación diaria media mensual efectiva sobre superficie horizontal (H_e).	38
5.4.3.	Selección de la inclinación del panel solar.	40
5.4.4.	Aplicación del factor de inclinación k.	40
5.4.5.	Determinación de las horas útiles de sol en un día medio cada mes.	43
5.4.6.	Cálculo de la intensidad útil en un día medio de cada mes.	44
CAPÍTULO 6		45
6.	SELECCIÓN DEL COLECTOR.	45
6.1.	INTRODUCCIÓN.	45
6.2.	CÁLCULO DEL APORTE SOLAR.	45
6.2.1.	Determinación de la temperatura ambiente.	45
6.3.	SELECCIÓN DEL COLECTOR SOLAR TÉRMICO.	46
6.4.	CÁLCULO DEL PARÁMETRO X, X^2 .	46
6.5.	CÁLCULO DEL RENDIMIENTO INSTANTÁNEO.	47
6.6.	APORTE SOLAR.	48

6.7.	ENERGÍA NETA UNITARIA DISPONIBLE.	49
6.8.	CÁLCULO DE LA SUPERFICIE MÍNIMA NECESARIA DE CAPTACIÓN.	51
6.9.	CÁLCULO DE LA CANTIDAD NECESARIA DE CAPTADORES.	51
6.10.	CÁLCULO DE LA COBERTURA.	51
CONCLUSIONES		53
OBSERVACIONES GENERALES		54
BIBLIOGRAFÍA		55

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el uso de la energía y su aprovechamiento de manera eficiente, es un tema de gran relevancia a nivel nacional y mundial, por el impacto que este tiene sobre el medio ambiente y además por lo escaso que están tornando ciertos recursos del tipo fósil.

Este Seminario de Título tiene por finalidad mostrar una aplicación concreta del aprovechamiento energético de la energía proveniente del sol, una fuente abundante, prácticamente inagotable, limpia y gratis, para satisfacer la obtención de agua caliente sanitaria A.C.S. para estudiar la eficiencia de un sistema térmico solar mediante el uso de un intercambiador de calor de placas y para darle uso sanitario y de ensayos en el laboratorio de Termofluidos.

Esta es una propuesta para una posterior implementación de un Laboratorio De Energías Renovables No Convencionales (ERNNC), en la Universidad del Bío-Bío para el Departamento de Ingeniería Mecánica.

Estos equipos estarán ubicados en la terraza del nuevo Laboratorio, desde donde se generará el A.C.S. mediante los colectores que serán instalados.

Para ello se abordan conceptos teóricos de la radiación del sol a nivel del suelo, sus propiedades específicas para la zona de Concepción, la distribución del espectro solar a lo largo del año, las temperaturas ambientales para cada mes y las temperaturas del agua de la red. También se describen todos los equipos necesarios para implementar esta propuesta, como colectores solares, estanque de acumulación, válvulas mezcladoras, cañerías con aislación térmica, etc. con el fin de obtener un aprovechamiento eficiente de la energía aportada por el sol. Toda esta información será abordada en los tres primeros capítulos de este Seminario de Título.

El capítulo 5 se enfoca netamente en el cálculo de los requerimientos energéticos y de consumo de la propuesta y la selección de los colectores solares necesarios. Se busca seleccionar equipos que estén disponibles en el mercado nacional y específicamente dentro de la región del Biobío, que sean de buena calidad considerando que la idea principal es ser eficientes energéticamente, amigables con el medio ambiente y difundir este tipos de tecnologías a lo largo de la región.

OBJETIVOS

Dimensionamiento y selección de dos sistemas solares de Agua Caliente Sanitaria (A.C.S.), para el Laboratorio de Termofluidos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Identificar los tipos de Energía renovable.
2. Tecnologías de Agua Caliente Sanitaria.
3. Selección de de sistemas de A.C.S.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 REFERENCIAS HISTÓRICAS.

El sol ha sido una fuente de energía desde tiempos antiguos, se sabe del uso de la energía solar en hasta 400 años A.C. los romanos utilizaron sus grandes conocimientos del sol y se convirtieron en los primeros en poner ventanas de vidrio en sus casas para atrapar el calor.

En 1776 se construyó el primer colector solar del mundo, este colector se convirtió en la base para la investigación de la energía solar en el siglo XIX. Después se hicieron más esfuerzos, en 1860 se construyó la primera célula fotovoltaica.

Hasta los 60's los precios del petróleo eran tan baratos que era más accesible usar petróleo como energía que usar energía solar, la energía solar está renaciendo y el petróleo decae.

Durante la década de los 90 más de un millón de casas en el mundo tenían alguna forma de energía solar instalada.

1.2 SISTEMAS DE UNIDADES.

El sistema internacional de unidades es una forma aceptada internacionalmente de utilización de las unidades de medida de las magnitudes físicas de los cuerpos.

En el sistema internacional existen tres clases de unidades.

Tabla 1.01. Unidades fundamentales (SI).

Unidad de medida	Abreviatura	Magnitud
Metro	m	Longitud
Kilogramo	kg	Masa
Segundo	s	Tiempo
Amperio	A	Intensidad de corriente eléctrica
Kelvin	K	Temperatura
Mol	mol	Cantidad de materia
Candela	cd	Intensidad lumínica

Tabla 1.02 Unidades derivadas (SI).

Unidad de medida	Abreviatura	Magnitud
Metro por segundo	m/s	Velocidad
Metro por segundo²	m/s ²	Aceleración
Fuerza	N	Newton
Metro²	m ²	Área
Metro³	m ³	Volumen
Metro³ por segundo	m ³ /s	Caudal
Pascal	Pa	Presión
Watt por metro²	W/m ²	Irradiancia.
Joule por metro²	J/m ²	Radiación
Watt	W	Potencia

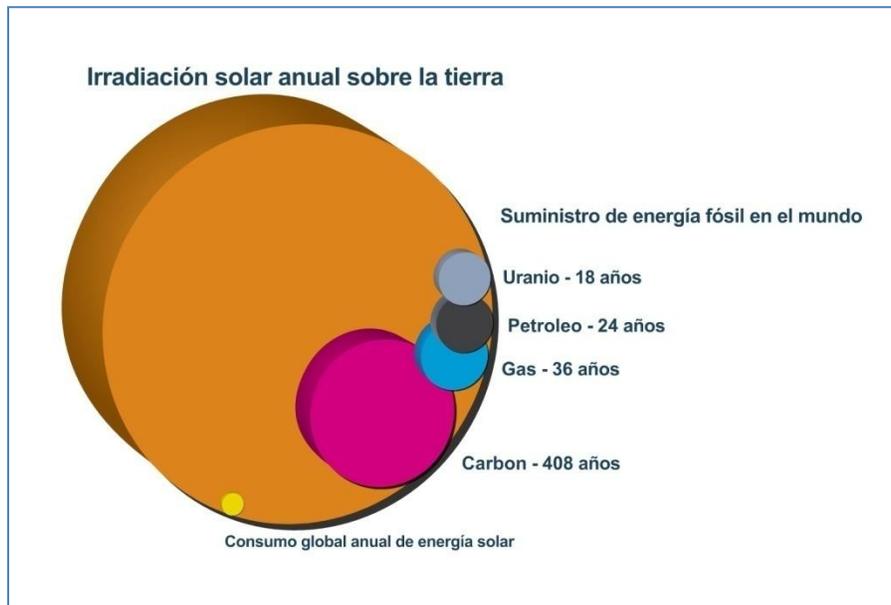
Tabla 1.03. Prefijos del SI.

Prefijo	Símbolo	Factor
exa	E	10 ¹⁸
peta	P	10 ¹⁵
tera	T	10 ¹²
giga	G	10 ⁹
mega	M	10 ⁶
kilo	k	10 ³
hecto	h	10 ²
deca	da	10 ¹
deci	d	10 ⁻¹
centi	c	10 ⁻²
mili	m	10 ⁻³
micro	μ	10 ⁻⁶
nano	n	10 ⁻⁹
pico	p	10 ⁻¹²
femto	f	10 ⁻¹⁵
atto	a	10 ⁻¹⁸

1.3 GENERALIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR.

La tierra recibe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energía solar, lo que corresponde a 10.000 veces el consumo mundial de energía en ese periodo. Este hecho indica que además de ser responsable por la mantención de vida en la tierra, la radiación solar constituye una inagotable fuente de energía, habiendo un enorme potencial de utilización por medio de sistemas de captación y conversión en otra forma de energía (térmica, electricidad, etc.).

La crisis energética y los efectos contaminantes de las energías convencionales, han fomentado la búsqueda de energías capaces de reemplazar las obtenidas de combustibles fósiles y combustibles nucleares.



Fuente: ECOFYS.

Figura 1.01.

Sin embargo, esta energía disponible, posee ciertas limitaciones a lo largo del día y del año, además de lo variable de su intensidad:

- Es una energía intermitente (día y noche).
- Es una energía no controlable, esto significa que no se acopla a la modulación del consumo, ya que su intensidad es máxima en verano, y mínima en invierno, cuando efectivamente es más necesaria.
- Es una energía de intensidad o exergía relativamente baja ($1100 \text{ W/m}^2\text{h}$), y además influenciada negativamente por fenómenos atmosféricos y meteorológicos (polución, nubes, lluvias, etc.).

A pesar de ello es abundante y gratuita, y además constituye una alternativa cuya aplicación es creciente en los últimos años. Pero su aprovechamiento ha de ser afrontado cuidando de equilibrar el beneficio de su utilización con la inversión económica que exige la solución adecuada para conseguirla.

1.3.1 EL SOL.

La emisión de calor del sol hacia la atmosfera exterior tiene lugar como consecuencia de continuas reacciones térmicas en su interior. Esta emisión de calor se efectúa a través del proceso de transmisión de calor por radiación.

El espectro de la radiación térmica emitida por el Sol, medida en la periferia de éste, corresponde a la energía radiante emitida por un cuerpo negro (cuerpo que emite según la ley de Steffan Boltzman: $q = \sigma \cdot T^4 (W/m^2)$, con una temperatura de 5777 K.

Por lo tanto la energía emitida por radiación del Sol es:

$$q = \sigma \cdot T^4 \left(\frac{W}{m^2} \right) = 5,67 \times 10^{-8} \cdot 5777^4 = 63.152.788 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

Como el radio del sol es de $r_{sol} = 0,695 \times 10^9 (m)$, el calor total que emite es de:

$$Q = 4 \cdot \pi \cdot r_{sol}^2 \cdot q = 3,83 \times 10^{26} (W)$$

Si consideramos la órbita terrestre circular respecto al sol, y la distancia entre el sol y la tierra es de $r_{tierra-sol} = 1,495 \times 10^{11} (m)$, tendremos que el calor que incide en la dirección perpendicular al sol sobre la atmosfera es de:

$$q = \frac{3,83 \times 10^{26}}{4 \cdot \pi \cdot r_{tierra-sol}^2} = 1372 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

Estos valores experimentales medidos por los satélites son de $q = 1374 \left(\frac{W}{m^2} \right)$; como la órbita terrestre no es esférica, el calor incidente dependerá del lugar donde se encuentre la tierra en su órbita paraboloides, que podemos calcular empíricamente a través de la siguiente ecuación:

$$q_{on} = q_{sc} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right) \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

Donde:

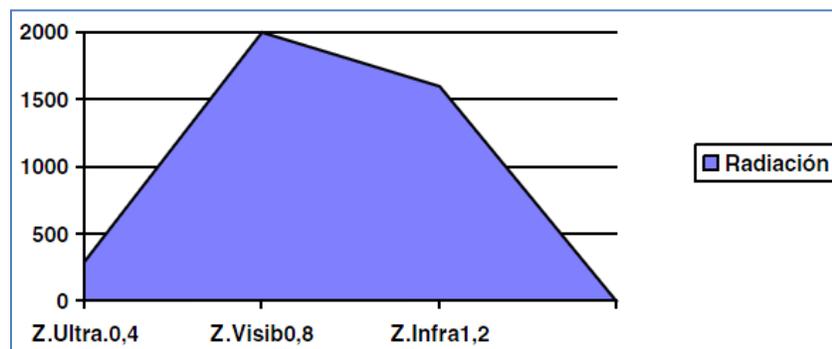
- n es el número del día del año.
- $q_{sc} = 1374 \left(\frac{W}{m^2} \right)$.

Aplicando esta correlación empírica, obtenemos unos valores extremos (máximos y mínimos), que corresponde cuando la tierra se encuentra más cercana al sol y cuando se encuentra más alejada:

- $q_{on} = 1410 \left(\frac{W}{m^2} \right)$; (valor máximo).
- $q_{on} = 1320 \left(\frac{W}{m^2} \right)$; (valor mínimo).

La energía radiante proveniente del sol tiene la siguiente distribución espectral:

Gráfico 1.01



Fuente: UPC.

Esta energía radiante proveniente del sol, tiene la siguiente distribución espectral:

- Un 45% de la energía viene en forma de ondas electromagnéticas de unas longitudes de onda correspondiente al espectro infrarrojo (de 0,78 a infinito μm).
- Un 47% de la energía viene en forma de ondas electromagnéticas, de unas longitudes de onda correspondientes al espectro visible (de 0,38 a 0,78 μm).
- Un 7% de la energía viene en forma de ondas electromagnéticas, de unas longitudes de onda correspondientes al espectro ultravioleta (de 0,01 a 0,38 μm).

Algunas de las características de estas bandas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.04

Banda	Ultravioleta	Zona visible	Infrarrojo
Longitud de onda (μm)	0 – 0,38	0,38 – 0,78	0,78 - infinito
Porcentaje de energía	7%	47,29%	45,71%
Energía (W/m^2)	95	640	618
Energía total (W/m^2)	1353	1353	1353

Fuente UPC.

1.4 RADIACIÓN SOLAR A NIVEL DEL SUELO.

Al introducirse en la atmosfera terrestre después de atravesar las distintas capas de la atmosfera, el componente energético de la radiación solar se ve disminuido por reflexión y absorción por parte de los diferentes elementos que componen la atmosfera (polvo, oxígeno, vapor de agua, nitrógeno, etc.).

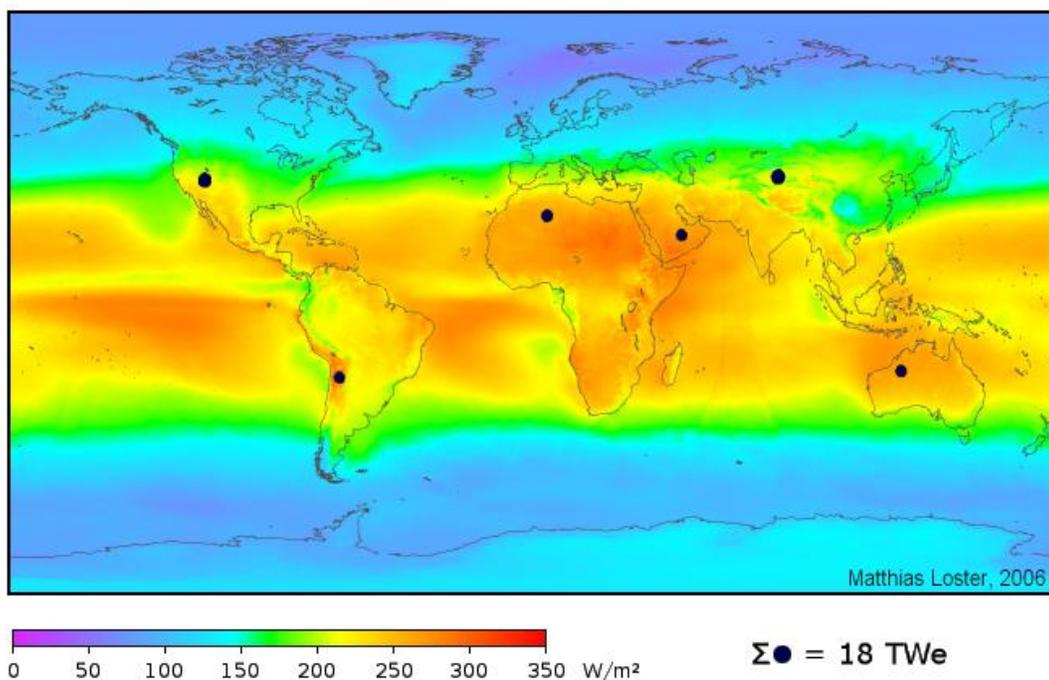


Figura 1.02. Radiación superficie solar.

Las longitudes de la radiación solar a nivel del suelo están comprendidas entre 0,29 y 2,5 μm (micras).

Por otra parte, el espesor de la atmosfera que han de atravesar los rayos solares influye decisivamente en la energía final disponible a nivel de la corteza terrestre:

- Desde los puntos del horizonte ORTO (por donde sale el sol) y el OCASO (por donde se pone), el espesor de la atmosfera que han de atravesar los rayos solares para llegar a nivel de suelo es mayor que desde el CENIT.
- Como consecuencia de la forma esférica de la Tierra, y también de su atmósfera, se producen variaciones de la intensidad y características espectrales de las radiaciones solares.

Podemos realizar un balance energético anual, considerando la atmosfera circular, para conocer la energía radiante teórica que llega a la atmosfera exterior:

$$q = \frac{1372 \left(\frac{W}{m^2}\right) \cdot \pi \cdot r_{tierra+atm}^2}{4 \cdot \pi \cdot r_{tierra+atm}^2} \cong 342 \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

Este sería el valor medio anual de energía radiante térmica que recibe la atmosfera terrestre.

