



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

“Diseño de un Sistema de Calentamiento de Agua con Energía Solar Térmica”

Tesis para optar por el grado de:

Licenciatura en Ingeniería Química

**Presenta:** Jesus Heriberto Lara Juárez

**Asesor:** I.Q. Delfino Galicia Ramírez

México, Ciudad de México, Septiembre de 2017

Aprobó y Revisó

---



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.

## Índice

1	Marco teórico.....	1
1.1	El papel que juega la energía en la historia humana .....	1
1.2	Definición de energía .....	2
1.3	Fuentes energéticas .....	4
1.4	Energía renovable.....	5
1.4.1	Energía solar .....	6
1.4.2	Energía eólica .....	8
1.4.3	Energía geotérmica .....	9
1.4.4	Energía hidráulica .....	10
1.4.5	Biomasa .....	11
1.5	Nuevas energías renovables .....	13
1.5.1	Fusión nuclear.....	13
1.5.2	Energía oceánica .....	15
1.5.3	Hidrógeno: .....	17
1.6	Aporte energético Solar.....	19
1.7	La medición de la energía del sol: la constante solar.....	20
1.8	La radiación solar terrestre.....	21
1.9	El clima solar en México.....	22

1.10	Panorama político para las energías renovables en Mexico .....	23
1.10.1	La tecnología Solar en México.....	25
1.11	Sistemas de calentamiento de agua caliente sanitaria (ACS).....	26
1.11.1	Equipo doméstico.....	27
1.11.2	Calentador Solar de Alto Consumo.....	29
1.12	Sistemas de captación solar térmica .....	31
1.12.1	Tipología de captadores solares. ....	31
1.12.2	Clasificación de las instalaciones solares térmicas .....	40
1.12.3	Clasificación según el principio de circulación.....	41
1.12.4	Sistema de expansión. ....	43
1.12.5	Sistema de intercambio de calor.....	45
1.12.6	Tipos de sistema Auxiliar de energía. ....	47
1.12.7	Clasificación según la aplicación. ....	49
1.12.8	Dimensionamiento de un sistema de Agua caliente sanitaria (ACS).....	51
1.12.9	Criterios generales del diseño hidráulico. ....	52
1.12.10	Diseño del sistema de intercambio de calor .....	58
1.12.11	Clasificación de los elementos de intercambio de calor. ....	58
1.12.12	Diseño y cálculo del sistema de intercambio externo .....	63
1.12.13	Sistemas de intercambio interno. ....	65
1.12.14	El sistema de acumulación. ....	66

1.12.15	Diseño del termotanque.....	76
1.13	El subsistema de control.....	78
1.13.1	El sistema de control .....	79
1.13.2	El control de carga.....	80
1.13.3	Requisitos del proyecto .....	87
1.13.4	Monitorización. ....	88
1.13.5	Equipos de medida .....	90
1.14	Seguridad en las instalaciones solares térmicas. ....	93
1.15	Higiene en las instalaciones solares térmicas. ....	95
2	Objetivos.....	97
2.1	Objetivos generales .....	97
2.2	Objetivos particulares.....	97
3	Diseño del sistema.....	99
3.1	Cálculo de volumen de agua .....	99
3.1.1	Criterios de diseño del termotanque .....	99
3.1.2	Selección del termotanque .....	100
3.2	Diseño del circuito principal .....	104
3.2.1	Cálculo de la cantidad de la demanda energética .....	104
3.2.2	Eficiencia del colector solar.....	105
3.2.3	Cálculo del área de captación .....	108

3.2.4	Orientación e inclinación de colectores .....	110
3.2.5	Distancia entre colectores .....	110
3.2.6	Conexión del campo de colectores .....	110
3.2.7	Distribución de los colectores en la azotea .....	110
3.2.8	Diseño de la tubería .....	111
3.2.9	Cálculo y selección de la bomba.....	113
3.3	Diagrama de flujo de proceso.....	120
3.1.1	Descripción del proceso .....	121
3.2	Diagrama de tubería e instrumentación.....	121
3.3	Filosofía de operación .....	124
4	Análisis económico .....	126
4.1	Costo anual del gas.....	126
4.1.1	Cotización del equipo .....	128
4.1.2	Retorno de inversión.....	131
5	Huella Ecológica.....	133
6	Conclusiones.....	137
	Anexo 1. Insolación de México <b><i>KWh dia · m2</i></b> .....	139
	Anexo2 Ficha técnica Heat Pipe .....	140
	Anexo 3 Pérdida de carga en la tubería de Tuboplus .....	141
	Anexo 4 Coeficientes de resistencia por accesorios de Tuboplus .....	142

Bibliografia ..... 144

## Introducción

Actualmente las grandes ciudades, entre ellas la ciudad de México, cuentan con altos niveles demográficos, esto ha disparado los niveles de contaminación, registrándose así los más altos en la historia de la humanidad, esto da como resultado problemas a la salud humana, la ecología y la economía, con un alza en los precios de los energéticos como gas, petróleo y electricidad. Si no hacemos algo los recursos naturales con los que generamos la energía, pronto se volverán escasos y en nuestra búsqueda por satisfacer esta demanda ocasionaremos daño irreparable a la vida del planeta.

Sin embargo, hay una solución contamos con la tecnología que aprovecha un recurso limpio e inagotable que es la energía que proviene del sol. Es por esta razón que a lo largo de esta Tesis desarrollare un sistema para satisfacer la demanda de calentamiento de agua en Gimnasio que cuenta con el servicio de regaderas utilizando de manera eficiente tecnología de tubos colectores solares y que esté disponible a cualquier hora del día.

# 1 Marco teórico

---

## 1.1 El papel que juega la energía en la historia humana

“Quizás el momento más decisivo para la humanidad haya sido el descubrimiento del fuego y gracias a él la humanidad comenzó a controlar y modificar muchos procesos que hasta ese momento dependían únicamente de la naturaleza. Desde entonces la energía ha sido un elemento decisivo para el progreso de las sociedades.



*Ilustración 1 Energía fotovoltaica y eólica en el mundo.*

*Fuente: <http://erecoambiental.com/2016/09/12/energia-solar-terrassa/>*

Durante la mayor parte de la historia de la humanidad la energía dependía de la naturaleza la fuerza de los animales y la fuerza humana para obtener servicios como luz, calor y trabajo. Fue hasta la revolución industrial que el sistema energético paso por dos transiciones energéticas con gran impacto, la primera fue la máquina de vapor que al ser alimentada por combustibles fósiles era capaz de generar mayor capacidad de trabajo que ninguna otra fuente energética hasta el

momento, además de que se podía utilizar prácticamente en cualquier parte del mundo ya que este tipo de combustible podía ser extraído y transportado.

La segunda gran transición energética se dio gracias a dos factores muy importantes: el primero, la introducción de la electricidad para la conversión en energía térmica, luz o trabajo. El segundo factor de innovación fue el motor de combustión interna, el cual revolucionó los patrones de transporte individual y colectivo.” (Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la Republica, 2004)

El crecimiento de la población durante el siglo XX dio como consecuencia una mayor demanda de combustibles fósiles, aumentando así la contaminación en las ciudades, lo que ha llevado a la humanidad a desarrollar nuevas tecnologías que utilicen recursos renovables con bajo impacto ecológico.

## 1.2 Definición de energía

La palabra energía viene del griego *energos* y significa actividad, trabajo. Todos utilizamos con frecuencia esta palabra, pero su definición no es sencilla; desde el punto de vista de la mecánica clásica, la energía es la capacidad de producir trabajo. Las principales fuentes para la generación de energía son:

- Energía térmica
- Energía luminosa
- Energía química
- Energía eléctrica.
- Energía mecánica



$$E = mc^2 \tag{1}$$

*E = energia*

*m = masa*

*c = velocidad de la luz ( $300,000 \frac{km}{s}$ )*

Esta fórmula indica que la energía contenida en cualquier masa, incluso estando en reposo es el producto de la citada masa por la velocidad de luz al cuadrado, no obstante no tenemos la capacidad de medir la energía de forma absoluta, pero si podemos medir sus variaciones. Por ejemplo Si empujamos un bulto de 30 Kg y lo desplazamos 30m hemos necesitado cierta energía para realizar ese trabajo derivado de esta analogía podemos deducir que existen múltiples fuentes de energía.

## 1.3 Fuentes energéticas

Son muchas las fuentes de energéticas que podemos aprovechar. Cada una de ellas tiene sus ventajas e inconvenientes, la clasificación más aceptada es la siguiente:

**Fuentes energéticas Renovables.** Se caracterizan por ser abundantes (ejemplo: la energía solar), Son Poco dañinas o nada en absoluto para el medio ambiente, pero las tecnologías para su aprovechamiento están actualmente en desarrollo. Dentro de este grupo podemos citar La Biomasa, energía hidráulica, la energía Geotérmica, la eólica y la solar.

**Fuentes de energías no renovables.** Llamamos fuentes de energía no renovable a aquellas que utilizan recursos finitos, además producen residuos dañinos para el medio ambiente, pero su tecnología, está ampliamente extendida. En este grupo podemos citar petróleo, gas natural, propano, el carbón y el uranio. Lo que no se sabía entonces es que con el tiempo habría escases de estos recursos así como problemas ambientales a nivel global por sus residuos.

La tesis solo se enfocara en las energías renovables y específicamente en energía térmica solar

## 1.4 Energía renovable

Como ya se ha mencionado las fuentes de energía renovable como el viento, la biomasa o la hidráulica, son de fuentes continuas e inagotables, que con seguridad suplirán la energía que el día de hoy nos otorgan los hidrocarburos.



*Ilustración 3 las fuentes de energía renovables tienen poco o nulo impacto en el medio ambiente*

*Fuente: <http://www.habitatsustentable.com/?p=6162>*

Estas son fuentes limpias e inagotables de recursos energéticos. No emiten gases contaminantes ( $CO_2$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ) o lo hacen en concentraciones mucho menores que los combustibles fósiles (Petróleo, carbón, gas natural) y por tanto no generan residuos peligrosos.

Se denomina energía renovable las que son de origen natural y pueden emplearse ilimitadamente, por dos razones:

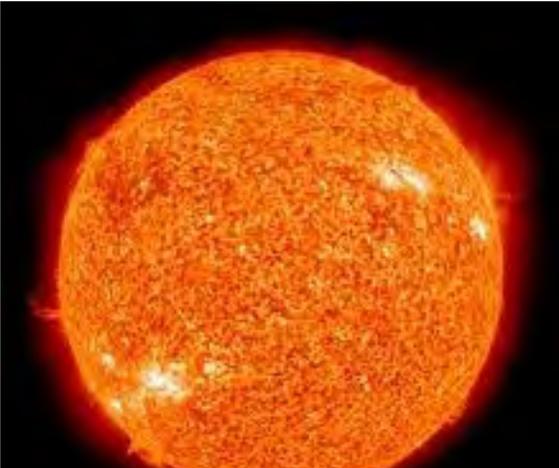
1. Su suministro es muy abundante (el sol por ejemplo) y prácticamente inagotable.