Esta energía se distribuye de la siguiente manera:

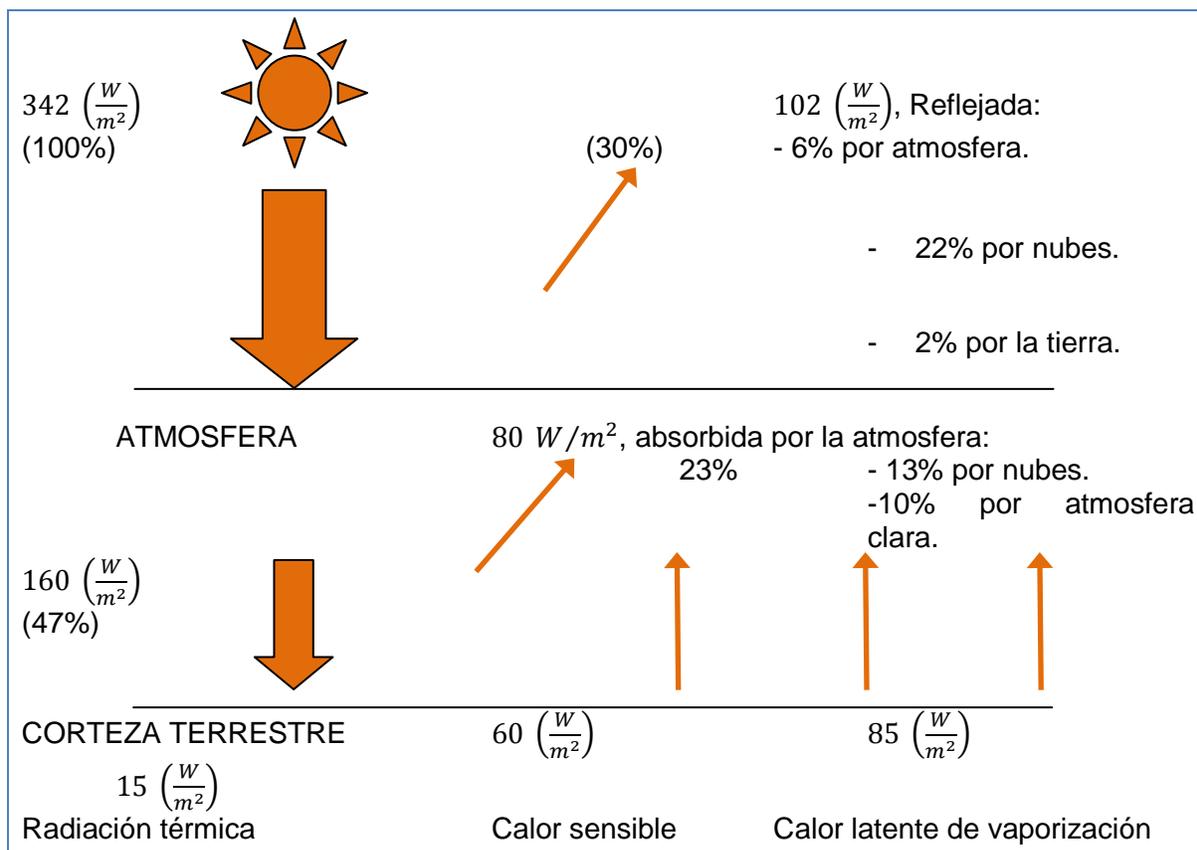


Figura 1.03. Distribución de la radiación solar a nivel del suelo.

Toda la energía absorbida por la corteza terrestre y la atmosfera es radiada al exterior. Sobre la corteza terrestre llegan tres tipos de radiación:

- a) Radiación directa (2/3 del total), a nivel del suelo. Es la radiación que se recibe directamente del sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica. La radiación extraterrestre es, por tanto, radiación directa.
- b) Radiación difusa (1/3 del total). Es la que se recibe del Sol, después de ser desviada por los fenómenos de dispersión y reflexión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro, aun de día, como sucede por ejemplo en la luna.
- c) Radiación reflejada (muy poco importante). Es aquella radiación recibida por una superficie como por ejemplo, la que refleja una pared blanca, un charco, un lago, etc., después de que la radiación solar se haya reflejado sobre un cuerpo cercano.

Por todo ello la radiación global sobre la corteza terrestre será:

$$q_{global} = q_{directa} + q_{difusa}$$

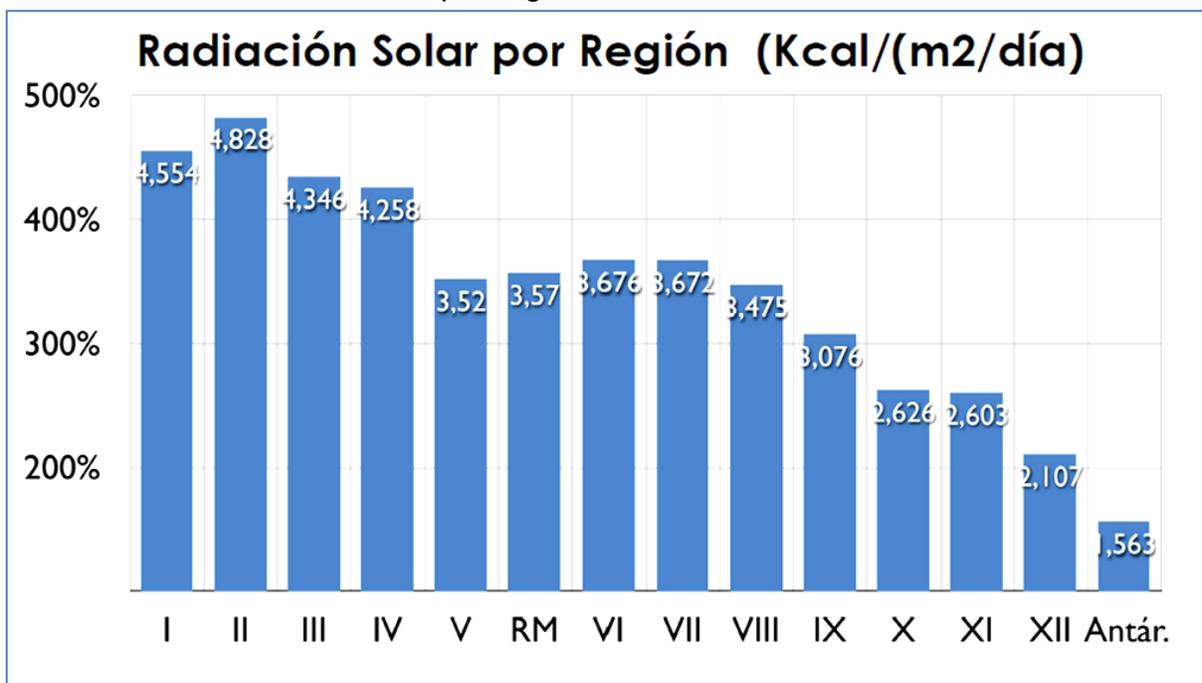
Su intensidad no se puede controlar, es mínima cuando más se necesita y de bajo nivel térmico (relativamente de baja temperatura). Su utilización con el propósito de cubrir la totalidad de las necesidades de calor exigiría, en la mayoría de los casos, disponer de superficies de captación y volúmenes de almacenamiento desproporcionados y antieconómicos.

1.5 ENERGÍA SOLAR EN CONCEPCIÓN.¹

Chile recibe una excelente radiación solar que promedia los 1992 kWh/m²/año en la zona norte y 1520 kWh/m²/año en la zona central, mientras que en el sur la media alcanza a la no menor cifra de 1164 kWh/m²/año, lo que convierte a nuestro país en un lugar privilegiado para aprovechar los beneficios de la energía del sol.

¹ Ver en detalle en pagina 37, Capitulo 5

Gráfico 1.02. Radiación solar por región.



Fuente: SOLENERGY.

1.6 RECEPCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LOS CAPTADORES.

La disposición normal de los captadores es de encontrarse inclinados de cara al norte un determinado número de grados, para el hemisferio sur.

Esto se define así producto de la posición del sol y la inclinación del planeta, que provocan que en verano el sol se encuentre más cercano a la tierra y en invierno pase lo contrario, el sol está más alejado. Para favorecer la eficiencia del colector en esta condición donde justamente es más desfavorable y más necesario, es que se hace necesario darle una cierta inclinación para tener un mejor aprovechamiento de la radiación solar.

Gráfico 1.03. Radiación solar a lo largo del día en superficie horizontal.

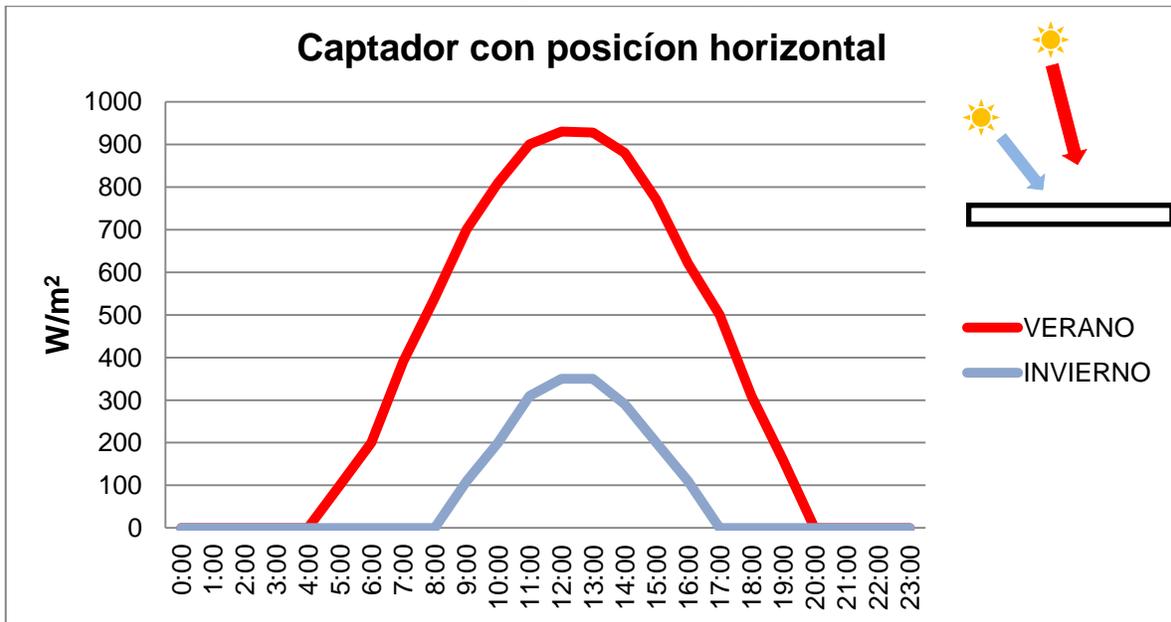
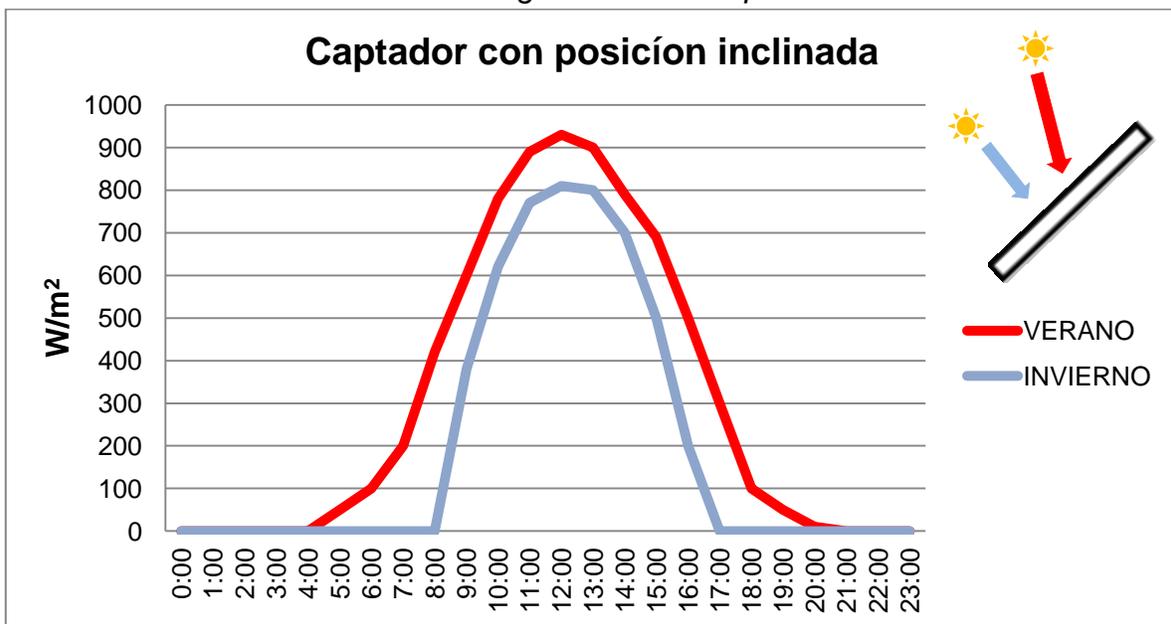


Gráfico 1.04. Radiación solar a lo largo del día en superficie inclinada.



1.7 PARÁMETROS DE LA POSICIÓN SOL-TIERRA.

Para que sea viable una medición precisa de la intensidad de energía que puede captarse en la tierra, debe tomarse en consideración la posición de ésta respecto al Sol, que es variable.

La Tierra, en su traslación alrededor del Sol, define una trayectoria elíptica. Al mismo tiempo, efectúa un giro diario sobre sí misma alrededor de un eje inclinado respecto a la elíptica, con un valor constante de $23^{\circ}27'$.

Para facilitar el análisis, resulta práctico imaginar la Tierra inmóvil, y ver los demás astros proyectados en una esfera de diámetro infinito, denominada esfera celeste, cuyo centro fuera la propia Tierra.

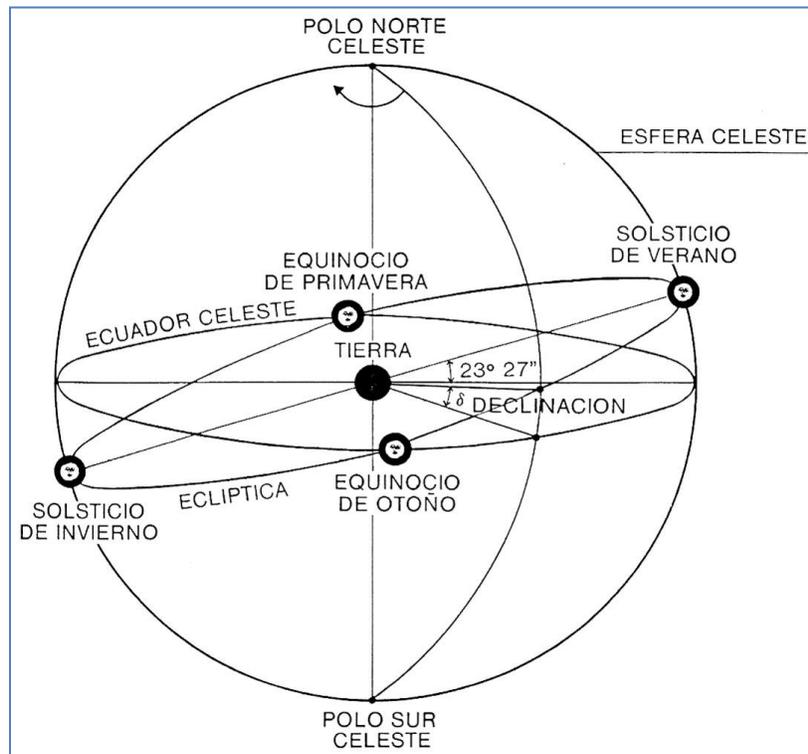


Figura 1.04. Esfera celeste.

Los parámetros más importantes son:

- *Latitud (ϕ)*: es el ángulo formado por la vertical del punto geográfico que se considere y el plano del ecuador. Varía de $+90^{\circ}$ a -90° y se considera negativo en el hemisferio sur.
- *Declinación solar (δ)*: es el ángulo formado por la línea Tierra – Sol, al mediodía solar, y el plano del Ecuador.

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left(360 \cdot \frac{(284 + n)}{365} \right)$$

Donde n es el número de días transcurridos durante el año.

- *Inclinación* (S): es el ángulo formado por el plano de la superficie captadora y la horizontal en el punto que se considere.
- *Azimut* (γ): es el ángulo que forma la proyección horizontal de la línea perpendicular a la superficie captadores, y la línea que pasa por esta, y el sur geográfico, llamado Meridiano del lugar. Hacia el oeste se consideran grados positivos.
- *Incidencia* (σ): es el ángulo formado por la radiación directa sobre la superficie captadora, es decir, la línea Sol – captador, y la perpendicular al captador.
- *Angulo horario* (ω): es el ángulo respecto al mediodía solar y se mide en horas solares. Es el resultado de dividir los 360° sexagesimales por las 24 horas del día, por lo que viene dado por:

$$\omega = \frac{15^\circ}{hora}$$

Este ángulo horario por la mañana es positivo (+), al mediodía es cero (0) y por la tarde es negativo (-).

CAPÍTULO 2

2 ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES.

2.1 INTRODUCCIÓN

La generación de agua caliente implica un consumo energético importante dependiendo de la necesidad requerida, que en este caso corresponde al su consumo en el laboratorio de mediciones básicas y para ensayos de transferencia de calor.

El asunto reviste gran importancia pues con él se relacionan temas como la eficiencia energética, la radiación solar y el consumo de agua caliente. Por ello la importancia de promover y usar los recursos provenientes de fuentes naturales que se detallan a continuación.

2.2 ENERGÍAS RENOVABLES.

Las energías renovables son aquellas que provienen de fuentes naturales inagotables, que en sus procesos de generación no se consumen o son un recurso con capacidad de regeneración.

En Chile la Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE) define como fuentes de energía renovable no convencional (ERNC) a la proveniente de la biomasa, geotermia, centrales hidroeléctrica con potencia instalada menor a 20 MW y las que utilicen el potencial solar, eólico o del mar.

2.2.1 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE.

2.2.1.1 Energía Solar.

Es el uso de la radiación de sol para generar electricidad o calor, mediante sistemas fotovoltaicos, de concentración solar de potencia o colectores térmicos.

2.2.1.2 Energía Eólica.

Utiliza la fuerza del viento captada mediante un mecanismo accionado por la energía cinética de las masas del aire.

2.2.1.3 Energía Geotérmica.

Energía eléctrica o calorífica generada a partir del aprovechamiento de la temperatura interior de la Tierra.

2.2.1.4 Energía del Mar.

Se aprovecha el movimiento de la mar (mareomotriz) y las olas (undimotriz), o utiliza la variabilidad térmica del océano.

2.2.1.5 Energía de Biomasa.

A partir de la materia orgánica de origen animal o vegetal, se transforma en energía mediante la combustión directa o su procesamiento para la generación de otro tipo de combustible.

2.2.1.6 Energía Hidráulica no Convencional o Mini Hidro.

Energía cinética generada por el paso del agua por una turbina a través de un plano inclinado, o caída libre, y que no supere una potencia instalada de 20 MW.

En Chile la política del gobierno tiene tres ejes de acción fundamentales: promover la energía a precios competitivos, asegurar el abastecimiento energético de la nación y ser ambientalmente sostenible.

Las ERNC, juegan un importante rol dentro de este contexto, por lo que Chile ha desarrollado un marco informativo favorable para la incorporar este tipo de energías a la matriz eléctrica. Diversos instrumentos de apoyo a la inversión se han implementado para mejorar la información sobre recursos energéticos y a generar capacidades técnicas locales.

Potencial de ERNC en Chile:

Tabla 2.01. Potencial de ERNC.

Recurso ERNC	Potencial Bruto MW
Mini Hidro	20.392
Biomasa	13.675
Eólica	40.000
Geotermia	16.000
Solar	226.000
Undimotriz	160.000
Total	351.000

Fuente: UTFSM, 2008.

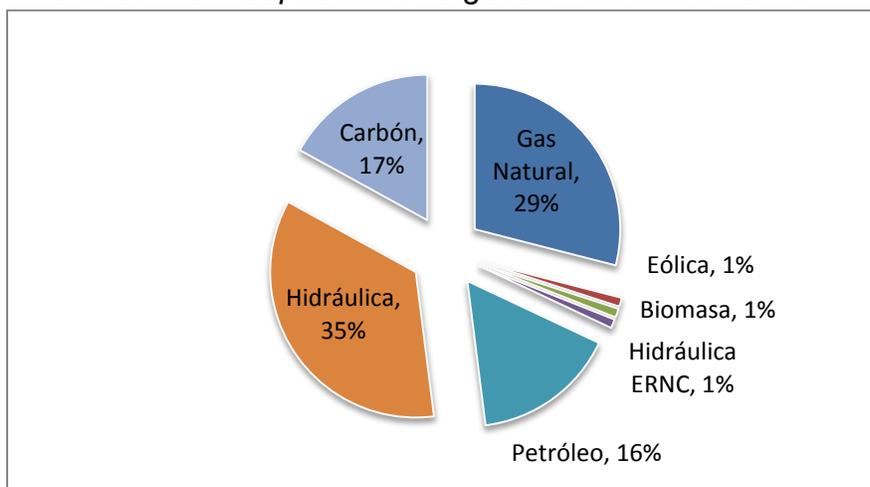
2.2.2 CAPACIDAD ENERGÉTICA CHILENA

La participación de las ERNC es menor en comparación con centrales térmicas y grandes centrales hidroeléctricas.

Hasta el momento han entrado en operación 35 proyectos mini hidráulicos, 7 parques eólicos y 12 centrales de biomasa

La capacidad energética instalada en Chile es de 18.878 MW².

Gráfico 2.01. Capacidad energética instalada en Chile



Fuente: Ministerio de Energía.

Tabla 2.02. Estado de fuentes de ERCN³.

Estado	Operación	Construcción	RCA aprobada	En cartera
Mini Hidro	218,3	41,9	298,7	375,6
Eólica	180,3	43,7	1.609,4	1.8841
Biomasa	219	209,0	70,6	341,6
Solar	0,0	1,0	18,0	451,5
Total	617,6	295,6	1.996,7	3.052,8

Fuente: CER 2011.

Tabla 2.03. Participación de las ERNC en otros países.

Fuente/País	Chile		Nueva Zelanda		Dinamarca		Irlanda		Portugal		Suecia	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Biomasa	884	1,6	555	1,3	2.053	5,6	161	0,5	1.572	3,4	9.068	6
Residuos	0	0,0	0	0	1.866	5,1	0	0	571	1,2	2.157	1,4
Geotermia	0	0,0	4.200	9,6	0	0	0	0	192	0,4	0	0
Solar PV	0	0,0	0	0	3	0	0	0	38	0,1	4	0
Solar Térmico	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eólico	31	0,1	1057	2,4	6.928	19	2.410	8,1	5.757	12,5	1.996	1,3
Mar	0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otros	0	0,0	50	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	56.307	100	43.775	100	36.391	100	29.685	100	45.969	100	150.036	100
ERNC	915	1,6	5812	13,3	10.850	29,8	2.571	8,7	8.130	17,7	13.225	88

Fuente AIE 2010; Data 2008

² Datos actualizados a Diciembre del 2010. Fuente: Ministerio de Energía.

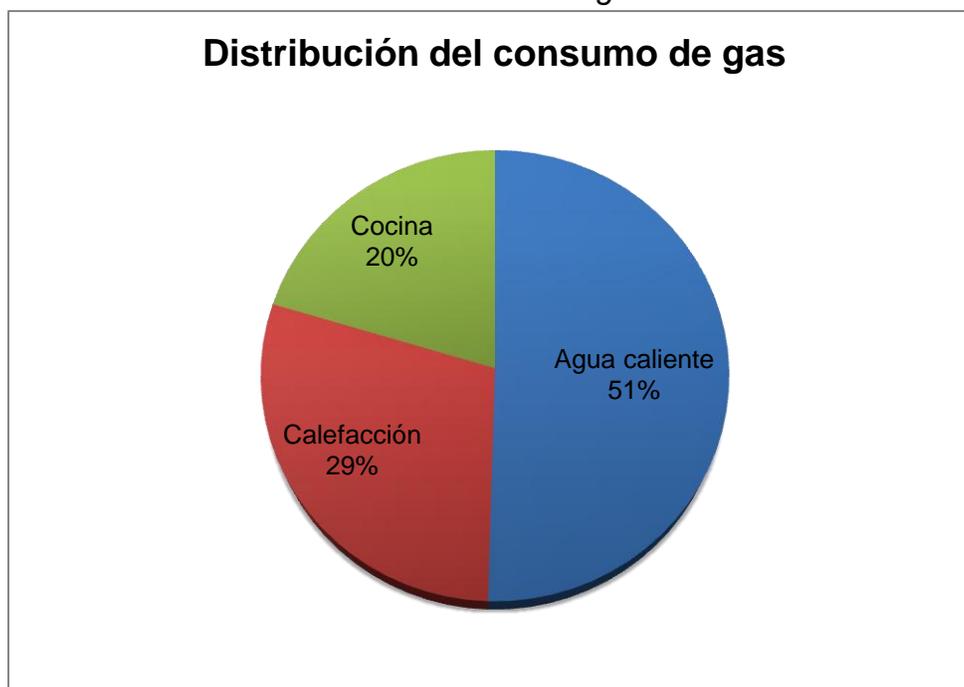
³ Valores en MW.

Cuando nos referimos a las ERNC, claramente hablamos de un tema que en muchos casos resulta un poco desconocido para el común de las personas, que dependemos en gran parte de energías provenientes de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural, fuentes que como todos sabemos cada vez se hacen más limitadas y con ello más costosas.

La eficiencia energética tiene un impacto económico que está asociado directamente con el uso de la energía en sus distintas formas como iluminación, aislamiento, climatización, electrodomésticos, cocina, agua, etc., siendo este último un recurso que cada vez se hace más escaso, de manera que podemos utilizar una energía limpia cuya inversión es totalmente recuperable, en un periodo no mayor a un año.

En una vivienda común, la distribución del consumo de gas es el siguiente:

Gráfico 2.02. Distribución del consumo de gas en una vivienda común.



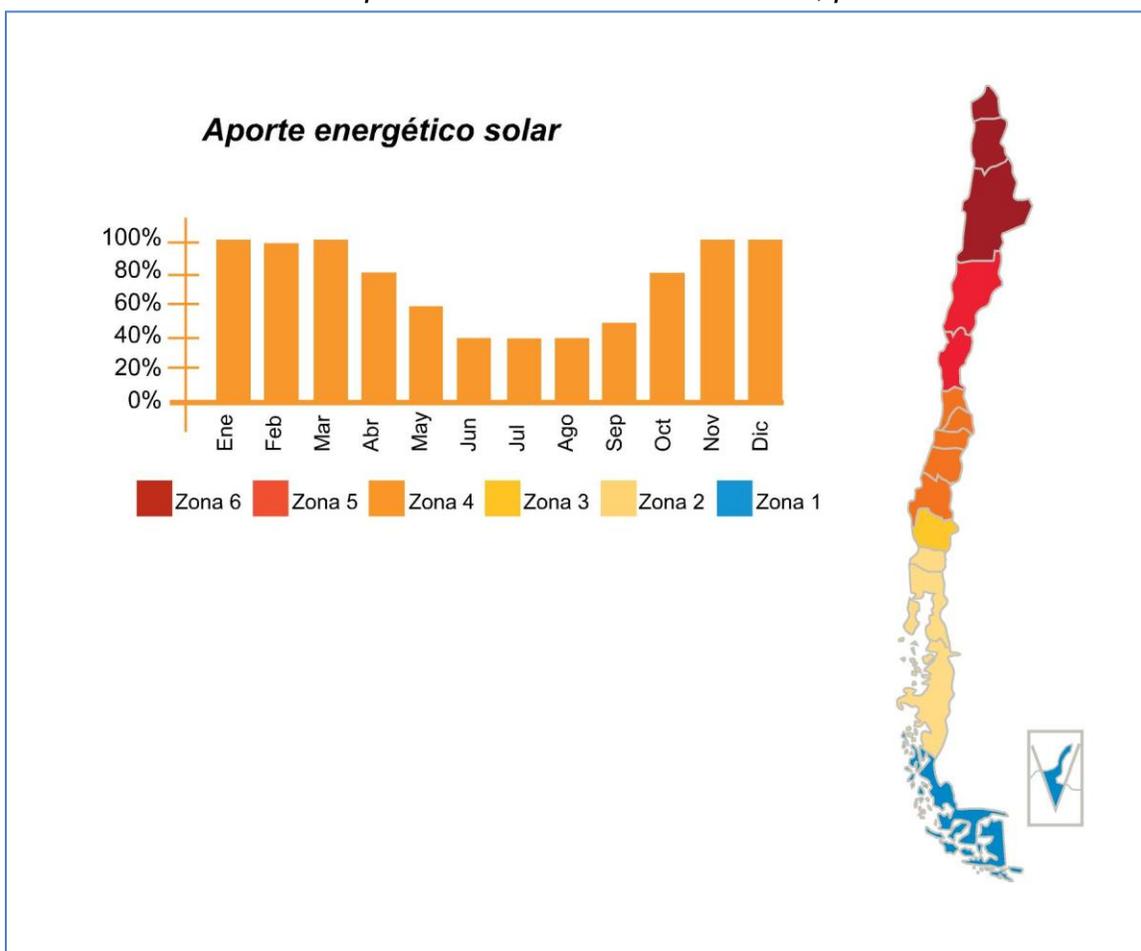
Fuente: Ministerio de Energía.

Como vemos en esta gráfica, el costo para conseguir agua caliente, mediante la combustión del gas, equivale a la mitad del consumo total de gas en una vivienda común. Sin duda que una solución a esta necesidad se ve en incorporar el uso de una energía limpia e inagotable como la solar, y con ello reducir el consumo de combustibles fósiles, que a diferencia del recurso solar, son de carácter agotable y costoso. Además el común de las viviendas utiliza para calentar el agua un calefón, el cual tiene una eficiencia baja, y por lo tanto gran parte de la energía

utilizada es desaprovechada al irse por la chimenea como gases de combustión, lo que en otras palabras, hace que esta energía sea irrecuperable, por esta razón, tomar la iniciativa de implementar el calentamiento por medio de colectores solares es una solución a esta necesidad.

El aprovechamiento para usos térmicos (A.C.S., climatización y climatización de piscinas) es la mejor alternativa frente a los sistemas clásicos de calentamiento. Una instalación de energía solar térmica permite reducir el gasto de una vivienda ya que puede reducir las necesidades de A.C.S. entre un 50% y un 70%.

Gráfico 2.03. Ahorro por mes en una vivienda común, para la zona 4.



Fuente: SOLENERGY.

CAPÍTULO 3

3 PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

3.1 INTRODUCCIÓN.

La generación de agua caliente sanitaria (A.C.S.) es el proceso por el cual el agua se calienta para ser utilizada en baños, cocina y lavaderos.

La generación de agua caliente se logra por medio de artefactos individuales o centrales térmicas, que en algunos casos es la misma que provee calefacción a la edificación.

Existen varios sistemas de generación de agua caliente, la utilización de cada uno de ellos está definida por las condiciones de uso y volumen de agua requerido. Estos se pueden agrupar en sistemas de generación individual o centralizado.

El A.C.S. es una necesidad derivada del nivel de confort de las sociedades actuales. Su disponibilidad en el interior de los hogares es una exigencia mínima de bienestar, pero a la vez, debe considerarse un verdadero privilegio ya que trae asociado el consumo de dos recursos escasos: Agua y Energía.

Si los sistemas de A.C.S. evolucionan a una mayor o total incorporación, la idea es que su desarrollo considere soluciones eficientes de ambos recursos. Se estima que, actualmente, un 90% corresponde a calefones que usan como combustible gas y el porcentaje restante son termos eléctricos. Por otro lado además de promover el uso de soluciones que ahorren agua y energía, resulta fundamental que se genere la conciencia en los usuarios sobre la necesidad de utilizar racionalmente el agua caliente.

Sin considerar la escasez de estos recursos, los sistemas de producción de agua caliente se diseñan como un equipamiento más dentro de la vivienda y pasan a segundo plano. Afortunadamente, como la sociedad empieza a ser consciente de la importancia del uso eficiente de los recursos, exige aplicar ciertos criterios de desarrollo sostenible para el consumo de A.C.S.:

- La demanda de agua caliente deber ser la imprescindible para cubrir las necesidades.
- Debe hacerse uso racional de este recurso.
- Deben utilizarse procedimientos eficientes en la utilización del agua y en la conversión de energía.

- Deben utilizarse energías renovables para cubrir la mayor parte de estas necesidades.

3.2 SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS.

En un sistema solar térmico, la energía radiante que emite el sol, es transformada en energía térmica y acumulada en forma de agua caliente. Esta transformación se puede dar con distintas configuraciones dependiendo las condiciones de operación y los requerimientos considerando la situación más desfavorable de funcionamiento.

Tomando en cuenta estos requisitos mínimos, se consideran las siguientes clases de instalaciones:

- Sistemas solares de calentamiento compactos o prefabricados:** Productos fabricados en lotes, por una marca registrada determinada, que son vendidos como equipos completos y listos para instalar, con configuraciones fijas. Los sistemas de esta categoría se consideran como un solo producto y se evalúan en un laboratorio de ensayo.
- Sistemas solares de calentamiento a medida o por elementos:** Son aquellos contruidos de forma única o montados elegidos de una lista de componentes. Los sistemas de esta categoría son considerados como un conjunto de componentes. Los componentes se ensayan en forma separada y los resultados de los ensayos se integran en una evaluación del sistema completo.

Tabla 3.01. Clasificación de los sistemas solares.

Sistemas solares prefabricados	Sistemas solares a medida
i. Sistemas por termosifón para agua caliente sanitaria.	i. Sistemas de circulación forzada (o de termosifón) para agua caliente sanitaria y/o calefacción y/o refrigeración y/o calentamiento.
ii. Sistemas de circulación forzada como lote de productos con configuración fija para agua caliente sanitaria.	
iii. Sistemas con captador-depósito integrados (es decir, en un mismo volumen), para agua caliente sanitaria.	ii. Sistemas únicos en el diseño y montaje, utilizados para calentamiento de agua, calefacción y/o refrigeración o usos industriales (principalmente sistemas grandes).

Fuente: Sistemas Solares Térmicos, CDT.

3.3 COLECTOR SOLAR.

El colector solar térmico es el dispositivo que transforma la radiación solar en energía térmica (calor); ésta se transfiere a un fluido caloportador aumentando su temperatura.

Es el principal componente del sistema de captación y el elemento más representativo de las instalaciones solares térmicas. Además de producir el calor de manera eficiente, el colector debe estar diseñado para soportar la continua exposición a las condiciones exteriores tales como lluvia, nieve, granizo, polvo, etc. y para resistir las altas y bajas temperaturas a las que va a estar sometido.

Para este caso se definen de dos tipos de colectores solares:

- Colectores solares planos.
- Colectores de tubos al vacío.

3.3.1 COLECTORES SOLARES PLANOS.

Los elementos básicos de este tipo de colectores son la cubierta, que generalmente es de vidrio, y el absorbedor correspondiente a una placa plana, comúnmente metálica, que se calienta al recibir la radiación solar.

El colector de placa plana, funciona basado en el conocido efecto invernadero, y se corresponde con las propiedades de transmisión de la cubierta:

- De la radiación solar incidente, de longitud de onda corta ($0,3 - 3\mu m$), una parte es reflejada, otro pequeño porcentaje es absorbido por la cubierta y una gran parte la atraviesa e incide sobre el absorbedor que la transforma en calor aumentando su temperatura.
- El absorbedor, al calentarse, emite radiación en una longitud de onda larga ($3 - 30\mu m$), que no puede salir al exterior debido a que la cubierta es opaca frente a esa radiación.