2. Las materias primas de las que provienen esas energías se pueden renovar, caracterizándose por un bajo impacto ambiental.

Muchas de estas energías son inconstantes, como el viento o el sol, por lo que actualmente se están desarrollando tecnologías en distintas áreas para que no solo dependamos de una como es el caso del petróleo y sus derivados

### 1.4.1 Energía solar

La principal fuente de energía renovable es la radiación solar la cual puede convertirse en calor o electricidad mediante diversas tecnologías.



*Ilustración 4 Imagen generada por ordenador del Sol*

*Imagen descargada: [http://ambiental104.rssing.com/chan-25118639/all\\_p5.html](http://ambiental104.rssing.com/chan-25118639/all_p5.html)*

Es la base de las demás energías, sin sol no existiría vida, se calcula que al sol todavía le quedan unos 5000 millones de años de vida en los que seguirá suministrando energía a nuestro planeta. La energía solar, como veremos más adelante se utiliza sobre todo para producir electricidad y agua caliente, calefacción de edificios, piscinas etc. Directamente la energía solar se podría clasificar en dos grandes grupos: energía

Fotovoltaica y Termosolar.

Sin embargo, no es un recurso el cual podamos obtener las 24 horas ya que es un recurso intermitente astronómicamente y climatológicamente. Su intensidad varía en el transcurso del día debido a la rotación de la tierra.

### ***1.4.1.1 Energía fotovoltaica***

La energía fotovoltaica que se basa en el principio del efecto fotoeléctrico descrito en el trabajo de Albert Einstein, que básicamente describe como un fotón al incidir sobre la superficie de un metal, éste liberará un electrón, esta energía puede ser captada en forma de corriente eléctrica directa y transformada en corriente alterna para el suministro de electricidad de un hogar o industria. Actualmente la tecnología que aprovecha este tipo de energía es llamada paneles fotovoltaicos el cual consiste en un módulo de celdas solares las cuales están dispuestas en una superficie para captar el sol.



*Ilustración 5 Paneles solares fotovoltaicos.*

*Fuente: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/2016/08/the-way-forward-for-solar-pv-in-the-uk.html>*

### ***1.4.1.2 Energía Termosolar.***

La energía solar térmica o energía Termosolar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo doméstico de agua, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.



*Ilustración 6 SkyTrough de Sky Fuel utiliza ReflecTech Mirror Film, una película de polímeros plateados para concentradores solares.*

*Imagen descargada de: <http://www.renewableenergyfocus.com/view/3272/innovation-in-concentrating-thermal-solar-power-csp/>*

Los dispositivos que se utilizan para transformar la radiación del sol en energía térmica se les conoce con el nombre de “Colectores Solares Térmicos” y están clasificados como colectores de baja, media y alta temperatura. Los colectores de baja temperatura generalmente son placas planas usadas para calentar agua. Los colectores de temperatura media también usualmente son placas planas usadas para calentar agua o aire para usos residenciales o comerciales. Los colectores de alta temperatura concentran la luz solar usando espejos o lentes y generalmente son usados para la producción de energía eléctrica.

## **1.4.2 Energía eólica**

Es la energía procedente del viento, actualmente se emplea sobre todo para producir electricidad. Para ello se disponen parques eólicos con modernos molinos de viento. También se

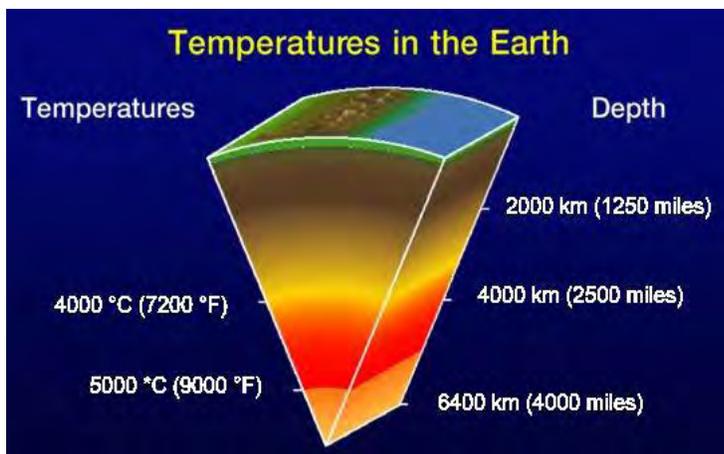
pueden colocar pequeños molinos eólicos en casas, granjas o edificios aislados. Para producir la energía que necesitan en forma de electricidad.



*Ilustración 7 Energía eólica: Imagen descargada de: <http://expansion.mx/opinion/2012/06/27/la-economia-mexicana-se-pone-verde>*

### 1.4.3 Energía geotérmica

La palabra “Geotérmica”, deriva de geo que significa tierra y térmica que significa calor. Para ello geotermia es la ciencia encargada de estudiar las variaciones de temperatura en el interior de la tierra. Así se puede definir como la energía que proviene del interior de la tierra. Como podemos observar la temperatura de la tierra va aumentando conforme nos vamos acercando a su centro.



*Ilustración 8. Gracias al calor de la Tierra, que alcanza aproximadamente 4000 grados Celsius en el núcleo, se produce energía geotérmica. Imagen descargada de: <http://www.fotovoltaicosulweb.it/guida/energia-geotermica-cresce-il-numero-di-impianti-italiani.html>*

Sus aplicaciones directas están en balnearios o para beber dadas sus propiedades terapéuticas; Agricultura para calentar invernaderos; Acuicultura donde se puede utilizar para regular la temperatura del estanque de los peces

### 1.4.4 Energía hidráulica

La forma más común de hidroelectricidad consiste en el aprovechamiento de la energía potencial al embalsar un río, debido a la diferencia de alturas se tiene una alta presión que es conducida hacia una turbina hidráulica, desarrollando en la misma un movimiento giratorio que acciona un alternador donde se genera una corriente eléctrica.

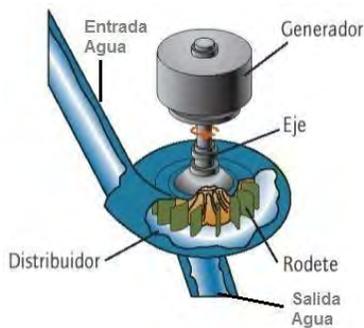
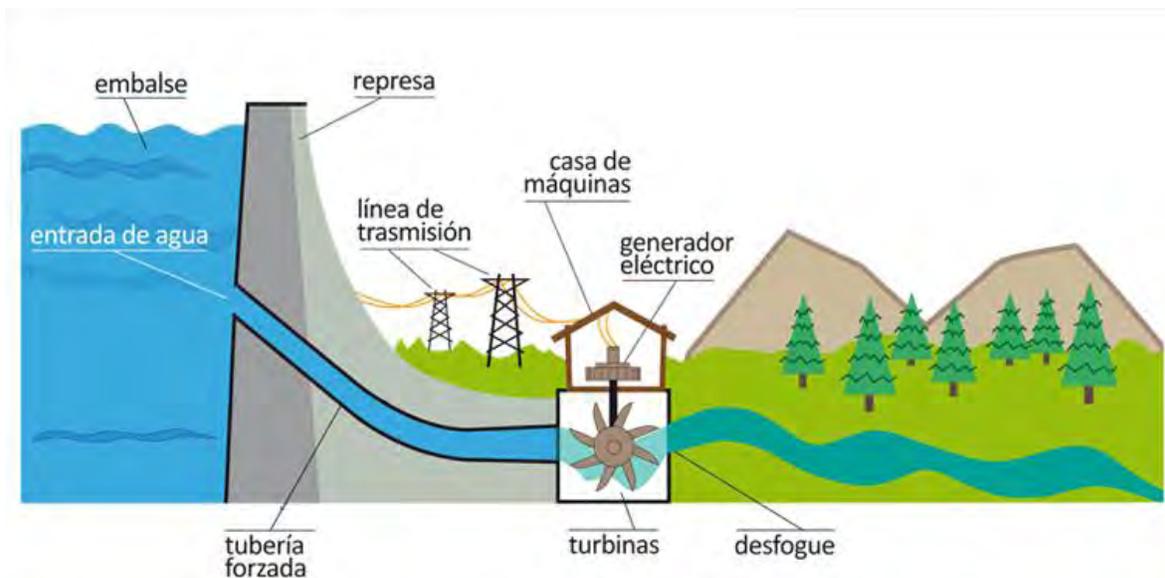


Ilustración 9. Partes de una turbina hidráulica

Imagen descargada de: <http://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>.

Todas las plantas hidroeléctricas utilizan agua pluvial como recurso renovable de energía, sin embargo la construcción de las cortinas que tienen más de 15 metros de altura, por lo general generan ciertos impactos ambientales y sociales debido a la gran superficie que ocupa el embalse y la necesidad de reubicar la población desplazada. Debido a estos inconvenientes ambientales y a los altos costos que implica mitigar estos impactos la opción de construir una hidroeléctrica es cada vez menos recurrente.



*Ilustración 10 Funcionamiento de una central Minihidráulica*

*Imagen descargada de: <http://fisica1prepacl.blogspot.mx/2016/05/plantas-hidroelectricas-las-plantas.html>*

En cambio las pequeñas centrales hidroeléctricas debido a su menor tamaño generan menos impacto ambientales, y dado a sus beneficios sociales que incluyen la prevención de inundaciones, la disponibilidad de agua para riego y uso doméstico.

#### **1.4.4.1 Potencial hidráulico.**

“El potencial Minihidráulico mundial estimado es de 1030 TWh, lo que equivale a 7 veces la producción de CFE en el año de 1995, donde América Latina participa con el 17% y México con 11.38 TWh, equivalentes al 1.1% del potencial mundial y la tercera parte de lo que se produce actualmente con las centrales hidroeléctricas” (Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la Republica, 2004)

#### **1.4.5 Biomasa**

La podemos definir como cualquier material orgánico (animal o vegetal) que almacena energía utilizable. A su vez la energía que acumula la biomasa tiene origen en el sol. Efectivamente por el proceso llamado fotosíntesis, las plantas absorben a través de unas células llamadas cloroplastos,

que contienen una sustancia llamada clorofila, que es un pigmento que absorbe la energía luminosa del sol, en el cual las plantas absorben los fotones o energía lumínica del sol. Las plantas, en la fotosíntesis, también toman el agua del suelo y el  $CO_2$  de la atmósfera, Es decir que las plantas purifican la atmósfera. Y la energía de esta biomasa puede ser liberada de dos maneras, una por combustión directa que es cuando quemamos madera y hojas o de forma indirecta, como es el caso del mosto de la uva que mediante la acción de levaduras se transforma en alcohol. Cabe decir que el carbón mineral y el petróleo a pesar de ser de origen orgánico no se consideran fuentes renovables ya que para su generación se necesitaron millones de años a comparación de madera o el mosto de la uva que tienen procesos relativamente cortos.

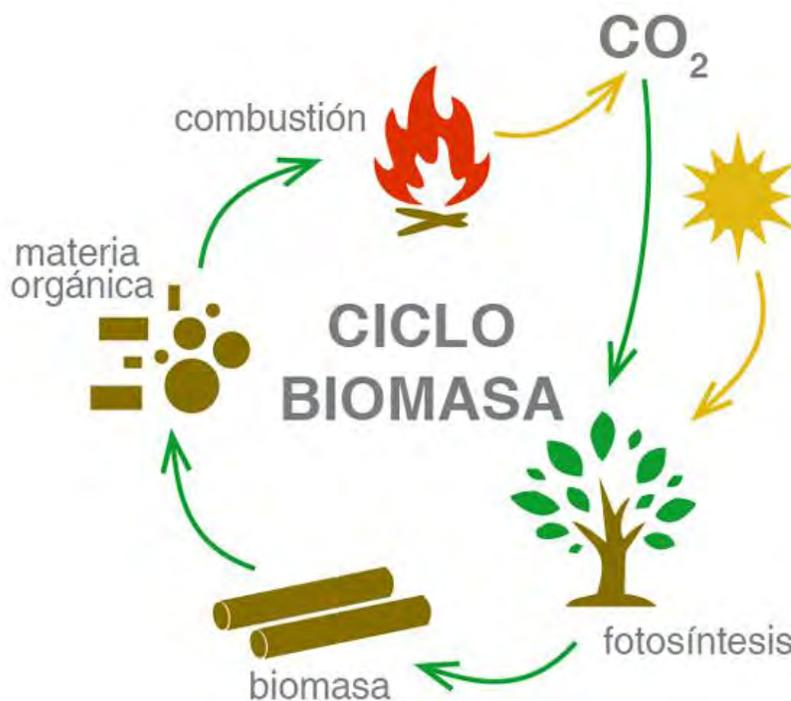


Ilustración 11 Ciclo de la biomasa

Imagen descargada de: <https://thinkbigjovenes.fundaciontelefonica.com/proyectos/biomass-renewable-energy>

## 1.5 Nuevas energías renovables

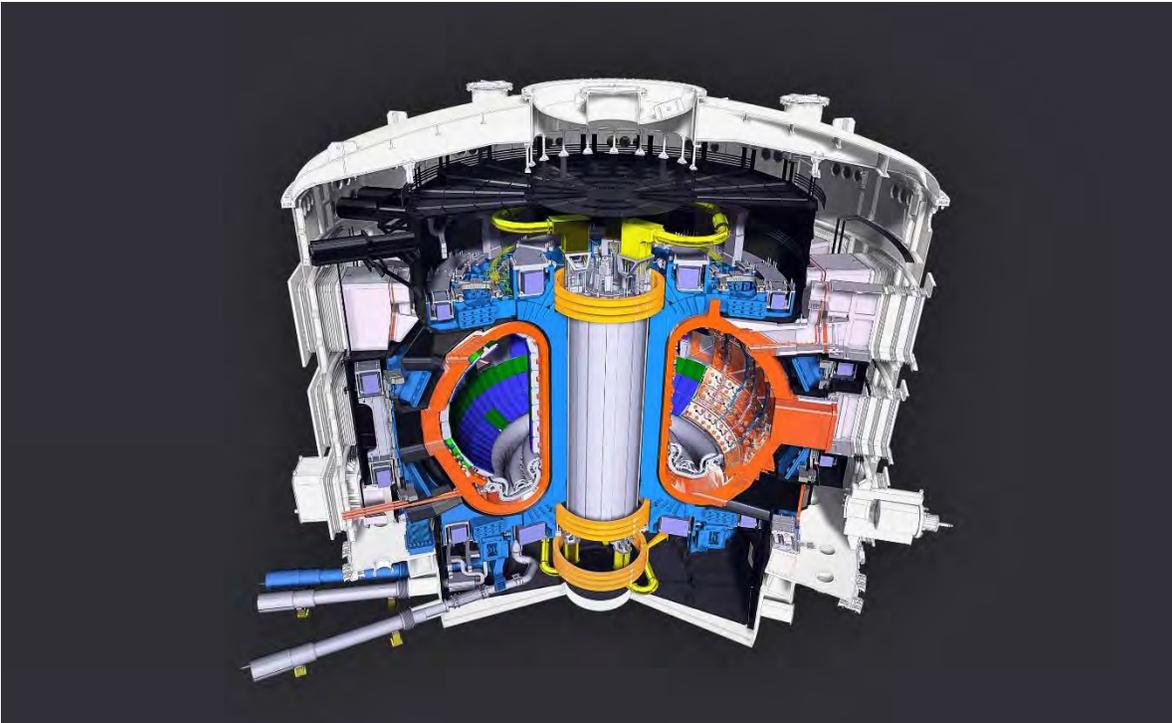
Además de las fuentes de energía renovable ya descritas en la sección anterior, existen tecnologías en etapa de desarrollo. A continuación mencionaremos las más prometedoras.

### 1.5.1 Fusión nuclear

Esta técnica consiste en tomar átomos ligeros como el deuterio y tritio (isotopos de hidrógeno) para formar otro más pesado de litio con liberación de energía que de hecho supera a la fusión nuclear, produciendo hasta 4 veces más energía. Para explicar este fenómeno existen dos teorías:

**La fórmula de Einstein  $E = mc^2$ .** La masa de los núcleos de deuterio y del tritio al reaccionar da un núcleo de helio de menor masa. Esa masa liberada es la que se transforma en energía según la fórmula de Einstein.

**Cambio en la energía potencial.** Volviendo a la reacción de deuterio y tritio son dos isotopos inestables de hidrógeno, de alta energía potencial. Sin embargo al otro lado de la fórmula tenemos al helio que es un átomo estable de baja energía potencial. Es decir, hemos pasado una situación de una forma de alta energía potencial a otra de baja.



*Ilustración 12 Reactor de fusión Nuclear. Imagen descargada de: <https://www.iter.org/mach>*

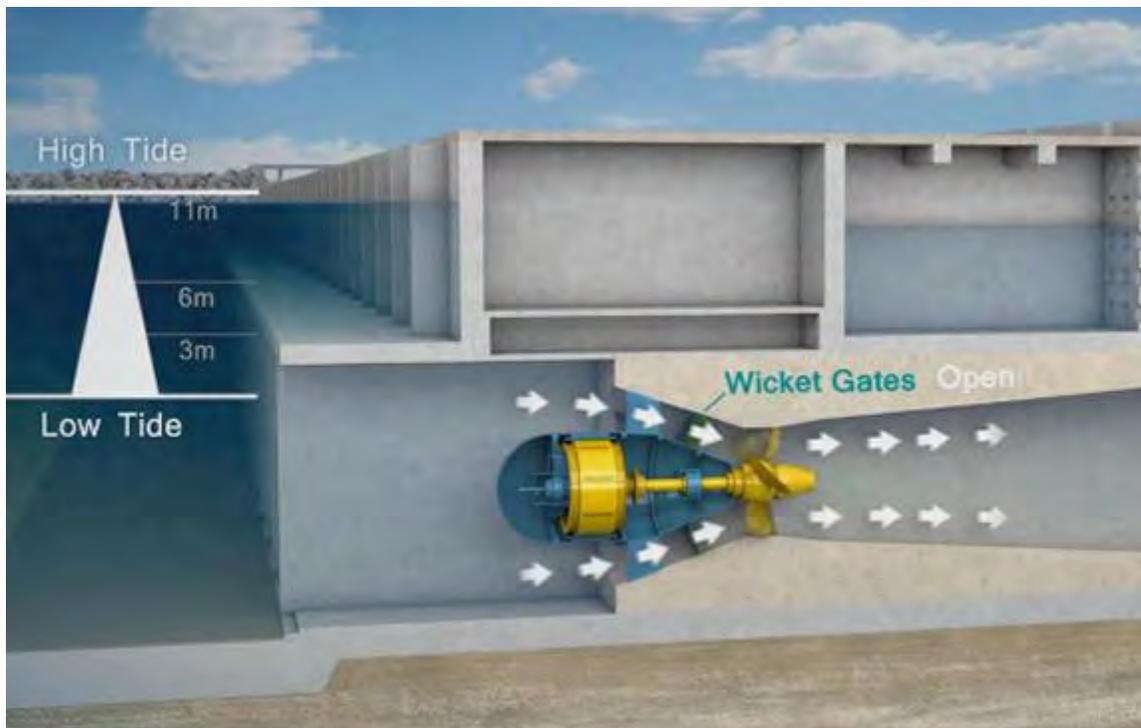
“ITER ("El camino" en latín) es uno de los proyectos energéticos más ambiciosos del mundo de hoy.

En el sur de Francia, 35 naciones colaboran para construir el Tokamak más grande del mundo, un dispositivo de fusión magnética que ha sido diseñado para demostrar la viabilidad de la fusión como fuente de energía a gran escala y libre de carbono, basada en el mismo principio que alimenta nuestro Sol.” (ITER, 2016).

Esta tecnología está en estudio y probablemente se podrá en práctica hasta dentro de 20 años, en el mejor de los casos se trata de funcionar átomos de hidrógeno, en cuya reacción se libera una cantidad enorme de energía, sin problemas de radiactividad como ocurre ahora en las centrales nucleares. Actualmente se ha invertido en proyectos como El ITER donde apenas se logrado esta reacción por un segundo en un reactor Tokamak, el cual usa campos electromagnéticos y rayos laser para controlar el plasma que se desprende la reacción.

### 1.5.2 Energía oceánica

La energía del océano se manifiesta al menos de dos maneras: como energía mecánica y energía térmica la energía mecánica se presenta en forma de olas y marea y la energía estará en función de la cantidad de agua desplazada del nivel medio del mar que a su vez depende del viento y el tiempo que está en contacto con él. “El potencial estimado de las olas que rompen las costas del mundo es del orden de 2000 a 3000 GW” (Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la Republica, 2004).



*Ilustración 13 Funcionamiento de una central eléctrica Mareomotriz.*

*Imagen descargada de: <https://ecoinventos.com/primer-proyecto-de-energia-mareomotriz-lago-artificial/>*

Las mareas se forman de la atracción gravitacional del sol y la Luna y de la rotación de la Tierra. Como puede apreciarse en ilustración 13 la energía de las mareas se deriva de la energía cinética del agua moviéndose de una localización más alta a una más baja. Al agua de las mareas se suelen

embalsar y para convertirla en electricidad se le deja salir a través de turbinas que activan un generador eléctrico.