Incorporado o adosado al absorbedor, existe un circuito hidráulico por el que circula el fluido caloportador que se calienta por la transferencia de calor, por conducción, fenómeno que tiene lugar entre el absorbedor y el circuito del fluido. El aumento de la temperatura del fluido de trabajo es el efecto útil que se pretende conseguir, que a su vez hace disminuir la temperatura del absorbedor, producto de este proceso de transformación de calor.

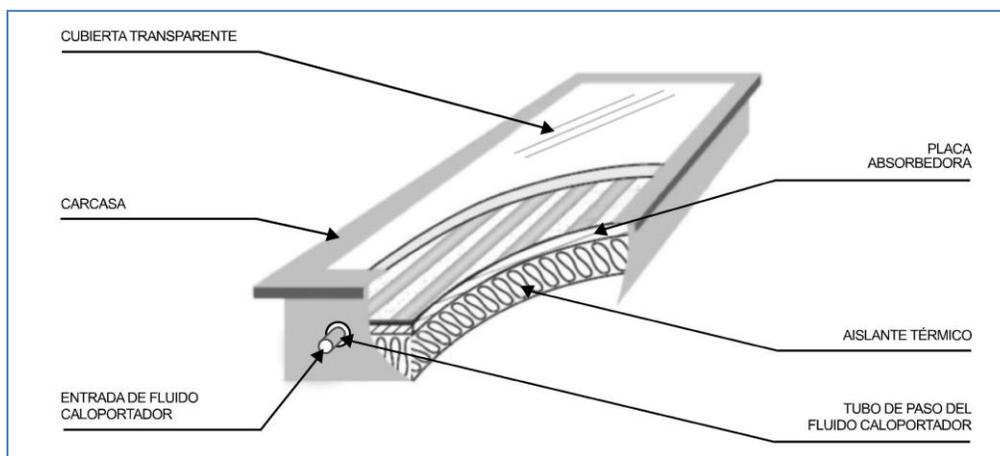


Figura 3.01. Componentes principales de un Colector solar plano.

Debido a que la placa, al calentarse, pierde también calor hacia el ambiente que lo rodea, y dado que el objetivo del colector es que el calor sólo sea extraído por el fluido caloportador, se disponen los medios necesarios para reducir todas las pérdidas térmicas por radiación, convección y conducción:

- Con la cubierta, además de reducirse las pérdidas por radiación en el efecto invernadero, también se disminuyen las pérdidas por convección ya que evita el contacto directo de la placa con el aire ambiente.
- Con aislamiento, en la parte posterior y en los laterales de la placa, se reducen las pérdidas térmicas por conducción.

3.3.2 COLECTORES DE TUBOS AL VACÍO.

En este tipo de colectores, se reducen las pérdidas térmicas, tanto de convección como las de conducción, al hacerse el vacío en el espacio entre el absorbedor y el tubo exterior. Con esto se consigue alcanzar temperaturas elevadas. El nivel de vacío es un parámetro fundamental en la efectividad de la reducción de las pérdidas térmicas y, a la vez, el parámetro cuya fiabilidad a largo plazo es más difícil de garantizar.

Un colector de tubos al vacío está compuesto por un conjunto de tubos, conectados en un distribuidor, cada uno de los cuales está formado por uno o más tubos por donde circula el fluido a calentar y un tubo de vidrio como cubierta y envolvente exterior.

Hay varios tipos de colectores de tubos al vacío, entre los que destacan los tubos de calor, los tubos en U y los de flujo directo que son descritos a continuación.

3.3.2.1 Colector de vacío de tubos de calor (Heat-Pipe).

En el interior del tubo evacuado hay un tubo cerrado que dispone de aletas como absorbedor por ambos extremos (tubo de calor), en cuyo interior hay un fluido caloportador a la presión adecuada para que se evapore y se condense en un rango determinado de temperatura. Al calentarse el tubo absorbedor, se evapora una parte del líquido desplazándose en forma de vapor a la parte superior del tubo donde, en un bloque de transferencia, cede calor a otro fluido de trabajo, se condensa y vuelve a estado líquido para descender por el tubo hasta que se evapore otra vez.

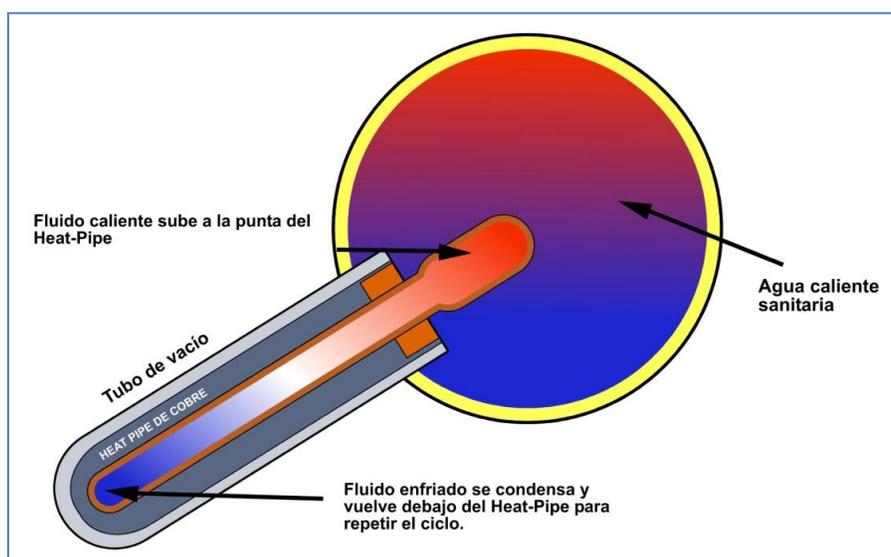


Figura 3.02. Principio de funcionamiento de tubos Heat-Pipe.

Estos colectores necesitan que los tubos tengan una inclinación mínima (superior a unos 20°) para funcionar correctamente.

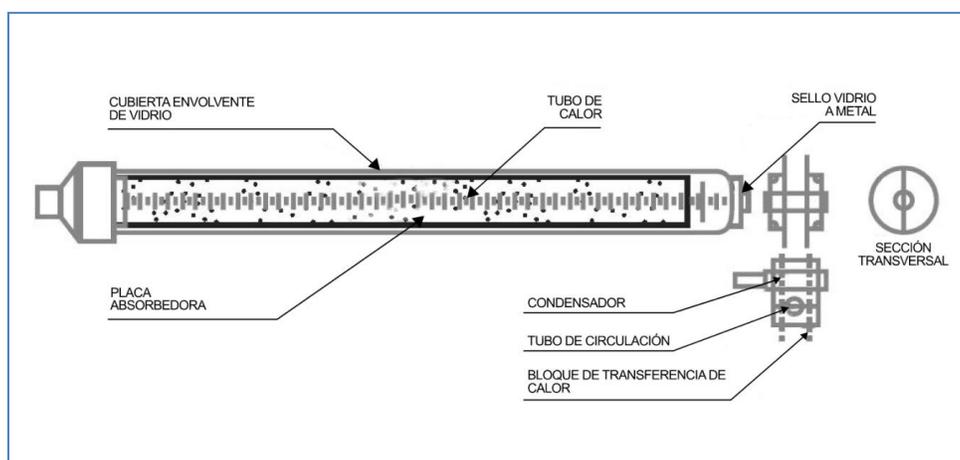


Figura 3.03. Esquema de partes de un tubo de calor (Heat-Pipe).

Cuando la temperatura del absorbedor es superior a la de evaporación del fluido del tubo de calor, se produce la evaporación total y se paraliza la transferencia de calor a través del fluido: únicamente actúa la conducción directa a través del tubo metálico.

3.3.2.2 Colector de vacío de tubo en U (U-Tube).

En el interior del tubo evacuado hay un tubo de paso del fluido caloportador. Por uno de los extremos, el fluido caloportador entra a baja temperatura para luego recorrer el circuito de U y vuelve a salir a mayor temperatura. El absorbedor adosado a los dos tubos es de morfología plana.

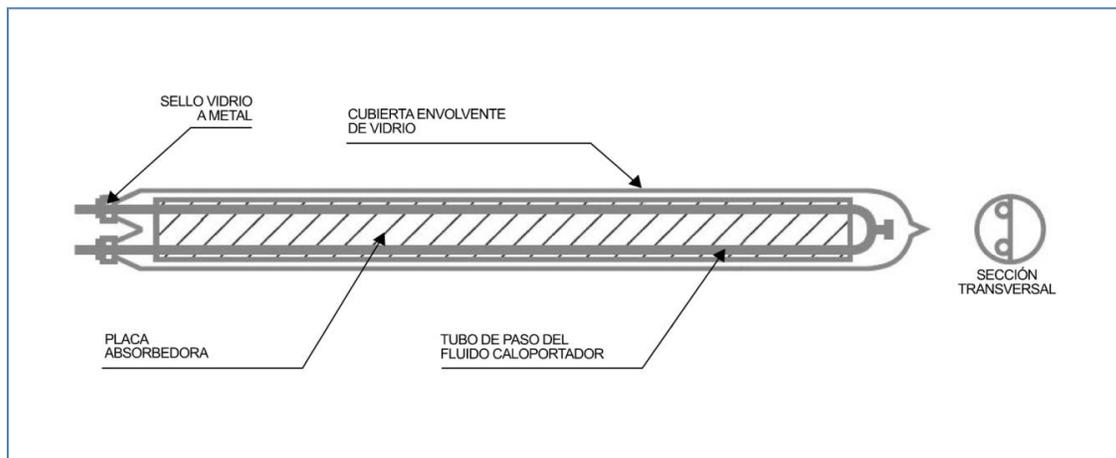


Figura 3.04. Esquema de partes de un tubo de vacío en U

3.3.2.3 Colectores Atmosféricos.

Funcionan por gravedad, por lo tanto debe estar por sobre los consumos (lavaplatos ó duchas). El sistema de llenado puede ser por medio de un controlador digital con una válvula solenoide o simplemente por un tanque asistente mecánico por flotador.

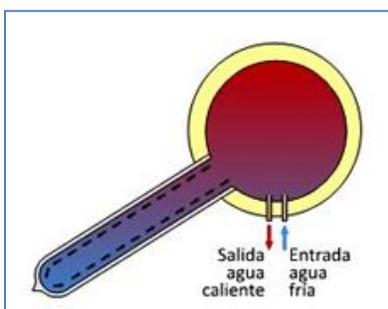


Figura 3.05. Colector atmosférico.

3.3.2.4 Colectores Presurizado Coil.

A diferencia de los mencionados anteriormente, estos funcionan con la presión de la red evitando así que al usarlo tenga baja presión. Este sistema transfiere el calor mediante un serpentín ubicado en el estanque de acumulación del sistema prefabricado.

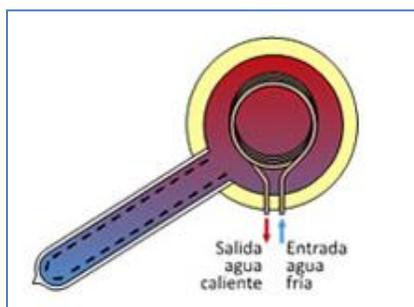


Figura 3.06. Colector presurizado Coil.

3.4 ACUMULADORES

El acumulador solar se utiliza para almacenar el agua caliente producida por el sistema solar térmico hasta que se precise su uso. Por lo tanto, debe mantener la calidad sanitaria del agua, colaborar en la buena eficiencia de la instalación y evitar las pérdidas térmicas.

3.4.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS.

- a) **Resistencia y durabilidad:** para asegurar la resistencia y durabilidad, el acumulador solar debe estar diseñado para satisfacer lo siguiente:
 - Soportar las condiciones extremas de presión, cumpliendo con la normativa establecida.⁴
 - Soportar máximas temperaturas que alcance.
 - Debe estar protegido contra la corrosión interna para asegurar su durabilidad.
 - Debe quedar protegido efectivamente contra las condiciones climáticas exteriores, que afectan las pérdidas térmicas y la corrosión externa.

- b) **Estratificación:** El agua del acumulador, cuando se calienta, disminuye su densidad y tiende a subir mientras que el agua fría, de mayor densidad y peso, tiende a bajar. El mejor aprovechamiento de la energía térmica se consigue cuando el agua caliente en el interior del acumulador se almacena

⁴ Nch RITCH, Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios en Chile.

con un gradiente vertical de temperaturas y se evitan flujos entre las capas de agua a distinta temperatura. Este efecto, denominado estratificación, es siempre deseable dado que permite disponer del agua más caliente en la parte superior del acumulador, mientras que el agua más fría se acumula en la parte inferior para ser calentada por la energía solar.

- c) **Pérdidas térmicas:** Para disminuir las pérdidas térmicas y aumentar notablemente el rendimiento de la instalación, ha de cubrirse toda la superficie exterior del acumulador, cañerías y bocas de conexión con material aislante adecuado y correctamente sellado. Este material, en caso de que el acumulador esté situado al exterior, ha de ser también resistente a la humedad y a la radiación solar, o se ha de colocar sobre él algún tipo de recubrimiento exterior resistente a estos dos factores (aluminio, poliéster, etc.).

3.5 INTERCAMBIADORES EXTERNOS.

Los intercambiadores de calor externos normalmente utilizados son los de placas, dada su alta potencia específica de transmisión, pequeño tamaño en relación a su área de transferencia de calor y bajo precio. Debe ponerse especial cuidado a la pérdida de carga y evitar su ensuciamiento para que no pierda su capacidad de transmisión de calor.

Los intercambiadores pueden ser de placas de cobre, de acero inoxidable o de titanio, bien desmontables o bien electrosoldadas.

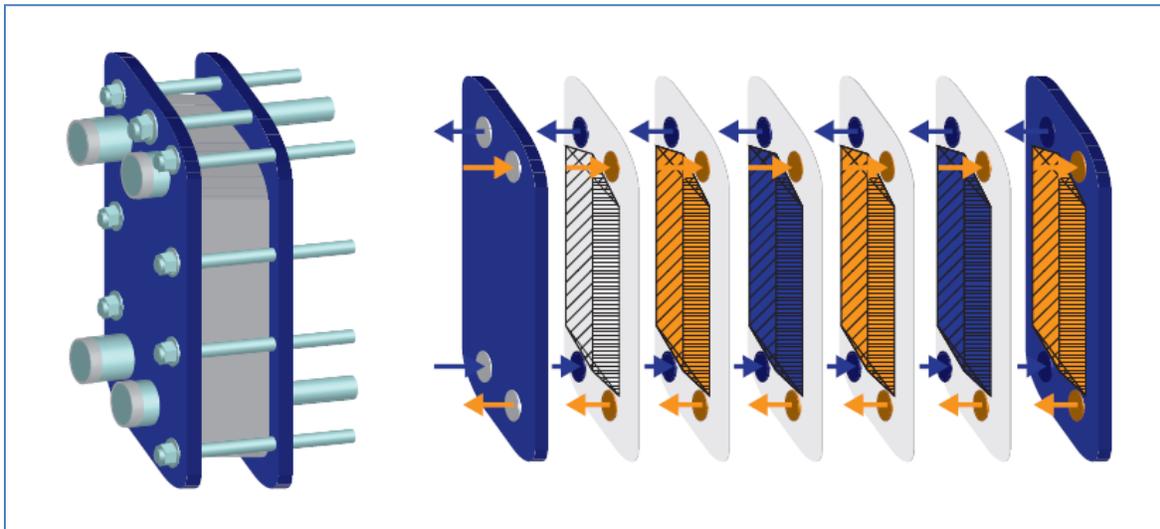


Figura 3.06. Intercambiador de calor de placas.

CAPÍTULO 4

4 LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES.

4.1 INTRODUCCIÓN.

La idea de implementar un laboratorio de energías renovables en el Departamento de Ingeniería Mecánica, tiene como finalidad promover y realizar ensayos sobre diferentes tipos de ERNC, así como de tecnologías apropiadas para las condiciones de diferentes zonas del país que representen alternativas al suministro de energía en el marco de un desarrollo sustentable y la difusión de conocimientos científicos y tecnológicos especializados, relacionados con el aprovechamiento y eficiencia energética de las ERNC y el medio ambiente.

Además despertar el interés estudiantil y de toda la comunidad sobre el aprovechamiento de estas energías renovables, para desarrollar y ofrecer propuestas de formación que ayuden a satisfacer la demanda de capacitación en temas de ERNC.

Por último innovar en materias de eficiencia energética, promoviendo acciones que permitan optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Usar bien la energía, porque la eficiencia energética es ahorrar sin perder en calidad de vida o en calidad de producción, muestra de ello es la introducción de una nueva tecnología o el cambio de conducta de las personas, para poder así ser más eficientes.

4.2 USOS DEL A.C.S. EN EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES.

El agua caliente sanitaria generada por el aporte solar en los colectores que serán instalados en el Laboratorio de Energías Renovables, tiene un fin educativo principal que es el aprovechamiento de la energía térmica del sol. Con esta agua se definen dos usos principales para el aprovechamiento de esta energía y así no depender del uso de combustibles fósiles (gas, petróleo, carbón, etc.) para el calentamiento de agua.

4.2.1 Usos en el Laboratorio de Mediciones Básicas.

Usos para requerimientos en ensayos de laboratorio que requiere agua caliente (Calentamiento Sensible, Medición de Temperaturas, Poder Calorífico), agua sanitaria, limpieza, etc.

4.2.2 Uso en un Intercambiador de calor.

Lo principal es considerar la instalación de un intercambiador de calor, para poder realizar ensayos de transferencia de calor ya sea por flujo paralelo, contraflujo o flujo cruzado.



Figura 4.01. Intercambiador de calor de placas.

4.3 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE A.C.S. O SOLAR TÉRMICO.

Para efectos didácticos y de comparación, se propone la instalación de dos tipos de colectores solares prefabricados, comercializados en distintos puntos de la región y según estimación:

- Colector Solar Heat-Pipe.
- Colector Solar Plano.

Se considera un bastidor de aluminio, preferentemente regulable, para ajustar la inclinación del colector solar.