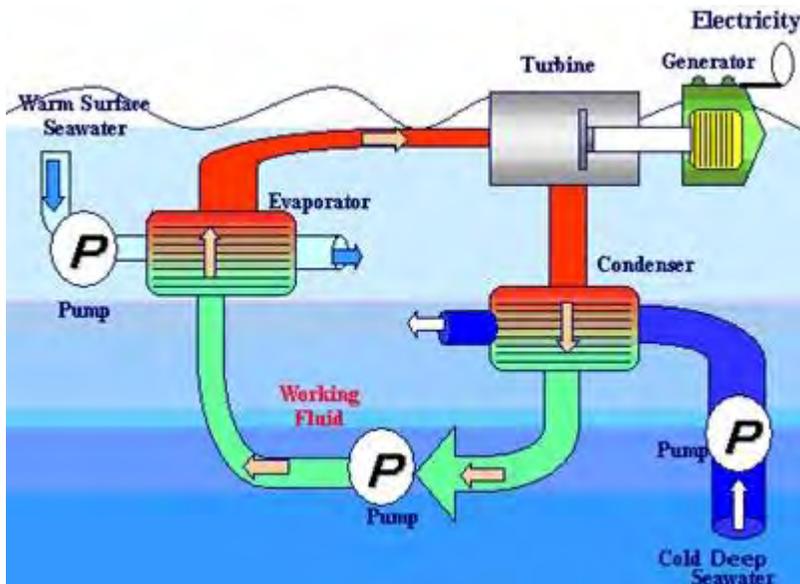


Ilustración 14 Ejemplo de cómo podría ser un motor termodinámico utilizando la diferencia de temperaturas entre la superficie del océano y el fondo.

Imagen descargada de: <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/energia-termica-oceanica/>

**Energía oceánica térmica (OTE).** Debido a que los océanos cubren más de un 70% de la superficie terrestre, los hace colectores solares más grandes del mundo. La energía térmica oceánica se basa en la diferencia de temperatura que existen en mares tropicales y subtropicales entre el agua tibia de la superficie y el agua fría de las profundidades, a unos 1000 metros de profundidad la diferencia de temperaturas es de unos 20°C mínimo. La energía térmica oceánica en su totalidad es uno o dos órdenes de magnitud más alta que otras fuentes de energía oceánica (es decir podemos obtener más energía), como la energía de mareas, pero las pequeñas diferencias de temperatura hacen que la extracción de energía sea más difícil y costosa. “En sus inicios esta energía térmica tenía una eficiencia de máximo el 3% muy por debajo del 7% que en teoría podemos obtener. En teoría los dispositivos que podrían ayudarnos a utilizar este tipo de energía son los motores termodinámicos” (Mundo Solar, 2012).

Un motor de termodinámico es un dispositivo que utiliza la diferencia de temperaturas que existen a distintas profundidades en el océano, conforme el calor fluye de un lado para el otro, el motor convierte esta energía del calor en energía útil. Este principio es usado en turbinas de vapor y motores de combustión interna. Pero a diferencia de tener que quemar un combustible como en el motor de combustión, la OTE obtiene la energía de la diferencia de temperaturas.

Hoy en día ya se está trabajando en el diseño final de una planta de 10 MW de energía térmica oceánica en Hawái.

### **1.5.3 Hidrógeno:**

El hidrógeno es el elemento químico más abundante del universo, al quemarse solo produce energía y agua por lo que es el combustible más limpio que existe, además es fácil de transportar y producir.

La producción de hidrógeno se obtiene de la disociación del agua con electrolizadores alimentados con celdas solares fotovoltaicas, generadores eólicos, pequeñas hidroeléctricas geotérmicas, etcétera. El hidrógeno también puede ser producido por la gasificación de la biomasa. Otra novedosa forma de producir biohidrógeno que se encuentra en plena etapa de investigación se presenta a través de algas o bacterias que lo sintetizan al digerir residuos orgánicos, preferentemente agrícolas.

El hidrógeno puede ser utilizado para producir electricidad mediante la tecnología de celdas de combustible, donde paradójicamente el hidrógeno no se quema sino que produce una corriente eléctrica y agua, cuando produce una reacción química en presencia de oxígeno.

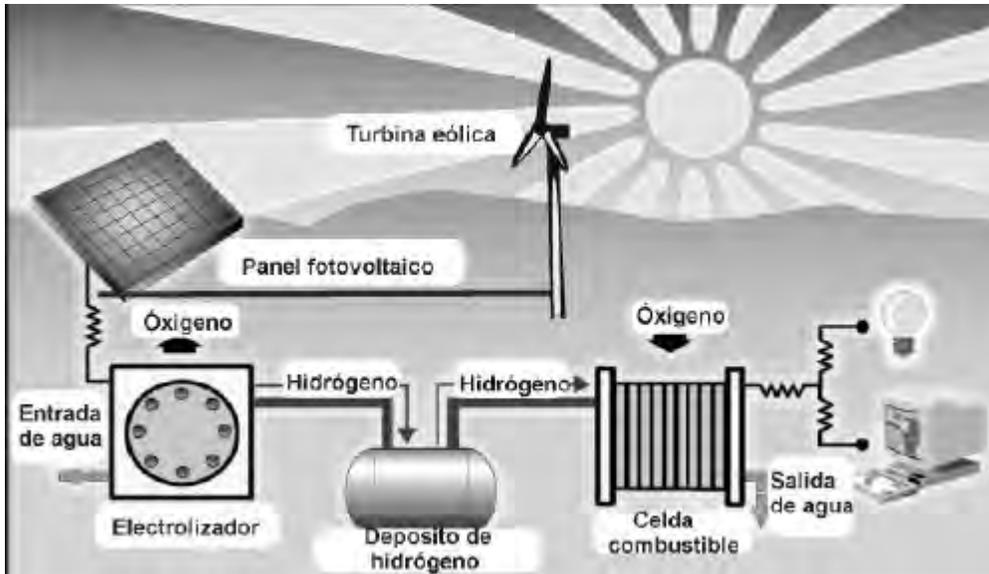


Ilustración 15 Producción y uso de hidrógeno con una celda de combustible.

Imagen descargada de: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia16/HTML/articulo05.htm>

El hidrógeno se puede comprimir y almacenar en tanques por horas, días, e incluso por varios meses hasta que se le necesite. El hidrógeno representa energía almacenada. El hidrógeno se puede quemar como cualquier combustible para producir calor, impulsar un motor, o producir electricidad en una turbina. Pero la celda de combustible es una manera más limpia y más eficiente de utilizar el hidrógeno.

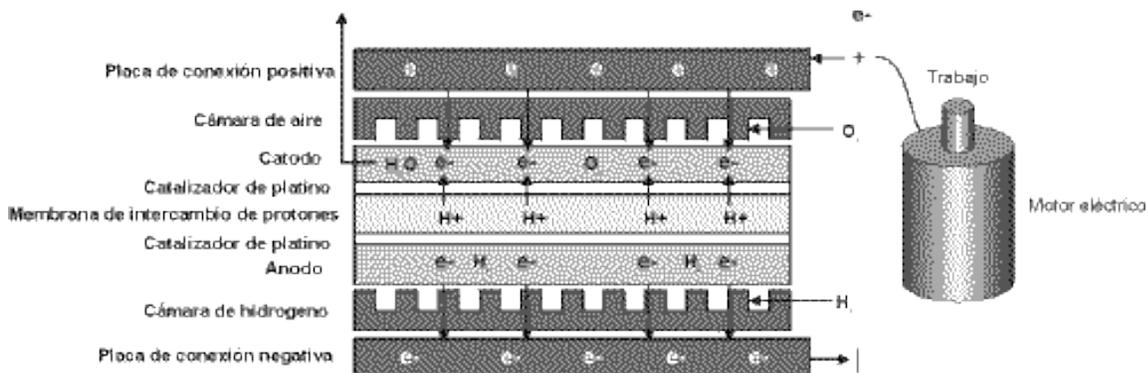


Ilustración 16 Corte transversal de una celda combustible de membrana de intercambio protónico

Imagen descargada de: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia16/HTML/articulo05.htm>

(Engel, 2000) Explica su funcionamiento: “La celda de combustible recombina el hidrógeno y el oxígeno para producir energía eléctrica. El único subproducto es agua pura. En otras palabras,

la celda de combustible es como un electrolizador funcionando al revés. La agrupación de la celda de combustible, el electrolizador, el almacenaje de hidrógeno y la fuente de energía renovable constituyen el “ciclo de hidrógeno renovable. Este ciclo se convertirá en el corazón y el alma de nuestra economía energética del futuro, tal vez durante todo el período de nuestras vidas.”

## 1.6 Aporte energético Solar

Enfocándose en el panorama actual, una de las tecnologías más desarrolladas es la energía solar pero debemos hacernos las preguntas ¿Qué es el sol? ¿De verdad proporciona suficiente energía?

La energía irradiada por el sol procede de la fusión de átomos de deuterio para dar átomos de helio. En un segundo el sol produce más energía que la consumida por la humanidad en toda la historia. Una parte de esta energía llega en forma de radiación electromagnética. La tierra recibe en el exterior de su atmósfera una potencia de  $1.73 \times 10^{14}$  kilowatts. Bajo la perspectiva humana, la fuente energética solar puede considerarse como inagotable.

Su origen, al igual que la Tierra, fue un conjunto de gases incandescentes que al girar vertiginosamente provocó que los gases más pesados se fueran al centro y los más livianos al exterior. Su energía procede de la fusión de átomos de hidrógeno a átomos de helio. Pequeños cambios en las propiedades físicas del Sol pueden tener, y de hecho han tenido, efectos enormes en el clima y la vida en nuestro planeta.

Este gran astro se formó aproximadamente hace 4,650 millones de años y podemos decir que tiene combustible para 5,000 millones más. Actualmente el Sol se encuentra en la fase de plena actividad, en la que seguirá quemando hidrógeno de manera estable unos 5,000 millones de años más. Este astro nos ofrece una gran cantidad de energía día a día la cual a partir de desarrollo de

tecnología hemos podido aprovechar en forma de energía fotovoltaica, termosolar, eólica, entre otras.

## 1.7 La medición de la energía del sol: la constante solar

La combinación de tres factores: la distancia de la tierra al sol, el diámetro solar y la temperatura del sol, determina un flujo luminoso. Por tanto, El flujo luminoso, que es en realidad un flujo de energía, tiene unidades de energía por unidad de área por unidad de tiempo ejemplo:  $J/s \cdot m^2$  equivalentes a  $W/m^2$ .

Mucho se ha discutido acerca de si el sol emite un flujo de energía constante, o si trata de una estrella variable. Algunos estudios parecen indicar que la variación de la emisión de energía, por parte del sol, es menor al 1% a lo largo del ciclo solar que dura 22 años. No se conoce a ciencia cierta la causa de estas variaciones.

Sin embargo para su aplicación en el campo de la ingeniería, la emisión de energía puede considerarse constante. Esto ha dado lugar a la definición de la llamada constante Solar,  $G_{sc}$ , es el flujo de energía proveniente del sol que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, ubicada a la distancia media de la tierra al Sol, fuera de toda atmósfera. “El valor normalmente aceptado equivale a:

$$G_{sc} = 1,353 W/m^2 \quad (2)$$

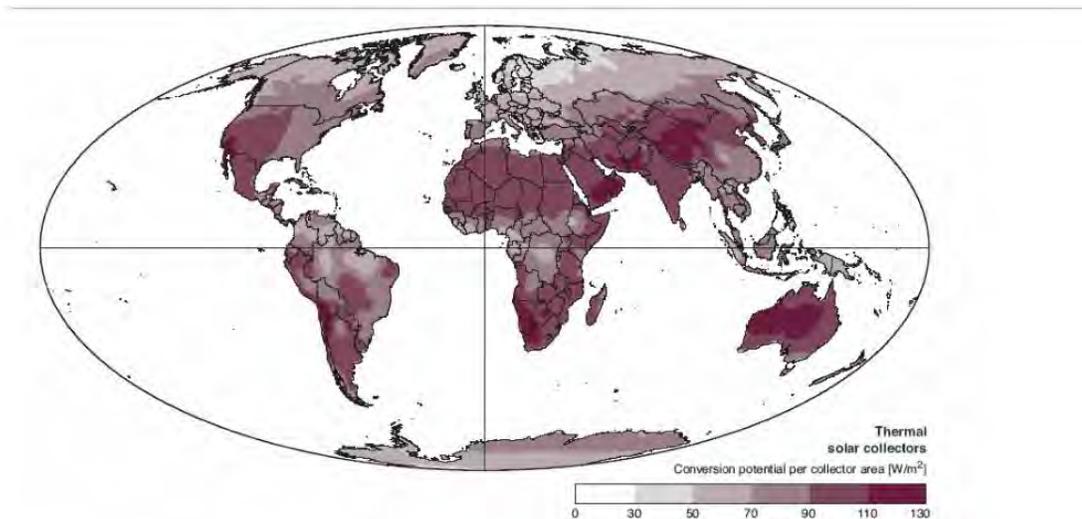
Que en otras unidades equivale a:

$$G_{sc} = 1.940 cal/(cm^2 min) = 428 btu/([ft^2] hr) = 4.82 kj/(m^2 hr) \quad (3)$$

Estos datos fueron aceptados por la NASA (1971) y por la ASTM” (Fernandez , 2010)

## 1.8 La radiación solar terrestre

La radiación que llega directamente del sol es denominada radiación directa, la radiación reflectiva que es previamente absorbida y reflejada por una superficie y se define como radiación difusa, a la que se presenta en días nublados. Ambos tipos de radiación se reflejan en todas las superficies en las que incide dando lugar a la radiación reflejada.



*Ilustración 17 Las zonas más oscuras son las que tienen mejor insolación en el planeta y por tanto son más aptas para la captación de energía solar. Fuente: (Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República, 2004)*

La radiación solar global es la suma de los tres tipos antes citados, directa, difusa y reflejada y es la que podemos aprovechar para transformación térmica.

Las proporciones de radiación directa, dispersa y la reflejada dependerán de:

- Condiciones meteorológicas.
- De la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal
- De la presencia de una superficie reflectante

“La energía solar que puede ser absorbida por una superficie dependerá de la inclinación que está tenga, ya que si esta tiene una inclinación perpendicular a los rayos del sol, ésta tendrá mayor absorbancia. En el caso de la Ciudad de México es de  $23.5^\circ$  permitirá maximizar la energía recogida” (Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la Republica, 2004)

“Si llamamos a la radiación directa  $I_D$ , a la dispersa  $I_S$  y a la reflectante  $I_R$ , entonces resulta que la radiación total  $I_T$  que incide sobre una superficie es:

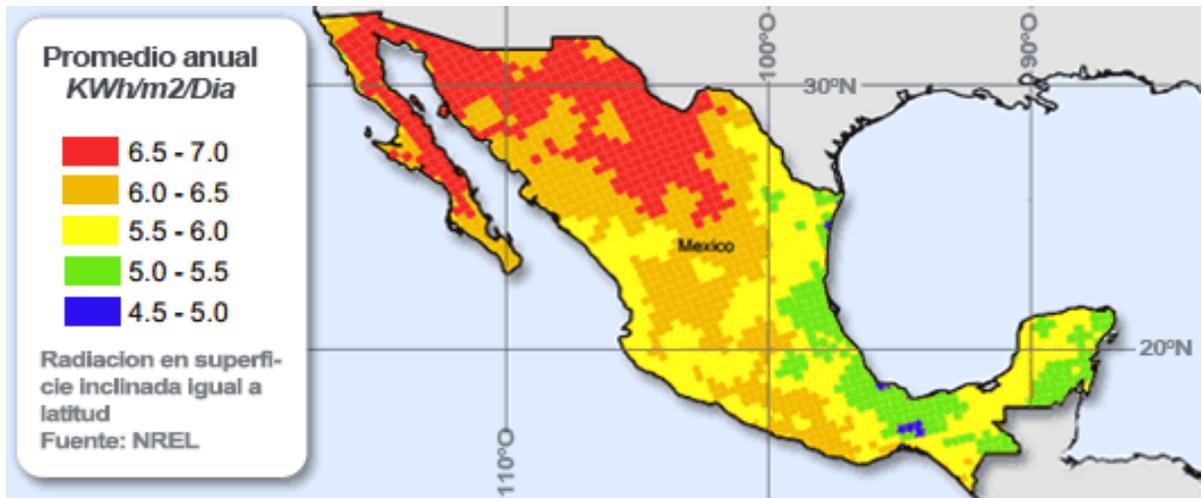
$$I_T = I_D + I_S + I_R \quad (4) \quad ”$$

(Fernandez Salgado, 2010)

## 1.9 El clima solar en México

Cuando la tierra se encuentra a una distancia media del sol (150 millones de kilómetros), en el tope superior de la atmósfera terrestre inciden aproximadamente  $1,353 \text{ W}/\text{m}^2$  de irradiación solar, que al llegar a la superficie se ven disminuidos sensiblemente por efecto de los componentes atmosféricos como el vapor de agua,  $\text{CO}_2$ , partículas sólidas suspendidas y principalmente las nubes, de ahí que la nubosidad pueda ser estimada para la irradiación total o global, así llamada porque comprende tanto la difundida por la atmósfera como aquella que llega directamente del sol sin sufrir modificaciones sustanciales.

Con todo lo anteriormente mencionado, podemos concluir que no todo el planeta tiene la misma radiación, si dividimos el planeta en 6 zonas de insolación casi todo México se encuentra en la segunda zona de mayor insolación



*Ilustración 18. La energía Solar en México.*

*Imagen descargada de <http://mecmex.com/la-proyeccion-termica-para-la-energia-solar/>*

La zona más soleada (en promedio anual) es el noroeste del país; un poco menos pero con valores altos, el pacífico sur, la península de Yucatán y el golfo de México; las cantidades francamente bajas se ubican al este de la sierra madre oriental, donde casi todo el año incursionan fenómenos provocadores de nublados, principalmente los vientos alisios del verano, los nortes en el invierno y las brisas marinas que ocurren casi todo el año.

“La energía solar que se recibe en un día en un cuadrado de 28 km por lado situado en el desierto de Sonora y cubierto de celdas solares con un 10% de eficiencia, satisfacería la demanda promedio diaria actual de la energía eléctrica de todo México que es de 550 GWh/día” (Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la Republica, 2004)

## 1.10 Panorama político para las energías renovables en México

En México existe un vacío legal a pesar de que las energías renovables se encuentran contempladas en programas sectoriales, debido a que no existe una ley que regule específicamente.

Para analizar y plantear estrategias nacionales sobre energías renovables, la Secretaría de Energía (SENER) se ha apoyado en la Comisión Nacional para el Ahorro de energía, (CONAE) que a su vez estableció desde hace más de 12 años con la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) y juntas has operado el Consejo para el Fomento de las Energías Renovables (COFER), al cual concurren reconocidos especialistas del sector público y privado y en cuyo contexto se han organizado media docena de foros públicos sobre asuntos relacionados con la promoción de energías renovables.

El documento normativo más importante y reciente en lo que respecta a las fuentes de energías renovables es el Programa Nacional de Energía 2001-2006 SENER 2002. En él está contenida la visión general del sector energético la cual fue enfatizada una amplia promoción del uso de fuentes alternas de energía.

“Para lograr sus propósitos, el programa establece diversos principios rectores de la política energética, entre los que destaca el uso de las fuentes renovables de energía para lograr promover el crecimiento económico del país, proteger el medio ambiente y permitir el desarrollo sustentable en el largo plazo para los Mexicanos. Dentro de este propósito se establece promover el uso sustentable de los recursos naturales. Para esto se requiere de un marco de concentración y participación del sector público, privado y social, que facilite el aprovechamiento de vastas oportunidades que ofrecen las energías renovables ya que las tecnologías que hacen posible su aprovechamiento siguen en constante evolución para que sus costos se reduzcan” (Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la Republica, 2004).

Bajo esta perspectiva, el programa plantea que se desarrollaran estrategias orientadas a promover la explotación de todas y cada una de las oportunidades técnicamente posibles y económicamente rentables, tanto del lado de la oferta como de la demanda.

Para hacer realidad estos objetivos y acciones que den manera particular para las fuentes renovables de energía se presentan a continuación:

- Precios de la energía que además de sus costos, reflejen aquellos asociados a su impacto ambiental.
- Programas nacionales regionales de aprovechamiento de energías renovables en el mediano y largo plazo acordes a los cambios estructurales del sector energético.
- Una base normativa para poder promover las energías renovables.
- Programas permanentes para la formación de profesionales certificados en energías renovables.
- Un sistema nacional de evaluación, registro y difusión de los recursos energéticos renovables.
- Mecanismos de apoyo financiero para proyectos de energía renovable.
- Recursos para la investigación básica en energías renovables.
- Vinculación activa y permanente, bilateral y multilateral de instituciones mexicanas con organismos internacionales similares en otros países.

Por parte en el periodo de 2001 -2006 se pretende duplicar la utilización de energía renovable en comparación con la utilizada en el año 2000. En particular se pretende instalar 1000 MW adicionales al programa de expansión de CFE, basados en energías renovables como Solar, Viento Minihidráulica, Geotérmica, y Biomasa.