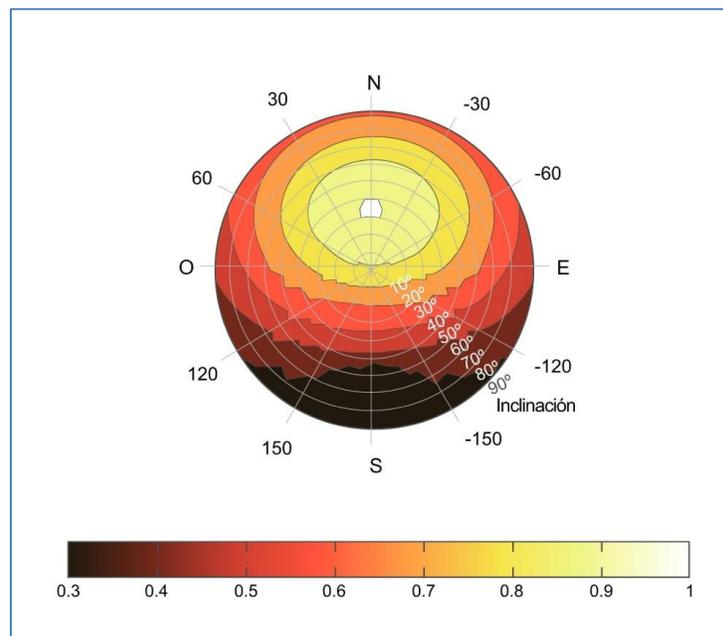
Además se consideran ambos equipos con una capacidad de 100 litros cada uno, de acuerdo a lo comercializado en la región.

4.4 INSTALACIÓN

La orientación será hacia el norte y la inclinación estará definida por las pérdidas por orientación e inclinación para Concepción (Lat. = 37° S), se calculan los límites de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida.

En la figura (4.02.) se muestra la proporción de insolación total anual recibida sobre una superficie con cierta orientación e inclinación con respecto al máximo posible (representado por el área de color blanco con valor 1). La orientación se representa como el ángulo con respecto al norte siempre tomando en cuenta la convención de que al Este es negativo y a Oeste positivo. El ángulo de inclinación se representa como la distancia desde el centro del círculo y va desde 0° a 90° con los círculos concéntricos denotando las distintas inclinaciones. El procedimiento es el siguiente:

- Conocido el azimut, determinamos en la figura correspondiente a la latitud más cercana a la analizada los límites para la inclinación. Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10%, para superposición del 20% y para integración arquitectónica del 40%. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de azimut proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima.
- Si no hay intersección entre ambas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites. Si ambas curvas se intersectan, se obtienen los valores de inclinación límite para la latitud en cuestión.



Fuente: Sistemas Solares Térmicos, CDT.

Figura 4.02. Pérdidas por orientación e inclinación para Concepción (Lat.= 37° S)

De la figura se determinan los límites de inclinación. Los puntos de intersección del límite de pérdidas del 10% (borde exterior de la región 0,9 -1), máximo para el caso general, con la recta de azimut nos proporcionan los valores.

- Inclinación máxima: 65°
- Inclinación mínima: 4°

Dado que la inclinación de 45° está dentro de los límites permitidos y mejor aún en la zona blanca de valor 1, la instalación cumple los requisitos de pérdidas por orientación e inclinación.

4.4.1 Diagrama de Instalación para un Colector Solar Heat-Pipe.

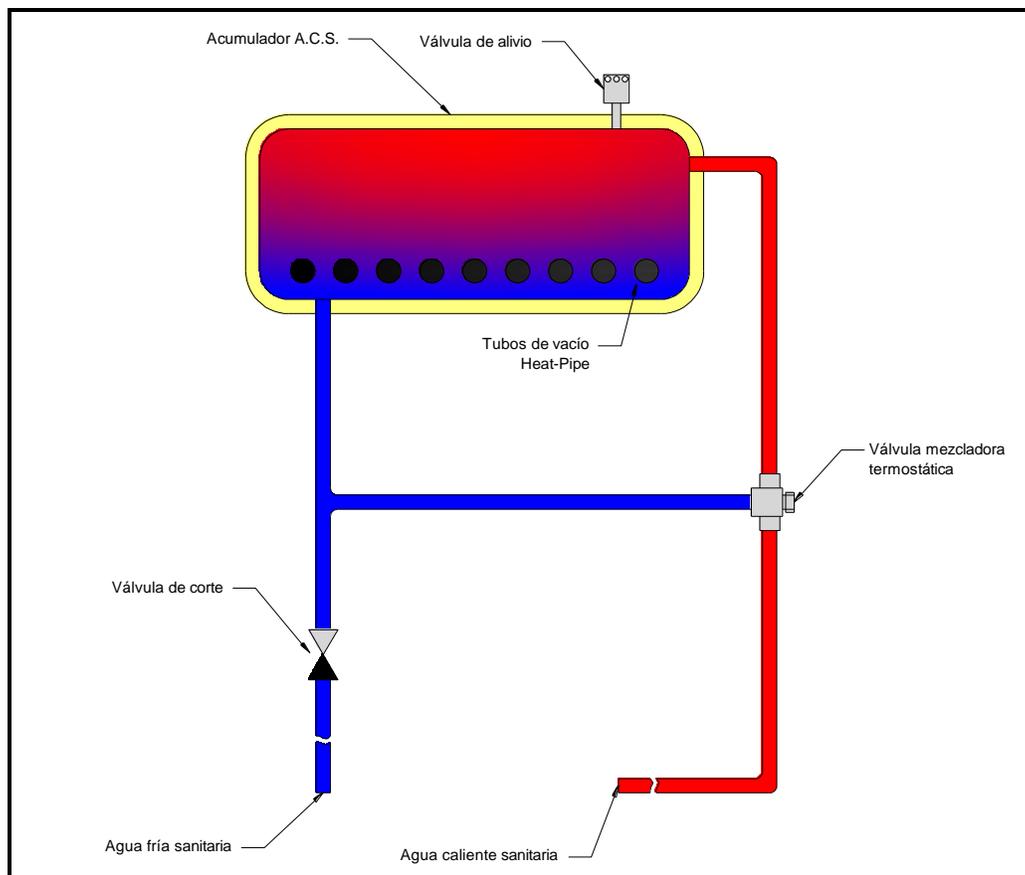


Figura 4.03. Esquema de instalación colector solar Heat-Pipe.

El funcionamiento del equipo se define en detalle en Capítulo 3, los tubos al vacío reciben la radiación del sol, convirtiéndola en energía calorífica, que se transfiere al interior del depósito, produciendo el calentamiento del agua allí acumulada.

Una vista general del equipo por instalar:

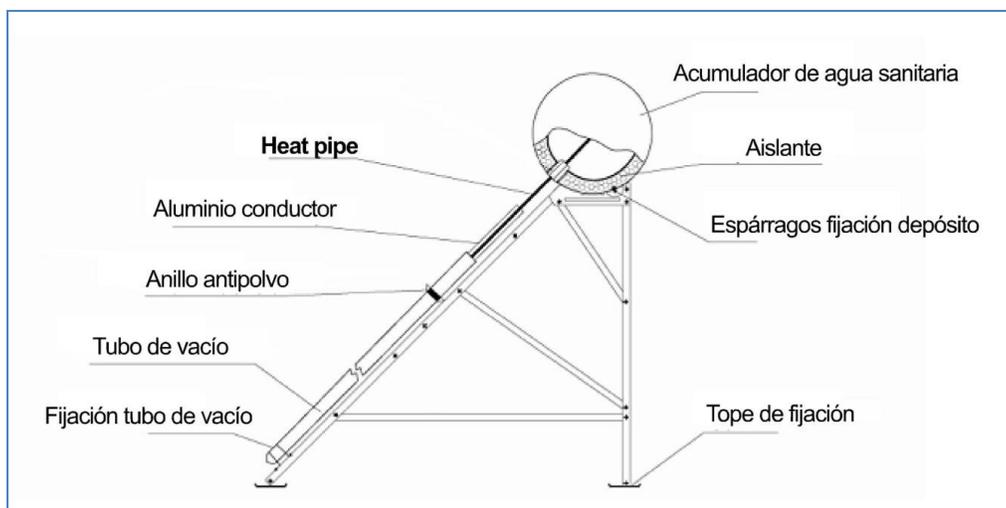


Figura 4.04. Vista lateral de la instalación.

4.4.2 Diagrama de Instalación para un Colector Solar Plano.

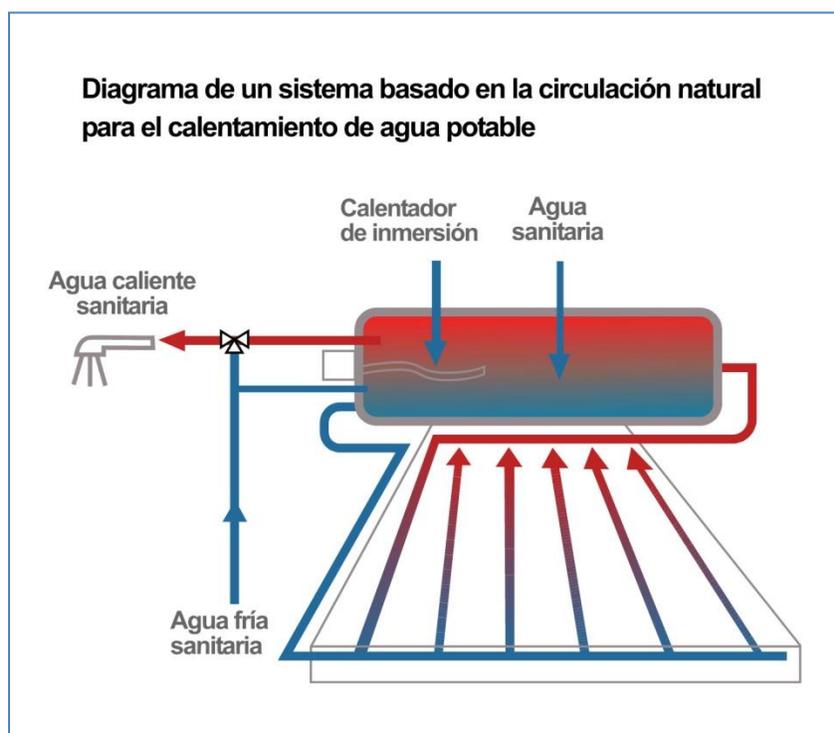


Figura 4.05. Esquema de instalación colector plano.

CAPÍTULO 5

5 REQUERIMIENTOS DE CONSUMO.

5.1 INTRODUCCIÓN.

Para el sistema solar térmico es necesario realizar un análisis de los requerimientos y los factores que intervienen en la selección de este tipo de instalaciones, tales como consumo de agua, temperaturas de operación, demanda energética, etc.

5.2 CÁLCULO DE LAS DEMANDAS.

Para este caso consideraremos la instalación de dos sistemas solares térmicos, prefabricados con el funcionamiento por termosifón.

5.2.1 Determinación del Consumo Volumétrico Diario de A.C.S.

Aplicación del manual de diseño para calentamiento de agua con sistemas solares CDT-Cámara chilena de la construcción.

Tabla 5.01. Criterios de consumo.

Criterio de Consumo	Lts./día	
Viviendas Unifamiliares	40	por persona
Viviendas Multifamiliares	30	por persona
Hospitales y Clínicas	80	por cama
Hoteles (4 Estrellas)	100	por cama
Hoteles (3 Estrellas)	80	por cama
Hoteles/Hostales (2 Estrellas)	60	por cama
Campings	60	por emplazamiento
Hostales/Pensiones (1 Estrella)	50	por cama
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	80	por cama
Vestuarios/Duchas Colectivas	20	por servicio
Escuelas	5	por alumno
Cuarteles	30	por persona
Fábricas y Talleres	20	por persona
Oficinas	5	por persona
Gimnasios	30 a 40	por usuario
Lavanderías	5 a 7	por kilo de ropa
Restaurantes	8 a 15	por comida
Cafeterías	2	por almuerzo

Fuente: Sistemas Solares Térmicos, CDT.

Para nuestro caso se considera el criterio de consumo de fábricas y talleres con una demanda de 20 Lts./día por persona y se estiman tres en el lugar.

$$20 \left(\frac{\text{Lts}}{\text{dia} \cdot \text{persona}} \right) \times 3 \text{ personas} = 60 \text{ Lts}/\text{dia} \times \frac{1}{1000} \text{ m}^3/\text{Lts} = 0,06 \text{ m}^3/\text{dia}$$

5.2.2 Temperatura del agua de red.

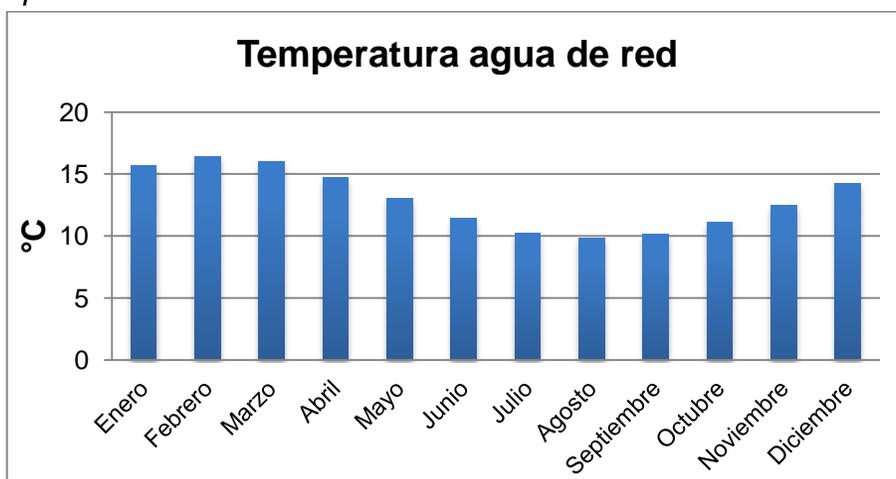
Las temperaturas del agua de la red están tabuladas. Medias mensuales extraídas del manual de diseño para calentamiento de agua con sistemas solares CDT-Cámara de la construcción.

Tabla 5.02. Temperatura media mensual del agua de la red, para Concepción.

	Mes	T agua de red (°C)
1	Enero	15,7
2	Febrero	16,4
3	Marzo	16
4	Abril	14,7
5	Mayo	13
6	Junio	11,4
7	Julio	10,2
8	Agosto	9,8
9	Septiembre	10,1
10	Octubre	11,1
11	Noviembre	12,5
12	Diciembre	14,2
	Media anual	12,93

Fuente: Sistemas Solares Térmicos, CDT.

Gráfico 5.01. Temperatura media mensual del agua de la red, para Concepción.



5.2.3 Cálculo del salto térmico a cubrir.

La diferencia entre la temperatura de acumulación final de A.C.S. y la temperatura del agua de red. Temperatura de agua caliente según RITCH 02.5.1

Tabla 5.03. Temperatura de agua caliente y salto térmico a cubrir.

	Mes	T _{red} (°C)	T _{acumulación} (°C)	Salto Térmico (°C)
1	Enero	15,7	45	29,3
2	Febrero	16,4	45	28,6
3	Marzo	16,0	45	29,0
4	Abril	14,7	45	30,3
5	Mayo	13,0	45	32,0
6	Junio	11,4	45	33,6
7	Julio	10,2	45	34,8
8	Agosto	9,8	45	35,2
9	Septiembre	10,1	45	34,9
10	Octubre	11,1	45	33,9
11	Noviembre	12,5	45	32,5
12	Diciembre	14,2	45	30,8
	Media anual	12,93	45	32,08

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5.02. Comparación entre la temperatura de acumulación y la temperatura de agua de la red.

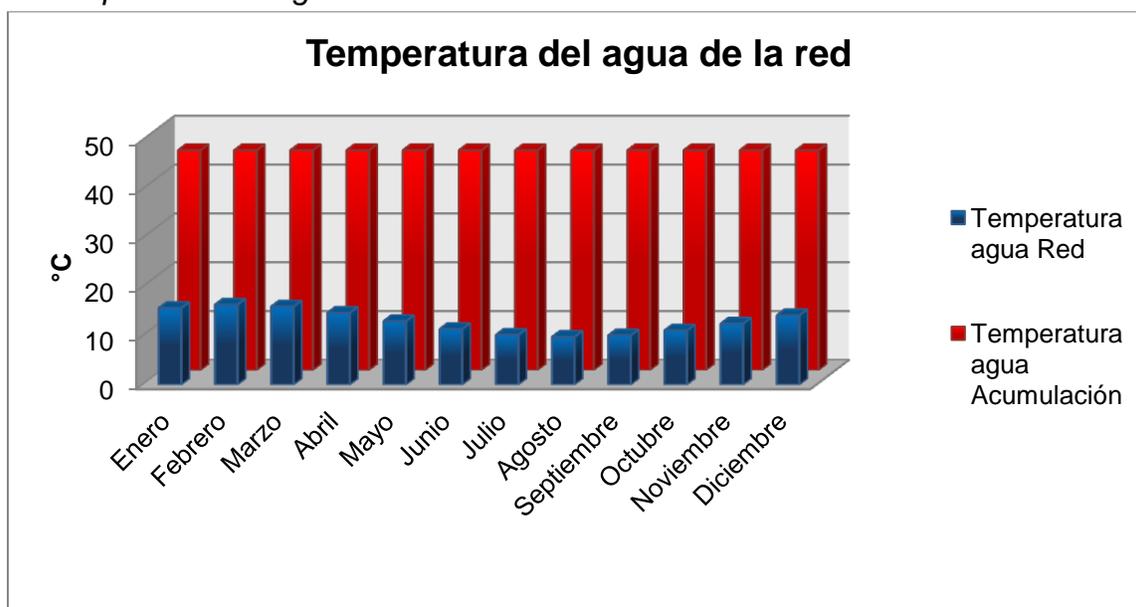
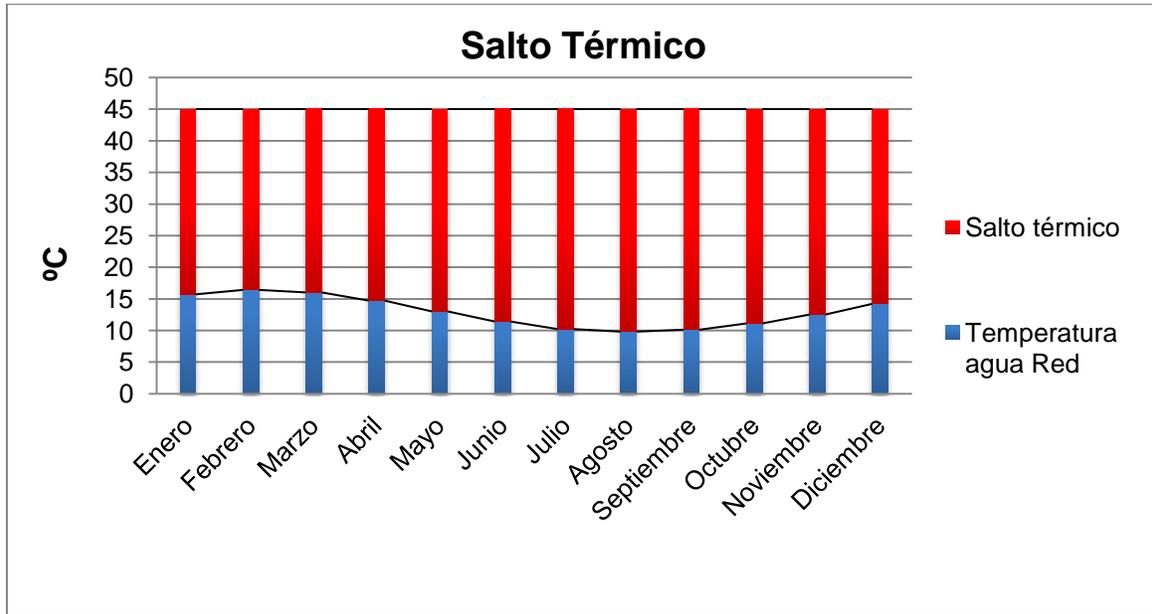


Gráfico 5.03. Salto térmico a cubrir.