### **1.10.1 La tecnología Solar en México**

Los recursos energéticos renovables en México, particularmente la energía solar, que es abundante, no ha tenido la atención y consecuentemente el desarrollo suficiente como para poder

reconocerlas como alternativas de uso generalizado en la época actual. A esto ha contribuido por una parte, que las diferentes administraciones del gobierno federal no han establecido claramente una política del uso de las fuentes alternas de energía. De la misma manera no ha existido un programa de educación, capacitación y promoción, en este campo, salvo lo que las propias instituciones educativas o los organismos no gubernamentales y asociaciones civiles, promueven como parte de sus objetivos fundamentales; por otra parte, cabe señalar que los costos de fabricación, instalación y en general del desarrollo tecnológico que estos usos requieren tampoco han estado a un nivel competitivo con las fuentes convencionales. Afortunadamente el estado de las cosas está cambiando y se puede distinguir claramente tres líneas de acción, que pueden contribuir a un uso diversificado de las fuentes energéticas con que cuenta México.

## **1.11 Sistemas de calentamiento de agua caliente sanitaria (ACS)**

En el presente trabajo nos centraremos en los sistemas de calentamiento de agua, para consumo humano o mejor conocida como agua caliente sanitaria (ACS). Actualmente, las tecnologías que utilizan la energía solar para calentar el agua son los calentadores solares, que ya sean para uso doméstico o establecimientos que requieran altos volúmenes de agua (como en hoteles gimnasios o la industria), están constituidos por un sistema de captación y un sistema de acumulación:

- Sistema de captación: Es el dispositivos a partir del cual podemos transformar la radiación solar en energía térmica para calentar el agua
- Sistema de acumulación: Es un tanque aislado térmicamente para mantener el agua caliente y repartirla hasta los puntos de consumo final.

### **1.11.1 Equipo doméstico**

Los calentadores solares de agua domésticos son sistemas que almacenan volúmenes de entre 100 hasta 300 litros de agua caliente cuya temperatura varía por diversos factores como condiciones climatológicas, y el consumo de agua, por lo que en promedio el agua estará entre 45 a 95° C.

Los equipos domésticos con mayor presencia en el mercado se pueden clasificar en dos grandes grupos, el primero es aquellos que utilizan panel solar de tubos y el otro es los que utilizan un sistema de captación plano, cuyo funcionamiento será explicado a mayores rasgos en siguientes puntos en la tesis, pero tienen ciertos puntos en común:

- Ambos tienen un suministro de agua que funciona por gravedad (tinaco).
- Funcionan por convección natural, es decir no utilizan ningún dispositivo que mejore el intercambio de calor entre el depósito y el sistema de captación
- No cuentan con un sistema de calentamiento alternativo, en caso de que el agua baje su temperatura por debajo de 45° que es la recomendada para consumo humano.

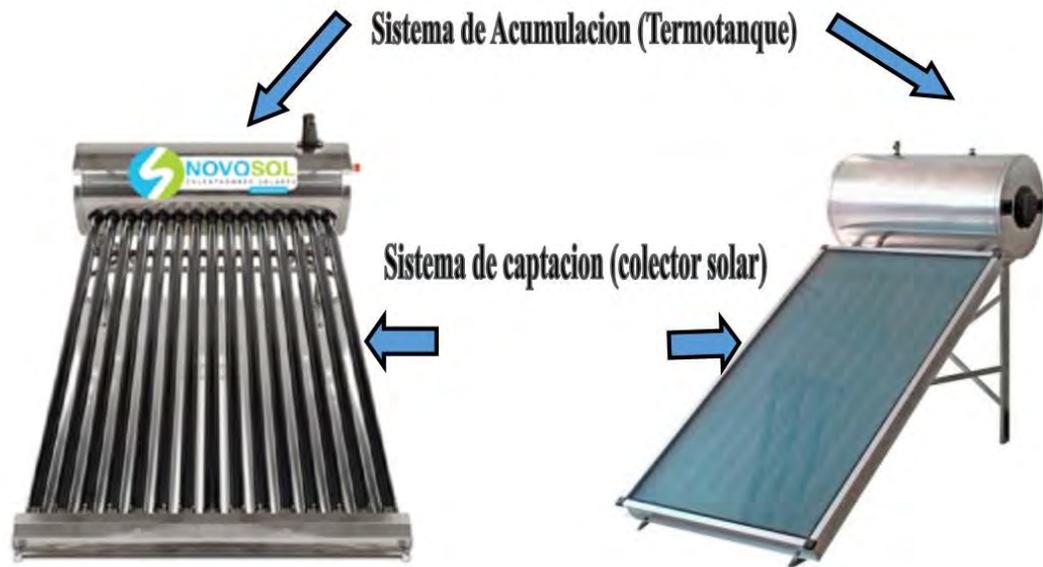


Ilustración 19 A la izquierda tenemos un sistema con colectores solares de tubos y a la derecha un sistema con colector solar plano.

Básicamente el funcionamiento de una instalación es el siguiente:

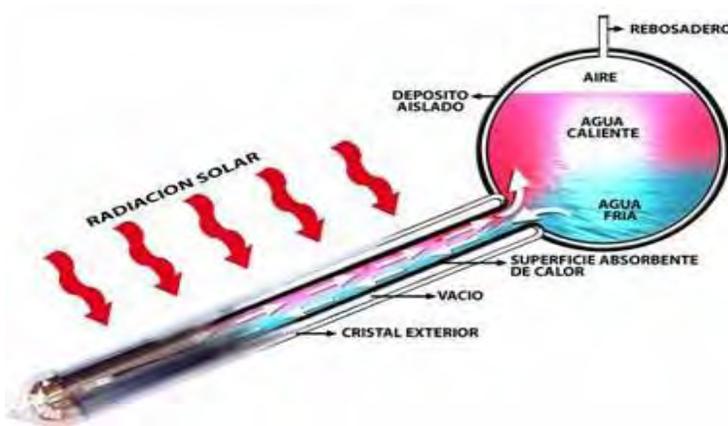


Ilustración 20 partes y funcionamiento de un sistema de calentamiento solar casero

Imagen descargada de: <http://hidalgreen.com/calentador-solar>

- Captación de energía radiante para transformarlas directamente energía térmica, con el aumento de temperatura de un fluido de trabajo.

- Almacenamiento de dicha energía térmica, bien en el mismo fluido de trabajo de los colectores, o bien transferida al agua de consumo por su posterior utilización.

Estas funciones se pueden complementar con la producción de energía térmica mediante un sistema convencional.

### **1.11.2 Calentador Solar de Alto Consumo**

Un calentador solar de alto consumo, es una instalación de agua caliente sanitaria ACS que utiliza principalmente energía solar para calentar el agua, pero que tiene ciertas diferencias respecto a una instalación doméstica:

- El sistema de captación no está directamente conectado al termotanque, por lo que necesitan una bomba recirculadora que haga fluir el agua del termotanque a los paneles y regresarla caliente, a esta parte se le denomina circuito primario.
- Los modelos comerciales regularmente utilizan tanques térmicos de 600 hasta 10,000 litros de agua, que también cuentan con un sistema de calentamiento alternativo a esto se le denomina circuito secundario

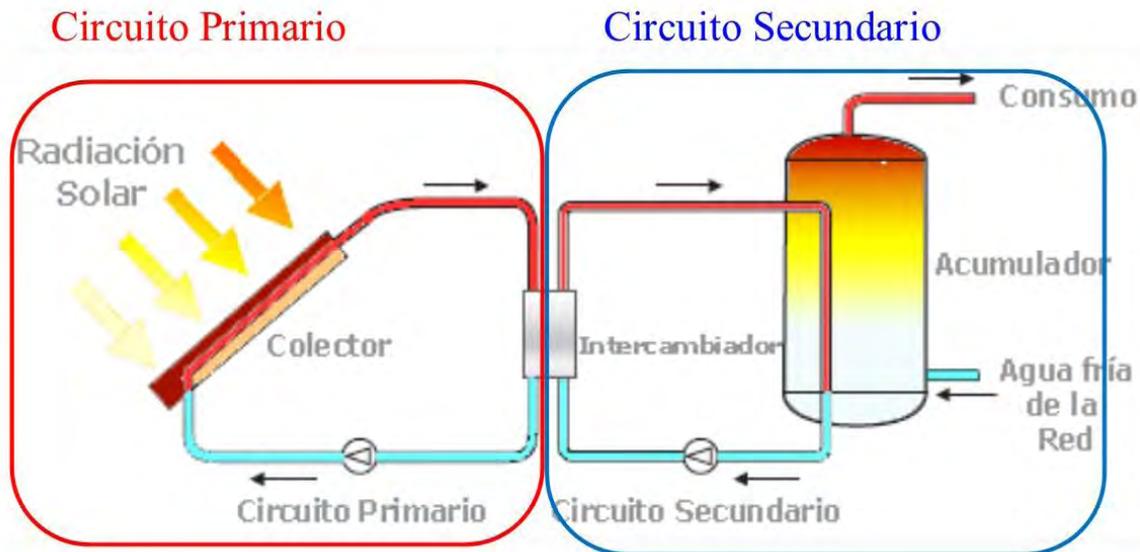


Ilustración 21 Instalación solar térmica típica, a la izquierda dentro del recuadro rojo esta el circuito primario y a la derecha dentro del recuadro azul se encuentra el circuito secundario

Imagen descargada de: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calderas/calderas-myto-condens-de-manaut-funcionamiento-e-informacion-tecnica.html>

Un equipo solar de alto consumo comúnmente está constituida de:

- Un sistema de captación formado por uno o varios captadores que transforma la radiación incidente en energía térmica de forma que se calienta el fluido de trabajo que ellos contienen.
- Un sistema de acumulación constituido por un depósito que almacena el agua caliente hasta que se precisa su uso
- Un sistema de intercambio que realiza la transferencia de energía entre el circuito primario y el circuito secundario. Aunque también se puede prescindir del intercambiador de calor, ya que el agua puede ser calentada al ser circulada en el circuito primario y ser almacenada directamente en el termotanque.

- Un circuito hidráulico constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc. Que se encarga de conducir el movimiento de fluido caliente desde el circuito primario al circuito secundario y de aquí hasta los puntos de consumo como regaderas y lavabos.
- Un sistema de regulación y control que fundamentalmente se encarga de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar un adecuado servicio de agua caliente y aprovechar la máxima energía solar térmica posible, por otro lado, puede incorporar distintos elementos de protección de la instalación.
- Finalmente los equipos suelen disponer de un sistema de energía auxiliar que se utiliza para completar el aporte solar suministrado la energía necesaria para cubrir la demanda prevista, garantizando la continuidad de suministro de agua caliente en los casos de escasez radiación solar o consumo superior al previsto.

A partir de los siguientes puntos ahondaremos en cada una de las partes por las que esta constituido un sistema de alto consumo.