5.2.4 Cálculo de la Energía Necesaria para Cubrir el Salto Térmico.

Aplicación de la fórmula de calor $Q_{agua} = m_{agua} \cdot c_{p_{agua}} \cdot \Delta T$

Datos de aplicación:

Densidad del agua: $\rho_{agua} = 1 \left(\frac{g}{cm^3} \right) = 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$

Calor específico del agua: $c_{p_{agua}} = 1 \left(\frac{cal}{g \cdot ^\circ C} \right) = 4186 \left(\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right)$

Ejemplo mes de enero:

$$Q_{Enero} = 0,06 \frac{m^3}{dia} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 4,186 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \times 29,3^\circ C$$

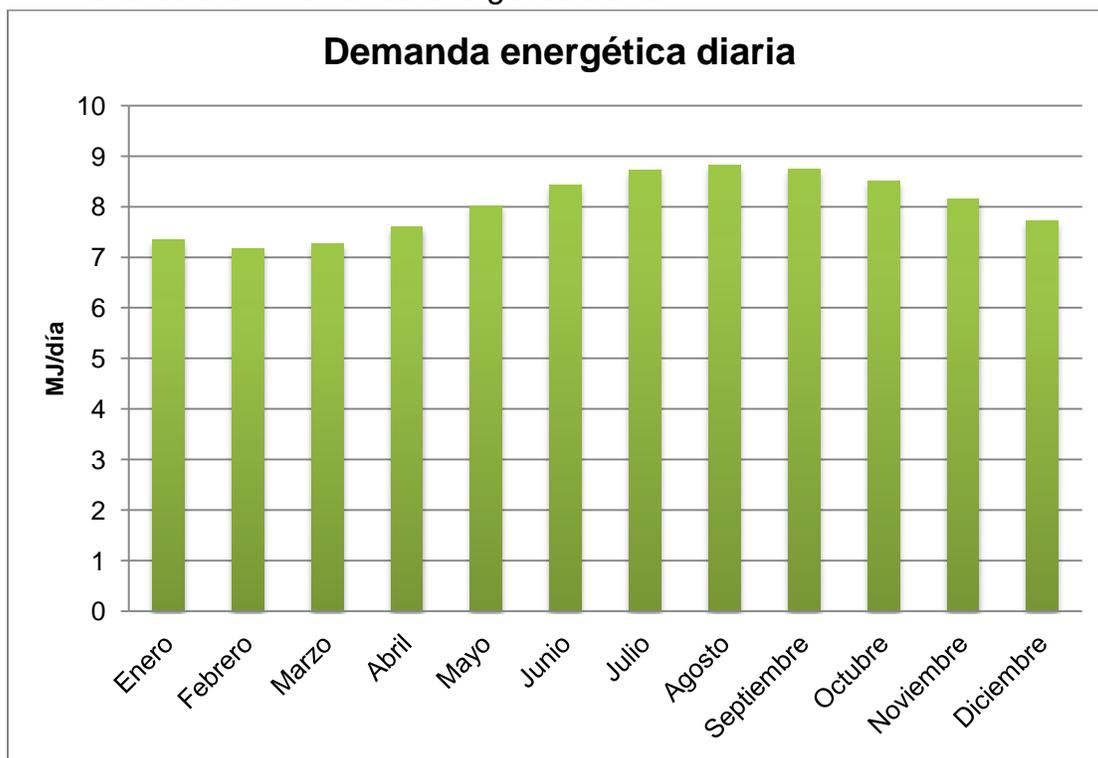
$$Q_{Enero} = 7,3484 \left(\frac{MJ}{dia} \right) \approx 7,35 \left(\frac{MJ}{dia} \right)$$

Tabla 5.04. Demanda energética diaria en (MJ/día).

	Mes	Salto térmico	Demanda energética diaria
1	Enero	29,3	7,35
2	Febrero	28,6	7,17
3	Marzo	29	7,27
4	Abril	30,3	7,60
5	Mayo	32	8,03
6	Junio	33,6	8,43
7	Julio	34,8	8,73
8	Agosto	35,2	8,83
9	Septiembre	34,9	8,75
10	Octubre	33,9	8,50
11	Noviembre	32,5	8,15
12	Diciembre	30,8	7,72

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5.04. Demanda energética diaria.



5.2.5 Cálculo de las demandas energéticas mensuales y anuales.⁵

Tabla 5.05. Demanda energética diaria, mensual y anual.

Mes	día	Demanda energética diaria (MJ/día)	Demanda energética mensual (MJ/mes)	Demanda energética anual (MJ/año)
1	Enero	31	7,35	227,8
2	Febrero	28	7,17	200,8
3	Marzo	31	7,27	225,5
4	Abril	30	7,60	228,0
5	Mayo	31	8,03	248,8
6	Junio	30	8,43	252,8
7	Julio	31	8,73	270,6
8	Agosto	31	8,83	273,7
9	Septiembre	30	8,75	262,6
10	Octubre	31	8,50	263,6
11	Noviembre	30	8,15	244,5
12	Diciembre	31	7,72	239,5

Fuente: Elaboración propia.

5.3 CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA.

5.3.1 Identificación de la Demanda Total Diaria de A.C.S. del Edificio.

Aplicando el reglamento SST ley 20.365: párrafo VIII.- contribución solar mínima por zona, artículo N°23

Tabla 5.06. Contribución solar mínima.

Zona Climática	Radiación Solar Global Media Anual (H) (kWh/m ² año)	Contribución Solar Mínima (%)
A	$1948 \leq H$	75
B	$1701 \leq H < 1948$	66
C	$1454 \leq H < 1701$	57
D	$1208 \leq H < 1454$	48
E	$961 \leq H < 1208$	39
F	$961 < H$	30

Fuente: CNE

Según datos del Registro Solarimétrico⁷, Concepción tiene una radiación promedio de 1504 kWh/m² anual, y corresponde a la zona climática C.

⁵ Se establecen estas demandas para efectos de cálculo más adelante, pues es muy sensible la Demanda Energética Anual a la superficie de captación para la selección del equipo. Son para uso doméstico.

⁶ En rigor este valor es de 1640 MJ/año, considerando un uso de 5 días a la semana por 10 meses.

⁷ Gobierno de Chile - CNE.

5.3.2 Identificación de la Zona Climática Donde se Encuentra la Ciudad.

En Chile el Reglamento SST Ley 20.365 y el Registro Solarimétrico clasifican el porcentaje de cobertura solar en función de la zona climática.

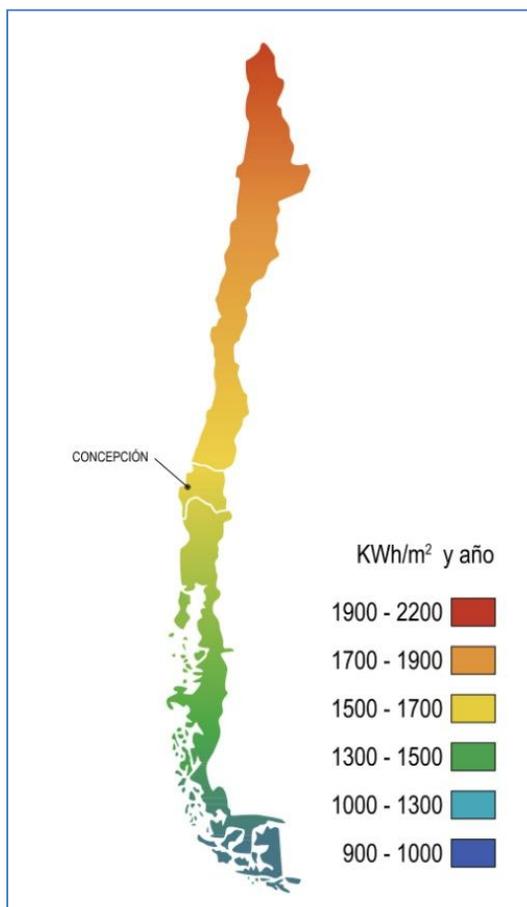


Figura 5.01. Registro Solarimétrico para Chile.

5.3.3 Deducción de la Contribución Solar Mínima.

Para Chile se aplica el reglamento SST Ley 20.365, la cobertura está entre el 30-75% en función de la zona climática. Para este caso y de acuerdo a la contribución solar mínima para cada zona climática, este valor sería del orden del 57%.

5.3.4 Cuantificación de la Contribución Solar Mínima.

Tabla 5.07. Contribución solar mínima para Concepción.

	% (MJ/año)	
Demanda energética anual		2938
Contribución solar mínima anual	57	1675

5.4 CALCULO DE LA IRRADIANCIA.

5.4.1 Irradiación Diaria Media Mensual Sobre Superficie Horizontal.

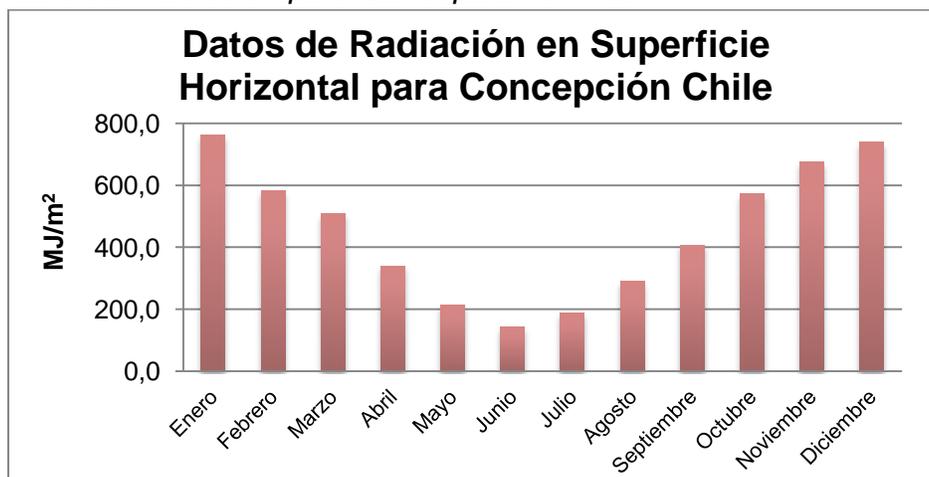
Registro Solarimétrico editado por el gobierno de Chile y la CNE.

Tabla 5.08. Irradiación diaria sobre superficie horizontal.

Mes	Irradiación diaria media mensual sobre superficie horizontal (MJ/m ²)
1 Enero	761,8
2 Febrero	582,1
3 Marzo	510,2
4 Abril	340,0
5 Mayo	214,0
6 Junio	142,1
7 Julio	186,5
8 Agosto	289,7
9 Septiembre	407,6
10 Octubre	572,0
11 Noviembre	676,0
12 Diciembre	740,8
Media diaria anual	14,89

Fuente: Gobierno de Chile – CNE.

Gráfico 5.05. Radiación para Concepción en MJ/m².



5.4.2 Irradiación Diaria Media Mensual Efectiva Sobre Superficie Horizontal (H_e).

Aplicación de coeficientes por suciedad, envejecimiento y no perpendicularidad.

Ejemplo para el mes de enero:

$$H_e = 0,97 \times 0,97 \times 761,8 \left(\frac{MJ}{m^2}\right)$$

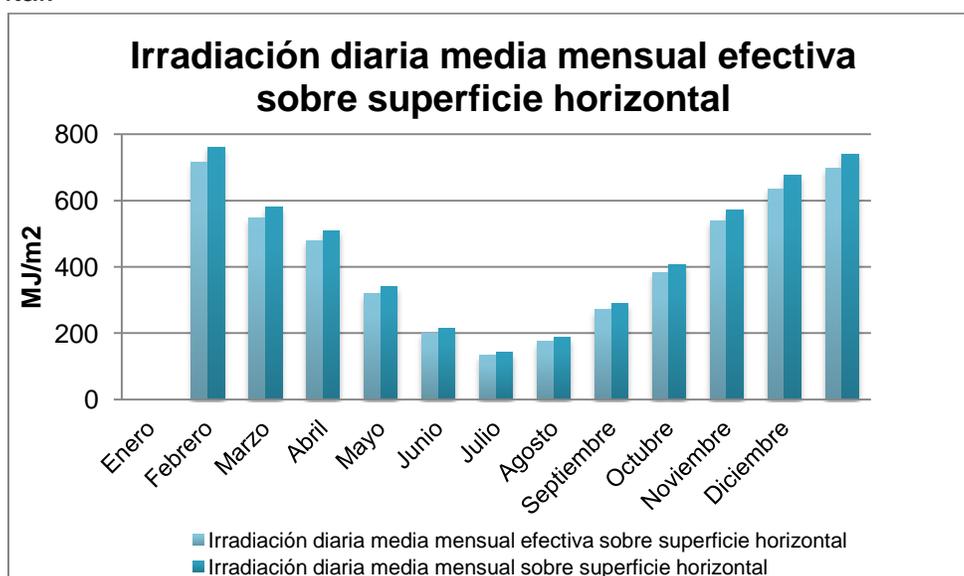
$$H_e = 716,78 \left(\frac{MJ}{m^2}\right)$$

Tabla 5.09. Radiación Efectiva en plano horizontal.

	Mes	H (MJ/m ²)	H _e (MJ/m ²)
1	Enero	761,8	716,78
2	Febrero	582,1	547,70
3	Marzo	510,2	480,05
4	Abril	340,0	319,91
5	Mayo	214,0	201,35
6	Junio	142,1	133,70
7	Julio	186,5	175,48
8	Agosto	289,7	272,58
9	Septiembre	407,6	383,51
10	Octubre	572,0	538,19
11	Noviembre	676,0	636,05
12	Diciembre	740,8	697,02
	Media Anual	14,89	14,01

Fuente: CIMNE, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, UPC.

Gráfico 4.06. Corrección de irradiación diaria media mensual sobre superficie horizontal.



5.4.3 Selección de la Inclinación del Panel Solar.

Los colectores solares se orientan hacia el norte geográfico, pudiéndose admitir desviaciones no mayores que 25° con respecto a dicha orientación.

El ángulo de inclinación de los colectores sobre un plano horizontal se determina en función de la latitud geográfica β y del periodo de utilización de la instalación, de acuerdo con los siguientes valores:

Tabla 5.10. Ángulo de inclinación según el periodo de utilización.

Periodo de utilización	Inclinación de los colectores
Anual, con consumo constante	β°
Preferentemente en invierno	$(\beta+10)^\circ$
Preferentemente en verano	$(\beta-10)^\circ$

Se admiten en cualquiera de los tres casos, desviaciones de $\pm 10^\circ$ como máximo.

Latitud de Concepción: 36.83°S

Inclinación de panel considerada: 45°

Orientación de panel considerada: N

5.4.4 Aplicación del Factor de Inclinación k.

El factor de inclinación es un factor que corrige la irradiación efectiva en una superficie horizontal para un ángulo de inclinación entre 0° y 90° . Para este caso el ángulo corresponde a 45° . Es función de la latitud (Lat. 36°S) y esta tabulado según el Manual de Diseño para el calentamiento de Agua con Sistema Solares CDT.

Tabla 5.11. Factor de inclinación para Lat. 36°S .

	Mes	k de inclinación (45°)
1	Enero	0,85
2	Febrero	0,97
3	Marzo	1,17
4	Abril	1,44
5	Mayo	1,71
6	Junio	1,86
7	Julio	1,78
8	Agosto	1,53
9	Septiembre	1,24
10	Octubre	1,02
11	Noviembre	0,87
12	Diciembre	0,81

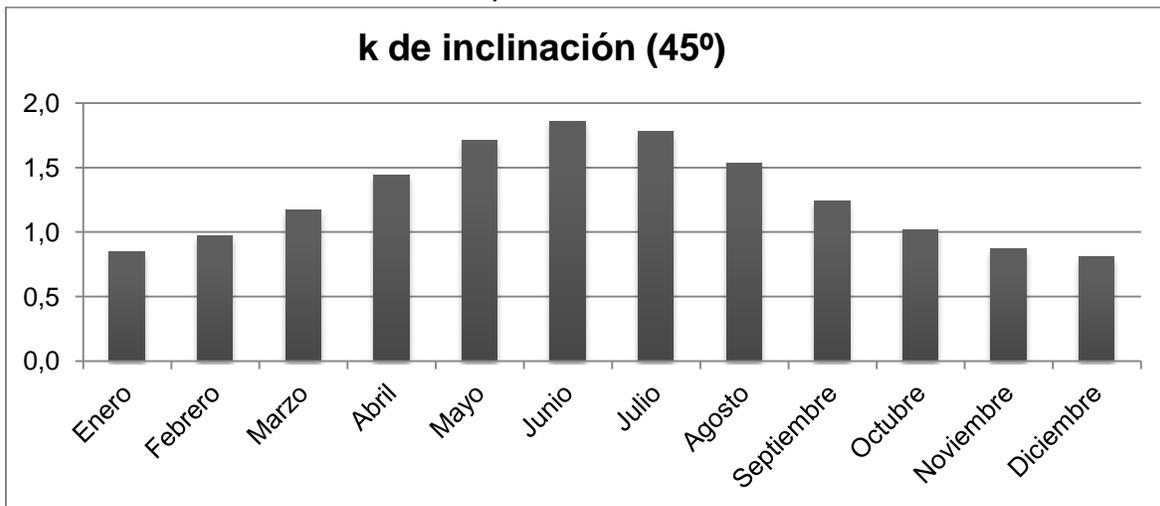
Fuente: Sistemas Solares Térmicos, CDT.

Tabla 5.12. Extracto factor de inclinación.

Lat = 36° S		Mes											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inclinación	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	1,01	1,02	1,04	1,08	1,11	1,12	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01	1,00
	10	1,00	1,04	1,08	1,14	1,21	1,24	1,22	1,17	1,10	1,05	1,01	1,00
	15	1,00	1,04	1,12	1,21	1,30	1,35	1,32	1,24	1,14	1,06	1,01	0,98
	20	0,99	1,05	1,14	1,27	1,39	1,45	1,42	1,31	1,17	1,07	1,00	0,97
	25	0,97	1,04	1,16	1,32	1,47	1,55	1,51	1,37	1,20	1,07	0,98	0,95
	30	0,95	1,04	1,17	1,36	1,54	1,64	1,59	1,42	1,22	1,07	0,96	0,92
	35	0,92	1,02	1,18	1,39	1,61	1,72	1,66	1,46	1,24	1,06	0,94	0,89
	40	0,89	1,00	1,18	1,42	1,66	1,79	1,73	1,50	1,25	1,04	0,91	0,85
	45	0,85	0,97	1,17	1,44	1,71	1,86	1,78	1,53	1,24	1,02	0,87	0,81
	50	0,81	0,94	1,16	1,45	1,75	1,91	1,82	1,55	1,24	0,99	0,83	0,77

Fuente: Sistemas Solares Térmicos, CDT.

Gráfico 4.07. Factor de inclinación para Lat. 36°S



Aplicación del factor de corrección k:

Ejemplo para el mes de enero:

$$H_{e-45^\circ} = H_e \times k$$

$$H_{e-45^\circ} = 716,78 \times 0,85$$

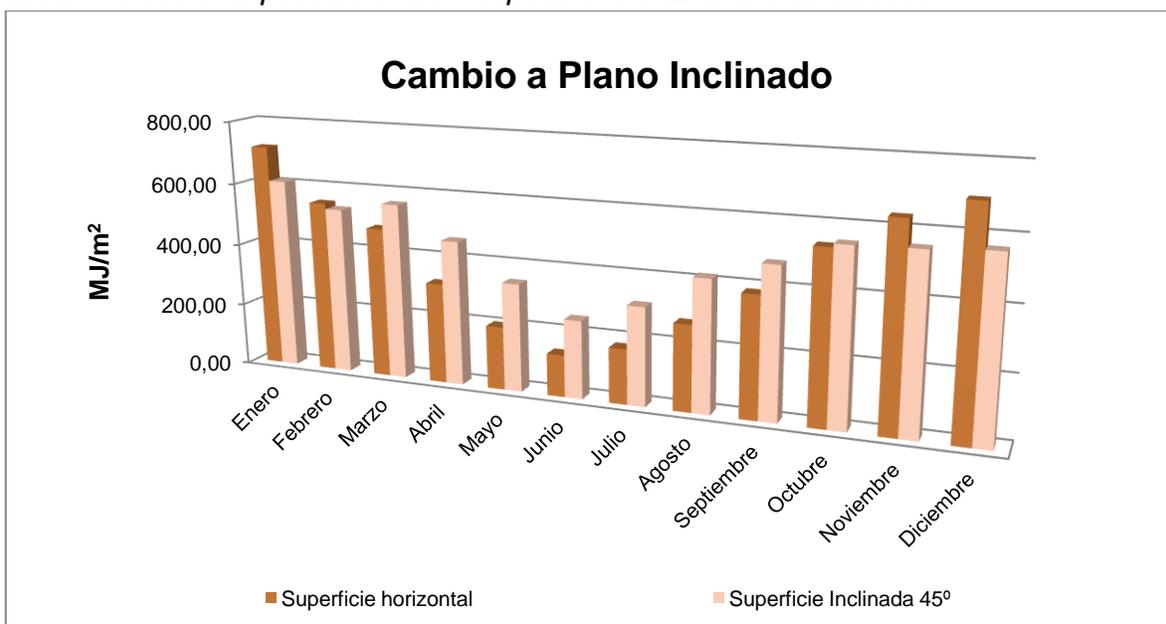
$$H_{e-45^\circ} = 609,26 \text{ MJ/m}^2$$

Tabla 5.13. Irradiación efectiva corregida.

	Mes	k de inclinación (45°)	H _e (MJ/m ²)	H _{e-45°} (MJ/m ²)
1	Enero	0,85	716,78	609,26
2	Febrero	0,97	547,70	531,27
3	Marzo	1,17	480,05	561,66
4	Abril	1,44	319,91	460,66
5	Mayo	1,71	201,35	344,31
6	Junio	1,86	133,70	248,69
7	Julio	1,78	175,48	312,35
8	Agosto	1,53	272,58	417,05
9	Septiembre	1,24	383,51	475,55
10	Octubre	1,02	538,19	548,96
11	Noviembre	0,87	636,05	553,36
12	Diciembre	0,81	697,02	564,59
	Media anual	1,27	14,01	17,80

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5.08. Comparación entre superficie horizontal e inclinada.



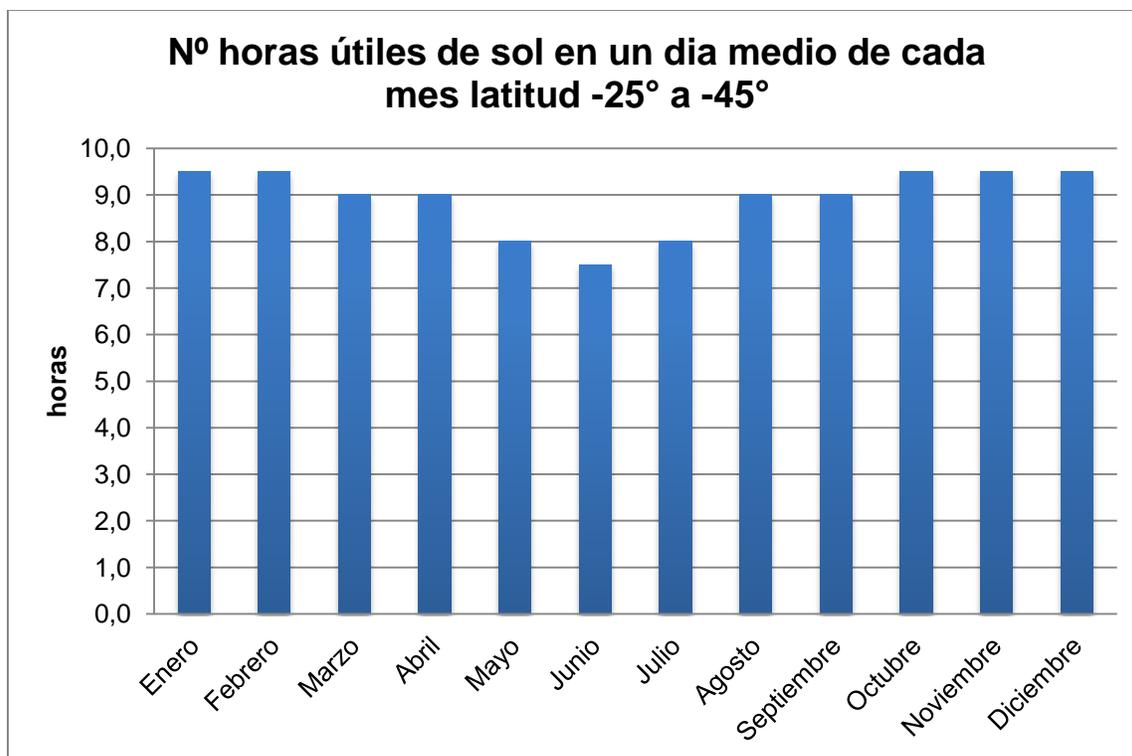
5.4.5 Determinación de las Horas Útiles de Sol en un Día Medio Cada Mes.

Tabla 5.14. Horas útiles de Sol.

Mes	N° horas útiles de sol en un día medio de cada mes latitud -25° a -45°	N° horas útiles de sol en un día medio de cada mes latitud 25° a -25°
1 Enero	9,5	8,75
2 Febrero	9,5	9,25
3 Marzo	9,0	9,50
4 Abril	9,0	9,25
5 Mayo	8,0	8,75
6 Junio	7,5	8,50
7 Julio	8,0	8,75
8 Agosto	9,0	9,25
9 Septiembre	9,0	9,50
10 Octubre	9,5	9,25
11 Noviembre	9,5	8,75
12 Diciembre	9,5	8,50

Fuente: CENSOLAR.

Gráfico 5.09. Horas útiles de Sol.



Fuente: CENSOLAR, Centro de Estudios de la Energía Solar.

5.4.6 Cálculo de la intensidad útil en un día medio de cada mes, Irradiancia.

Ejemplo de cálculo para el mes de Enero:

$$I_{45^\circ} = \frac{H_{e-45^\circ}}{t}$$

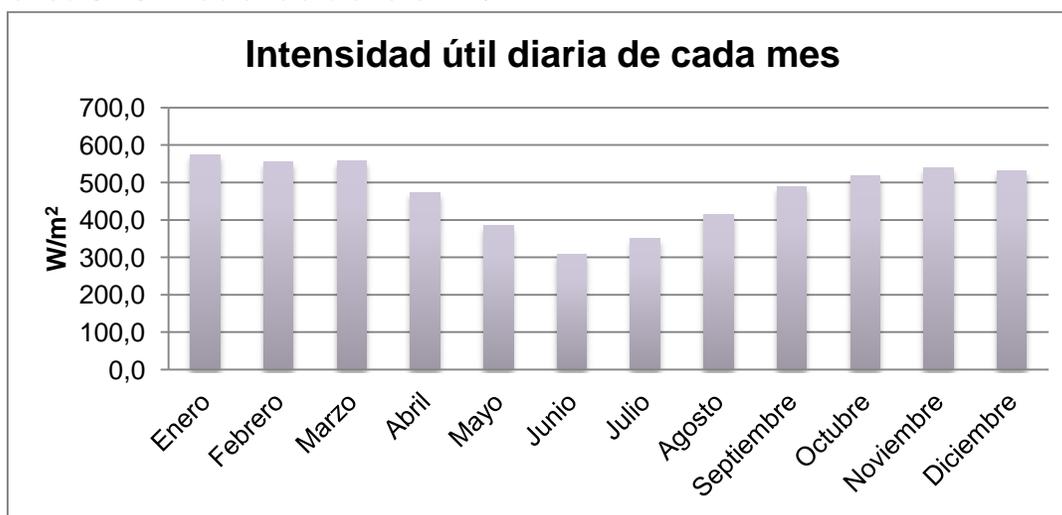
$$I_{45^\circ} = \frac{19,65 \text{ (MJ/m}^2\text{)}}{9,5 \times 3600 \text{ (s)}} = 574,7 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Tabla 5.15. Irradiancia diaria en W/m².

Mes	H _{e-45°} (MJ/m ²)	Nº hrs de sol	I _{45°} (W/m ²)
1 Enero	19,65	9,5	574,7
2 Febrero	18,97	9,5	554,8
3 Marzo	18,12	9,0	559,2
4 Abril	15,36	9,0	473,9
5 Mayo	11,11	8,0	385,7
6 Junio	8,29	7,5	307,0
7 Julio	10,08	8,0	349,9
8 Agosto	13,45	9,0	415,2
9 Septiembre	15,85	9,0	489,3
10 Octubre	17,71	9,5	517,8
11 Noviembre	18,45	9,5	539,3
12 Diciembre	18,21	9,5	532,5
Media anual	15,44	8,9	474,9

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5.10. Irradiancia diaria en W/m².



CAPITULO 6

6 SELECCIÓN DEL COLECTOR.

6.1 INTRODUCCION.

Se seleccionan dos tipos de colectores solares, ambos son prefabricados, pero con diferente tecnología de funcionamiento. Se determina que el colector de tubos de vacío Heat-Pipe, que opera con la presión de la red y del cual se calculan los rendimientos instantáneos para cada mes, según el aporte solar correspondiente.

Para el caso del segundo colector solar, se selecciona uno del tipo placa plana, éste a diferencia del anterior no aplica el cálculo de los rendimientos instantáneos, por ser un sistema térmico solar, que funciona con flujo directo y por termosifón.

6.2 CÁLCULO DEL APORTE SOLAR.

6.2.1 Determinación de la Temperatura Ambiente.

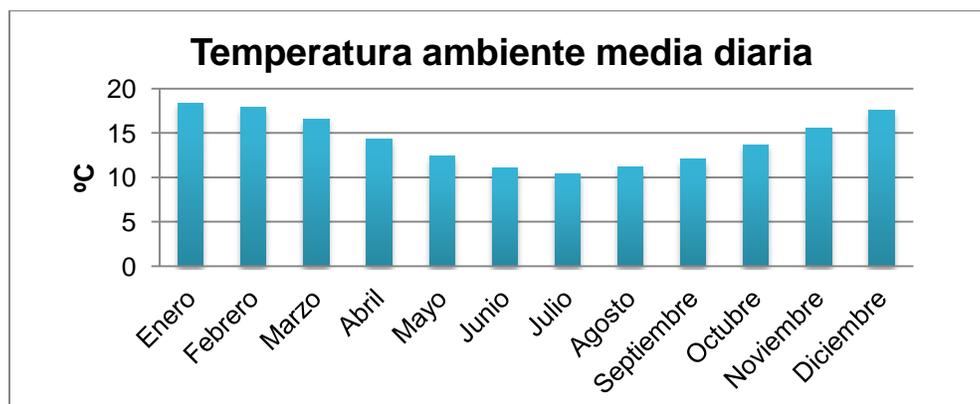
Tabulado según localización en el Anexo X del Manual de Diseño para Calentamiento de Agua con Sistemas Solares CDT-Cámara Chilena de la Construcción, tabla 18

Tabla 6.01. Extracto Temperaturas ambiente para Lat. 37° Concepción

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Curicó	25,2	24,5	20,9	15,9	12,2	10,3	8,8	10,9	13,7	16,7	20,2	23,5	16,9
Chillán	25,0	24,2	20,7	16,6	12,7	10,0	8,9	11,7	13,5	16,6	19,2	22,8	16,8
Concepción	18,4	17,9	16,6	14,3	12,4	11,1	10,4	11,2	12,1	13,7	15,6	17,6	14,3
Temuco	18,3	18,4	16,2	13,2	11,0	9,4	8,6	9,7	10,9	12,9	14,7	16,9	13,3

Fuente: Sistemas Solares Térmicos, CDT.

Gráfico 6.01. Temperatura ambiente media diaria para cada mes durante las horas de Sol.



6.3 SELECCIÓN DEL COLECTOR SOLAR TÉRMICO.

Tabla 6.02.

Selección del colector solar térmico			
			Unidad
Marca		CHISOL	-
Modelo		CHI-CHP 20	-
Superficie de apertura		1,69	m ²
Curva de rendimiento instantáneo	T de referencia del fluido caloportador	(T _{med})	°C
	Expresión	$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot x - a_2 \cdot x^2$	tanto por uno
	η : rendimiento instantáneo		tanto por uno
		Valor	Unidad
Parámetros	η_0 : rendimiento óptico	0,717	tanto por uno
	a_1 : coeficiente 1 de pérdidas	1,5281	W/(m ² ·°C)
	$x = \frac{T_{med} - T_a}{G}$		(m ² °C/W)
	T _a : T ambiente		°C
	T _{med} : T media fluido caloportador		°C
	G: Irradiancia		W/m ²
	a_2 : coeficiente 2 de pérdidas	0.0156	[W/(m ² ·°C)] ²

Fuente: SOLENERGY.

6.4 CÁLCULO DEL PARAMETRO x, x².

Ejemplo para el mes de Enero:

Para el parámetro x:

$$x = \frac{T_{med} - T_{amb}}{I_{45^\circ}} = \frac{45^\circ C - 18,4^\circ C}{574,7 W/m^2}$$

$$x = 0,046 \left(\frac{^\circ C m^2}{W} \right)$$

Para el parámetro x²:

$$x^2 = \left[0,046 \left(\frac{^\circ C m^2}{W} \right) \right]^2 = 0,002 \left(\frac{^\circ C m^2}{W} \right)^2$$

Tabla 6.03. Cálculo de los parámetros x , x^2 .