## **1.12 Sistemas de captación solar térmica**

Un colector solar es un tipo especial de intercambiador de calor que transforma la radiación solar en energía térmica utilizable, se basa en la captación de energía mediante cuerpos expuestos a la radiación, preferentemente de color oscuro con el fin de mejorar la conversión de energía lumínica a energía térmica

### **1.12.1 Tipología de captadores solares.**

Una primera clasificación podría establecerse en función del tipo de cubierta que incorpore el captador solar, distinguiendo entre captadores vidriados y no vidriados.

### ***1.12.1.1 Los captadores no vidriados:***

Son aquellos que no presentan cubierta que aísla el captador plano del exterior. Por tanto, las pérdidas de calor en estos captadores serán elevadas, siendo indicado su uso en aplicaciones de muy baja temperatura, como el calentamiento de piscinas al aire libre. Usualmente, están disponibles en el mercado en forma de mantas de polipropileno.



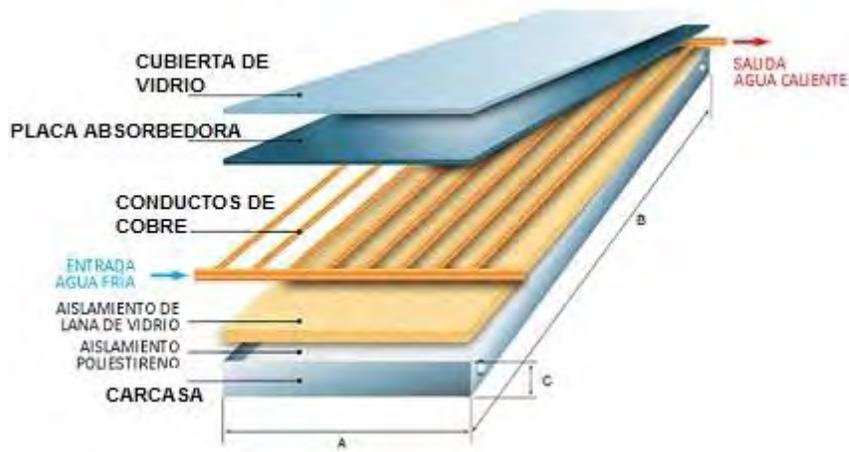
*Ilustración 22 Mantas de polipropileno para calentamiento de piscinas.*

*Imagen descargada de <http://www.temperatupiscina.cl/paneles-solares/>*

### ***1.12.1.2 Captador solar plano.***

Los captadores solares planos, son un claro ejemplo de captadores solares vidriados los cuales generalmente tienen una cubierta de cristal, que propicia que en su interior el efecto invernadero

En los captadores solares planos, el agua es calentada cuando circula por el interior de los captadores, a través de un circuito interno formado por tuberías o por los huecos que dejan entre sí un par de placas electro soldadas.



*Ilustración 23 Colector solar plano vidriado*

*Imagen descargada de: <http://www.energiasolar.lat/colector-solar-plano/>*

El principio físico que rige la transferencia de calor en el interior de los captadores solares vidriados es el efecto invernadero, que tiene lugar cuando la radiación solar incidente atraviesa la cubierta transparente del captador y queda atrapada en el interior. De este modo, cuando la mayor parte de la radiación atraviesa el vidrio, una parte es reflejada por la placa absorbedora, volviendo a incidir sobre el vidrio. Es un efecto parecido a cuando un auto que está en el sol con las ventanas cerradas quede expuesto en la radiación solar

### 1.12.1.3 Panel solar de tubos.

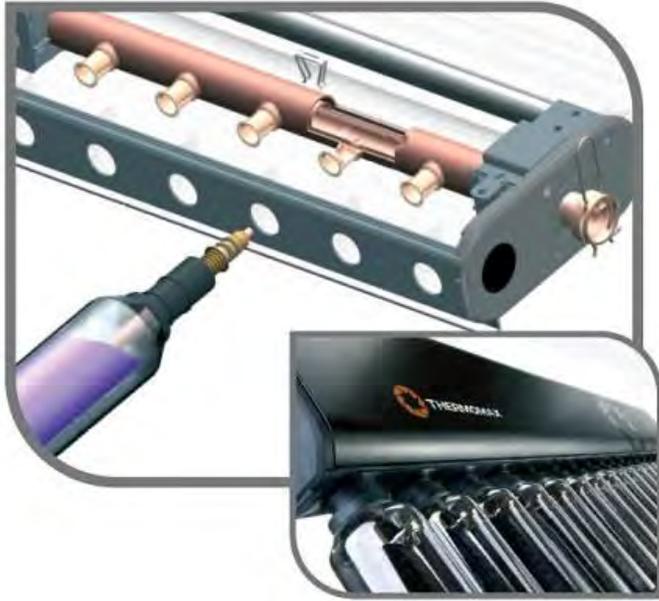
El segundo ejemplo de captadores solares vidriados, es el panel solar de tubos, el cual esta definido por acoplar un conjunto de tubos aislados al vacío que calientan un fluido al cual denominaremos “fluido de trabajo”, con un intercambiador de calor que se encuentra en la parte superior del sistema.



Ilustración 24 Colector solar de tubos de vacío

Imagen descargada de: <http://www.solarwaterheater.fr/2-6-u-pipe-solar-collector.html>

- **Intercambiador de calor:** El intercambiador de calor está en la parte superior del sistema de captación, su función consiste en que el fluido, que es calentado en los tubos, transmita el calor hacia el fluido que se desea calentar que en este caso es ACS. También cabe decir que todo el sistema es sostenido por una base la cual proporciona la inclinación adecuada para la captación de los rayos de sol para el sistema para el sistema, tal como podemos observar en la imagen la parte superior de color negro es el intercambiador de calor.



*Ilustración 25 Intercambiador de calor del colector solar estilo Heat Pipe*

*Imagen descargada de: <http://www.interempresas.net/Energia/FeriaVirtual/Producto-Colector-solar-de-tubo-vacio-Kingspan-Solar-DF100-72298.html>*

- *Tubos colectores al vacío:* Estos conforman el componente clave en cuanto a la captación de rayos solares se refiere, su eficacia es gracias a un doble tubo, separado por un vacío, el tubo interior está recubierto con nitrato de bario lo que permite que absorba hasta un 33% del espectro solar. Una vez que el calor es captado en la superficie, este se transmite por conducción a través del fluido de trabajo, el cual se encargara de calentar en agua que proviene del circuito secundario.



*Ilustración 26 Tubo colector Solar al vacío*

Imagen descargada de: <http://wassersonne.mex.tl/servicios.html>

#### **1.12.1.4 Tipología de colectores solares de tubos**

Tubo termosifón bifásico (TTB) (mucho más conocido por el término Heat-Pipe en inglés), o calo ducto; es un tubo con alta conductividad utilizado para conducir el calor de los tubos al vacío hasta el intercambiador de calor.



*Ilustración 27 Tubo de termosifón bifásico*

Imagen descargada de: <http://www.vet-research.net/product-tag/solar-fin.html>

Consiste en colocar dentro de un tubo de vacío un tubo de cobre cerrado por ambos extremos en cuyo interior hay un “fluido de trabajo” que es capaz de absorber una gran cantidad de calor, el cual se evapora al calentarse, ascendiendo hasta el intercambiador de calor ubicado en el extremo

superior del tubo, una vez allí, se enfría y vuelve a condensarse, transfiriendo el calor al fluido que se desea calentar.

Este sistema presenta una ventaja en los veranos y climas cálidos, pues una vez evaporado todo el fluido del tubo, éste absorbe mucho menos calor, por lo que es más difícil que los tubos se deterioren o estallen por sobrecalentamiento. También presenta la ventaja de perder menos calor durante la noche, pues la transferencia de calor, a diferencia de los paneles planos, sólo se produce en una dirección.

El sistema Heat-Pipe es conveniente, ya que no depende de una inclinación mínima dependiendo de la zona geográfica donde sean colocados para permitir la correcta circulación del fluido. Este sistema es 166% más eficiente que las placas planas tradicionales con serpentín de cobre.

La tecnología de tubos de termosifon bifásico se ha diversificado a distintas aplicaciones de calentamiento, aquí se mencionan algunos.

- **Flujo directo.** En este tubo de vacío, el fluido de trabajo del circuito primario pasa directamente a través del tubo, que está soldado a una aleta de modo similar a lo que ocurre en muchos tipos de captadores solares planos. El conjunto de la aleta y el tubo por el que discurre el fluido caloportador, el cual se encuentra atrapado en una ampolla, que lo aísla del exterior.

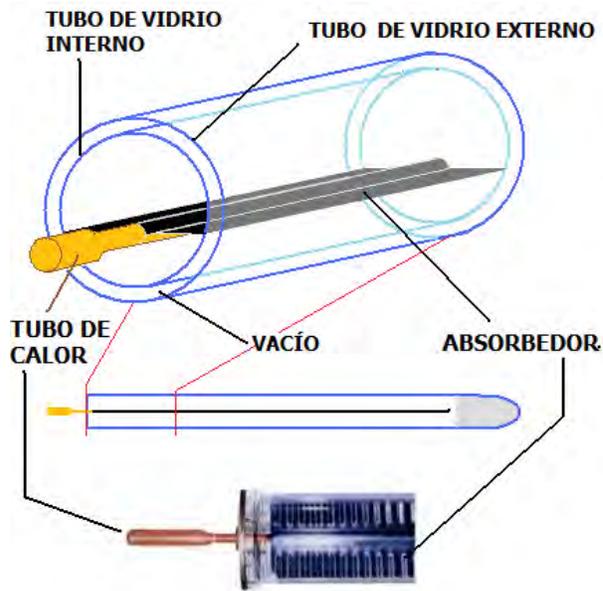


Ilustración 28. Colector solar de flujo directo.

Imagen descargada de: <http://joseperaltavalerga.blogspot.mx/2014/04/>

- **Tubos tipo Sídney** Este tubo se desarrolló como una doble ampolla, que evitase las posibles pérdidas de vacío a través de la unión de la unión vidrio metal. La substancia absorbente se deposita, directamente, sobre el lado interno del cristal debido a que la superficie absorbedora es cilíndrica, es necesario disponer de un reflector. Suelen tener un precio más competitivo y un rendimiento más bajo que otros tipos de tubo de vacío.