	Mes	T_{med} (°C)	T_{amb} (°C)	$T_{med}-T_{amb}$ (°C)	I_{45° (W/m ²)	x (m ² °C/W)	x^2 (m ² °C/W) ²
1	Enero	45	18,4	26,6	574,7	0,046	0,002
2	Febrero	45	17,9	27,1	554,8	0,049	0,002
3	Marzo	45	16,6	28,4	559,2	0,051	0,003
4	Abril	45	14,3	30,7	473,9	0,065	0,004
5	Mayo	45	12,4	32,6	385,7	0,085	0,007
6	Junio	45	11,1	33,9	307,0	0,110	0,012
7	Julio	45	10,4	34,6	349,9	0,099	0,010
8	Agosto	45	11,2	33,8	415,2	0,081	0,007
9	Septiembre	45	12,1	32,9	489,3	0,067	0,005
10	Octubre	45	13,7	31,3	517,8	0,060	0,004
11	Noviembre	45	15,6	29,4	539,3	0,055	0,003
12	Diciembre	45	17,6	27,4	532,5	0,051	0,003
	Media anual	45	14,3	30,725	474,9	0,065	0,004

Fuente: Elaboración propia.

6.5 CÁLCULO DEL RENDIMIENTO INSTANTANEO.

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot x - a_2 \cdot x^2$$

Ejemplo de cálculo para el mes de Enero:

Donde:

$$\eta_0 = 0,717.$$

$$a_1 = 1,5281 \left(\frac{W}{^\circ C m^2} \right).$$

$$x = 0,046 \left(\frac{^\circ C m^2}{W} \right).$$

$$a_2 = 0,0156 \left(\frac{W}{^\circ C m^2} \right)^2.$$

$$x^2 = 0,002 \left(\frac{^\circ C m^2}{W} \right)^2.$$

$$\eta = 0,717 - 1,5281 \cdot 0,046 - 0,0156 \cdot 0,002^2$$

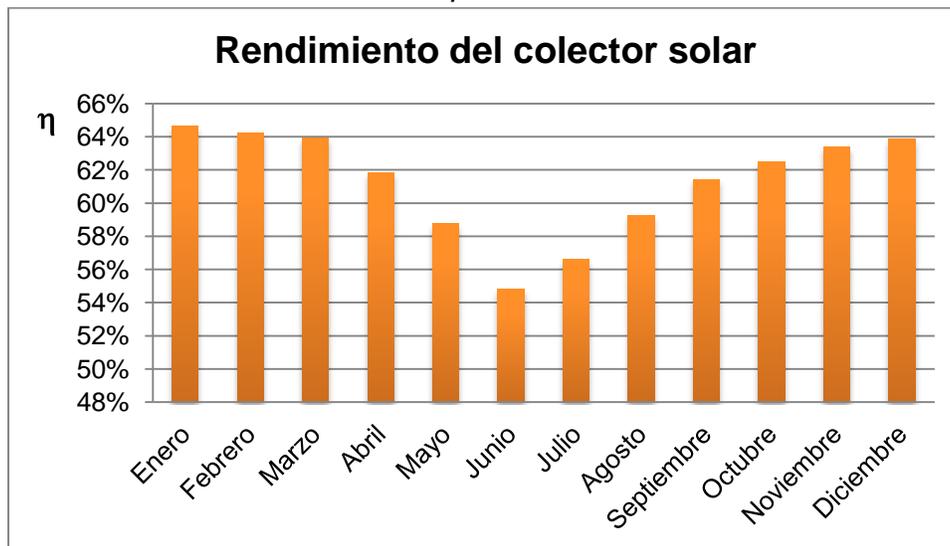
$$\eta = 0,646 = 64,6\%$$

Tabla 6.04. Rendimiento colector para cada mes.

	Mes	Intensidad Útil diaria, I_{45° (W/m ²)	x	x ²	η (%)
1	Enero	574,7	0,046	0,002	64,6
2	Febrero	554,8	0,049	0,002	64,2
3	Marzo	559,2	0,051	0,003	63,9
4	Abril	473,9	0,065	0,004	61,8
5	Mayo	385,7	0,085	0,007	58,8
6	Junio	307,0	0,110	0,012	54,8
7	Julio	349,9	0,099	0,010	56,6
8	Agosto	415,2	0,081	0,007	59,3
9	Septiembre	489,3	0,067	0,005	61,4
10	Octubre	517,8	0,060	0,004	62,5
11	Noviembre	539,3	0,055	0,003	63,4
12	Diciembre	532,5	0,051	0,003	63,8
	Media anual	474,9	0,065	0,004	61,8

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 6.02. Rendimiento del colector para cada mes.



6.6 APORTE SOLAR.

Ejemplo de cálculo para el mes de Enero:

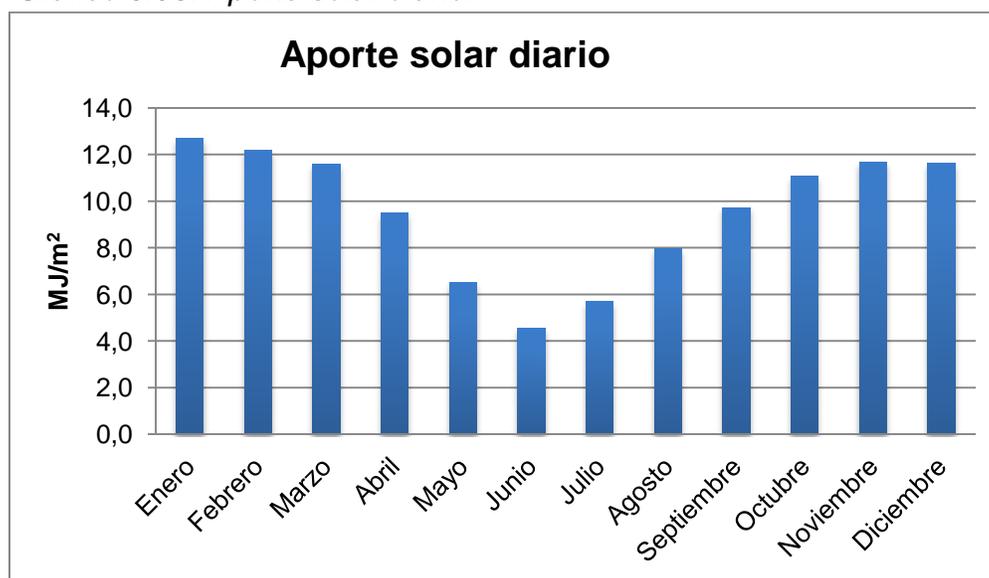
$$A_S = H_{e-45^\circ} \times \eta$$

$$A_S = 19,7 \times 0,646 = 12,7 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \right)$$

Tabla 6.05. Aporte solar diario.

	Mes	H_{e-45° (MJ/m ²)	η (%)	Aporte solar diario (MJ/m ²)
1	Enero	19,7	0,646	12,7
2	Febrero	19,0	0,642	12,2
3	Marzo	18,1	0,639	11,6
4	Abril	15,4	0,618	9,5
5	Mayo	11,1	0,588	6,5
6	Junio	8,3	0,548	4,5
7	Julio	10,1	0,566	5,7
8	Agosto	13,5	0,593	8,0
9	Septiembre	15,9	0,614	9,7
10	Octubre	17,7	0,625	11,1
11	Noviembre	18,4	0,634	11,7
12	Diciembre	18,2	0,638	11,6
	Media anual	15,4	0,613	9,57

Gráfico 6.03. Aporte solar diario.



6.7 ENERGÍA UNITARIA DISPONIBLE.

Ejemplo de cálculo para mes de Enero:

$$E_{neta} = A_s \times (1 - 0,25)$$

$$E_{neta} = 12,7 \left(\frac{MJ}{m^2} \right) \times (1 - 0,25) = 9,53 \left(\frac{MJ}{m^2} \right)$$

Energía neta mensual:

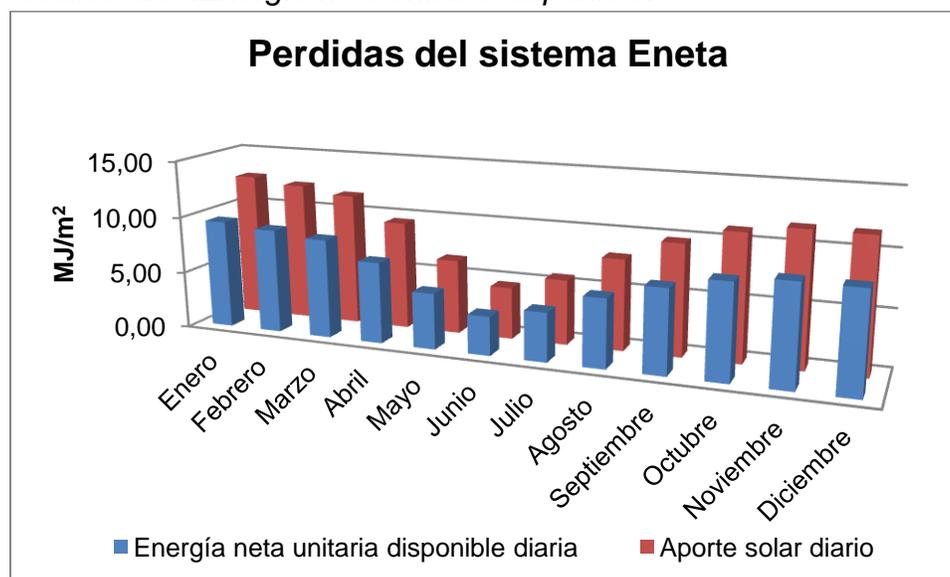
$$E_{neta} = 9,53 \left(\frac{MJ}{m^2} \right) \times 31 = 295,4 \left(\frac{MJ}{m^2} \right)$$

Tabla 6.06. Energía neta unitaria disponible diaria y mensual.

	Mes	Aporte solar diario (MJ/m ²)	Perdidas del sistema ⁸	E _{neta} unitaria disponible diaria (MJ/m ²)	E _{neta} unitaria disponible mensual (MJ/m ²)
1	Enero	12,7	0,25	9,53	295,31
2	Febrero	12,2	0,25	9,14	255,95
3	Marzo	11,6	0,25	8,69	269,34
4	Abril	9,5	0,25	7,12	213,52
5	Mayo	6,5	0,25	4,90	151,80
6	Junio	4,5	0,25	3,41	102,26
7	Julio	5,7	0,25	4,28	132,56
8	Agosto	8,0	0,25	5,98	185,36
9	Septiembre	9,7	0,25	7,30	219,08
10	Octubre	11,1	0,25	8,30	257,17
11	Noviembre	11,7	0,25	8,77	263,00
12	Diciembre	11,6	0,25	8,72	270,31
	Media anual	9,6	0,25	7,18	217,97
	Total Anual				2615,66

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6.04. Energía neta unitaria disponible.



⁸ Estimación según: CIMNE/UPC. Para sistemas Heat-Pipe, presión de red.

6.8 CÁLCULO DE LA SUPERFICIE MÍNIMA NECESARIA DE CAPTACIÓN.

$$S_{captación} = \frac{1675 \left(\frac{MJ}{año} \right)}{2615 \left(\frac{MJ}{m^2 \text{ año}} \right)} = 0,64 \text{ (m}^2\text{)}$$

Tabla 6.07. Superficie mínima necesaria.

	%	MJ/año	MJ/m ² año	m ²
Demanda energética anual		2938		
Contribución solar mínima anual	57	1675		
E neta unitaria disponible anual			2615	
Superficie necesaria de captación				0,64

6.9 CÁLCULO DE LA CANTIDAD NECESARIA DE CAPTADORES.

Tabla 6.08. Cantidad de captadores.

	m ²	ud
Superficie necesaria	0,64	
Superficie unitaria	1,69	
Cantidad necesaria de captadores		0,38
Cantidad escogida de captadores		1,00

6.10 CÁLCULO DE LA COBERTURA.

Ejemplo de cálculo para el mes de Enero:

$$Cobertura = \frac{E_{neta} \times S_{colector}}{Demanda} \times 100\%$$

$$Cobertura = \frac{295,31 \left(\frac{MJ}{m^2} \right) \times 1,69 \text{ (m}^2\text{)}}{227,8 \text{ (MJ)}} \times 100\% = 219,1\%$$

Tabla 6.09. Cobertura solar para cada mes.

Mes	Demanda mensual (MJ)	E_{neta} unitaria disponible (MJ/m^2)	E_{neta} disponible campo de captación (MJ)	Cobertura (%)
1 Enero	227,8	295,31	499,1	219,1%
2 Febrero	200,8	255,95	432,6	215,4%
3 Marzo	225,5	269,34	455,2	201,9%
4 Abril	228,0	213,52	360,9	158,3%
5 Mayo	248,8	151,80	256,5	103,1%
6 Junio	252,8	102,26	172,8	68,4%
7 Julio	270,6	132,56	224,0	82,8%
8 Agosto	273,7	185,36	313,3	114,5%
9 Septiembre	262,6	219,08	370,2	141,0%
10 Octubre	263,6	257,17	434,6	164,9%
11 Noviembre	244,5	263,00	444,5	181,8%
12 Diciembre	239,5	270,31	456,8	190,8%
Anual	2938,1		4420,5	150,5%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6.05. Cobertura solar.



CONCLUSIONES

Análisis de conclusiones respecto a los objetivos planteados en el Seminario de Título

En primer lugar, se logra visualizar el cumplimiento de un objetivo, el cual era la evaluación de dos sistemas solares de agua caliente sanitaria, para el laboratorio de Termofluidos del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Bío-Bío que, sin embargo, pese al logro que se obtuvo, se enfrentó a varias circunstancias decisivas, como por ejemplo el tipo de colectores a utilizar, teniendo en cuenta las tecnologías existentes en la Región. Además, cabe mencionar la selección de un colector de tubos de vacío, Heat-Pipe y un colector de Placa Plana, siendo éste último considerado en el actual mercado como una tecnología antigua en comparación con los sistemas de tubos de vacío, que se comportan más eficientes que los mencionados.

Una de las ventajas de los colectores de tubos de vacío, es la alta eficiencia energética de un 64,6% en el mes de mayor aporte solar y un 54,8% en el mes más desfavorable, esto por la geometría que presentan, reciben la radiación del Sol desde la salida, por la mañana, hasta cuando se esconde, en la tarde. Además, de esta ventaja, el vacío que existe entre ambos tubos minimiza las pérdidas por convección. En el caso de los colectores de placa plana, poseen la desventaja de ser ineficiente en temporadas de mayor demanda energética o cuando existe radiación difusa, algo contrario en el caso de tubos al vacío, que son muy eficientes en estas condiciones.

En segundo lugar, se determinan los rendimientos instantáneos para cada mes, del colector solar Heat- Pipe, mediante los coeficientes de pérdidas térmicas por superficie de absorción y el rendimiento óptico, ambos proporcionados por el fabricante o distribuidor. Para el caso del colector de placa plana, este cálculo no es posible, pues el método no se aplica para sistemas solares térmicos por termosifón.

Para finalizar, la propuesta satisface ampliamente la demanda de energía, pues la energía disponible mensual de cada mes, es superior salvo el mes de junio, en donde la demanda energética es levemente inferior a la disponible. Para tal caso, se considera la existencia de una energía de apoyo como un calefón. Además, se contempla la importancia de innovar en energías limpias como la solar, que es abundante y de carácter gratuito, al igual que muchas otras energías disponibles.

OBSERVACIONES GENERALES

No se consideran costos por tratarse de una propuesta y evaluación técnica de equipos. Además, estas tecnologías están disponibles con distintos distribuidores dentro de la Región del Bío-Bío.

Los colectores Heat-Pipe pueden tener en su interior glicol, un fluido que tiene un elevado punto de ebullición que sirve como anticongelante, con esto se reduce la mantención a cambios de tubos por ruptura de alguno.

Por otro lado, los colectores de Placa Plana, es una tecnología que tiene más de 40 años en el mercado y está siendo reemplazada por la tecnología de tubos de vacío. A temperaturas muy bajas se congela el agua en su interior. En general presenta una vida útil de 25 años.

Cada distribuidor de estos colectores prefabricados, proporciona toda la instalación, además de los accesorios correspondientes como válvulas de alivio, sensores controladores, válvulas de corte, válvulas check antiretorno, válvula mezcladora y cañerías con aislación térmica.

Los cálculos de la demanda de energía mensual, se consideran para una vivienda familiar, pero en rigor el uso del agua caliente sanitaria en el laboratorio de Termofluidos está determinado para 10 meses distribuidos en 5 días por semana.

BIBLIOGRAFÍA

Corporación del Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción. Sistemas Solares Térmicos: Manual de diseño para el calentamiento de agua. 1ª edición octubre 2007. 144 p.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ministerio de Energía. Sistemas Solares Térmicos II: Guía de diseño e instalación para grandes sistemas de agua caliente sanitaria. 1ª edición diciembre 2010. 238 p.

Comisión Nacional de Energía (CNE), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Universidad Técnico Federico Santa María. Registro Solarimétrico. 1ª edición 2008. 248 p.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios en Chile, RITCH. Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización. Marzo 2007

Referencias:

- **UPC**, Universidad Politécnica de Catalunya.
<http://www.upc.edu/>
- **CDT**, Corporación del Desarrollo Tecnológico.
www.cdt.cl/
- **CNE**, Comisión Nacional de Energía.
<http://www.cne.cl/>
- Ministerio de Energía.
<http://www.minenergia.cl/>
- **CER**, Centro de Energías Renovables, del Ministerio de Energía.
<http://cer.gob.cl/>
- **AChEE**, Agencia Chilena de Eficiencia Energética.
<http://www.acee.cl/>
- **ECOFYS**
<http://www.ecofys.com/>
- Instalaciones Solares Térmicas, CIMNE – CDT- CORFO.
- SOLENERGY.
- Catalogo Colector Heat-Pipe CHISOL.
- Catalogo Colector Plano SONENKRAFT.