Ilustración 29 Captador solar tipo sidney

Imagen descargada de: [https://www.construnario.com/ecotube-14-captador-solar-de-tubo-de-vacio\\_ferroli-espana-slu\\_020165156#.WIZYhKiWbIU](https://www.construnario.com/ecotube-14-captador-solar-de-tubo-de-vacio_ferroli-espana-slu_020165156#.WIZYhKiWbIU)

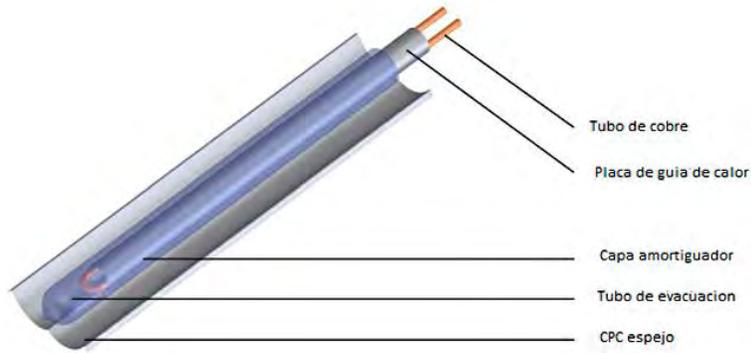
- **Colectores solares tipo Scott:** Se trata de un tubo de cristal dentro de otro tubo de cristal, que realiza la función de absorbedor de la radiación solar, y sobre el que se ha depositado el fluido de trabajo. El fluido pasa a través del tubo interior, que es irradiado de luz solar por un reflector de forma cilíndrica, que ocupa la mitad de la circunferencia del tubo. Estos tubos no tienen ningún tipo de contacto por lo que no presentan problemas de ruptura al dilatarse por la diferencia de temperaturas que puedan llegar a tener.



*Ilustración 30 a la izquierda está el tubo tipo Scott y a la derecha está la aplicación más común que es en concentradores solares tipo parabólicos*

*Imagen descargada de <https://guiamexico.com.mx/empresas/seenergy-mexico.html>*

- **Colectores solares de tipo de concentración parabólica compuesta (CPC):** Los captadores de este tipo consisten en una serie de tubos de cristal, dispuestos entre sí por donde circula un fluido de trabajo, y situados sobre un reflector de forma cilíndrica, que concentra los rayos sobre el tubo.



*Ilustración 31 captador solar tipo CPC*

*Imagen descargada de:*

[http://www.revis.it/catalogo/cerca/std\\_id\\_categoria=2%7Cst\\_categoria\\_tipo=Pannelli%20solari%20sottovuoto](http://www.revis.it/catalogo/cerca/std_id_categoria=2%7Cst_categoria_tipo=Pannelli%20solari%20sottovuoto)

Los rayos del sol llegan directamente al tubo de vacío y se dirige por medios de los espejos hacia ellos. La radiación directa, como también la radiación indirecta de las nubes, se transforma en calor.

La transformación de la luz difusa está apoyada principalmente por el espejo de alta tecnología CPC. El calor se traspa directamente al agua dentro de los tubos colectores. Por el alto factor de aislamiento térmico del vacío alrededor del colector no puede salir calor desde el sistema.

### **1.12.2 Clasificación de las instalaciones solares térmicas**

Existen numerosas alternativas diseño dentro de una instalación de agua caliente sanitaria ACS alimentada por energía solar,

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

1. Principio de circulación
2. Sistema de expansión
3. Sistema de intercambio
4. Según la solución de integración con el sistema de energía auxiliar
5. Según la aplicación

A continuación se desglosan las diferentes alternativas según la clasificación anterior:

### **1.12.3 Clasificación según el principio de circulación.**

Esta clasificación se refiere al mecanismo mediante que se produce el movimiento del fluido de trabajo:

1. Por circulación forzada.
  2. Por circulación natural.
- **Instalaciones por efecto termosifón**, el movimiento del fluido de trabajo se produce por el cambio de densidad del fluido, como consecuencia de las variaciones en la temperatura al recibir radiación solar, esto provoca que su densidad disminuya y ascienda 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 los colectores solares. Así se genera una circulación del fluido que se mantiene siempre que exista un gradiente de temperatura entre el circuito primario y el secundario, el cual cesará cuando el sistema llegue al equilibrio térmico.

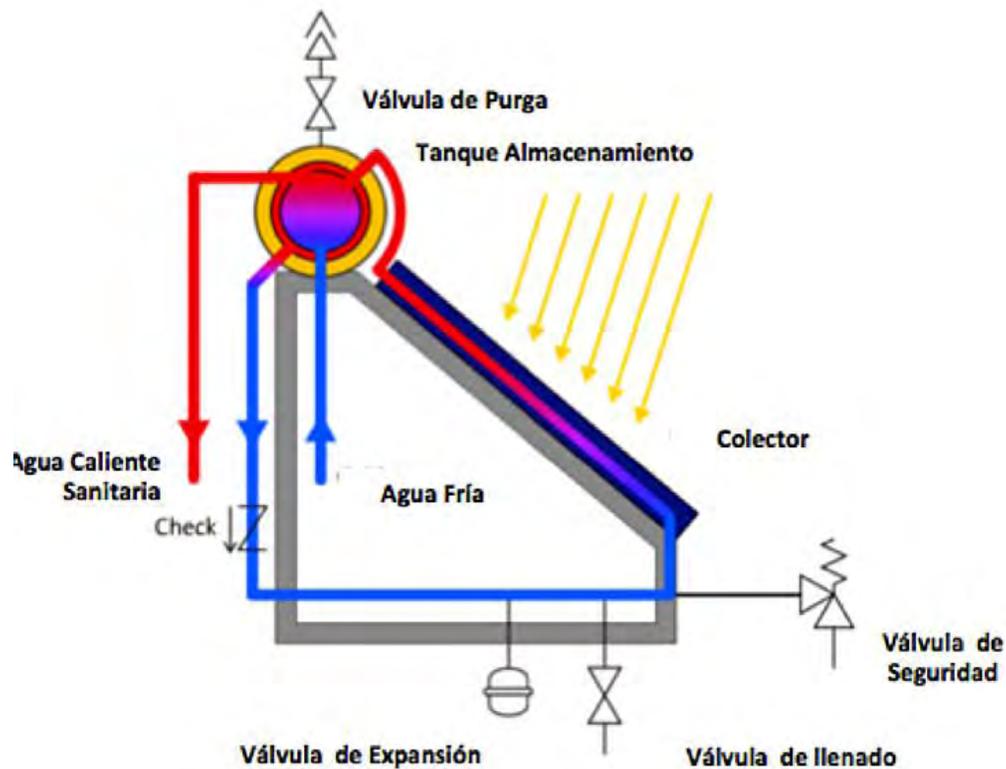


Ilustración 32 Sistema de intercambio por termosifón.

Imagen descargada de:

<https://www.download-geek.com/download/Manual+De+Instalacion+Calentadores+Solares+Frantor.html?aff.id=6145&aff.subid=250>

- **Instalaciones por circulación forzada**, en las instalaciones por circulación forzada, el movimiento del fluido se realiza a través de una bomba de circulación, con un caudal que normalmente está en el rango del doble de los termosifón y, por tanto, los saltos de temperatura en el fluido que pasa por los colectores suelen ser de unos 5 °C. En este caso, la regulación del sistema se efectúa por medio de un control diferencial de temperaturas entre la parte inferior del depósito de acumulación y la salida de los colectores, el control diferencial compara, mediante dos sondas (termopar o termostato), la temperatura que existe a la salida en los colectores con la parte baja del depósito de acumulación, cuando exista una diferencia de temperatura definida por el usuario, se accionarán las bombas

transfiriendo así la energía captada en los colectores(circuito primario) y almacenarla dentro del termotanque(circuito secundario).

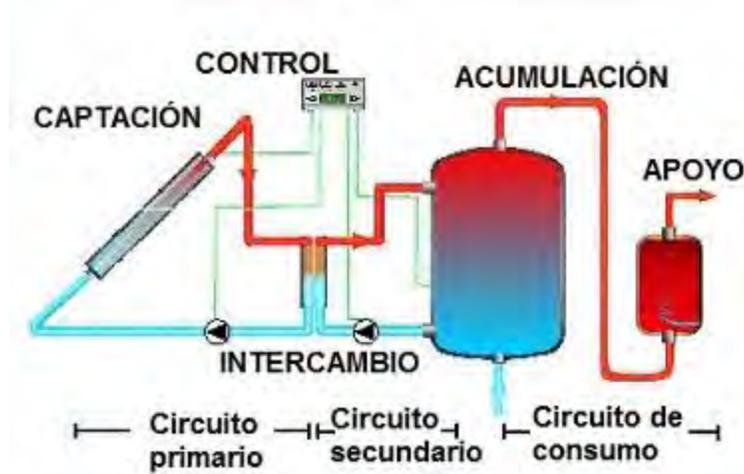


Ilustración 33 Sistema de calentamiento solar por circulación forzada

Imagen descargada de: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html>

#### 1.12.4 Sistema de expansión.

El fluido Caloportador(fluido de trabajo) que circula por el circuito primario en las instalaciones solares está sometido a importantes variaciones de temperaturas, que van desde temperaturas bajo cero, en zonas heladas, especialmente por las noches, hasta superiores a  $170^{\circ}\text{C}$  en situaciones de alta radiación y nulo consumo, como consecuencia de estas diferencias de temperatura atrae consigo variaciones en el volumen del fluido Caloportador por ello es necesario disponer de elementos capaces de absorber dichos cambios.

De entre los tipos de sistemas de expansión se utilizan:

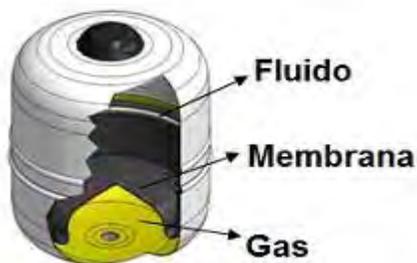
- a) Expansión abierta: en los sistemas de expansión abierta, el fluido que circula por el circuito primario esta comunicado de forma permanente con la atmósfera, por lo que se deben de ubicar elementos del sistema de expansión (Válvulas de expansión)a una altura superior del punto más alto del circuito de primario solar.



*Ilustración 34 válvulas de expansión, comúnmente utilizadas para evitar liberar la presión generada por el fluido Caloportador en el circuito principal*

*Imagen descargada de <http://imcosamex.com/valvula-de-expansion-tgex/>*

- b) Expansión cerrada: En los sistemas de 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 a cierta presión.



*Ilustración 35 Vaso de expansión, se utiliza para absorber la presión generada por el fluido Caloportador a causa de temperaturas excesivas.*

*Imagen descargada de: <http://imcosamex.com/valvula-de-expansion-tgex/>*

Cuando el fluido del circuito primario se calienta, se va a generar un aumento en su volumen y en consecuencia la presión va a crecer, es entonces cuando la contrapresión ejercida por la

membrana del vaso de expansión por el fluido vence la presión del gas. Este efecto trae consigo una deformación de la membrana dejando pasar el fluido dilatado en el interior del vaso.

Cuando el fluido de trabajo se enfría, se produce una disminución en la presión del circuito y el gas del vaso ejerce contrapresión necesaria para devolver dicha presión a dicho circuito.

### 1.12.5 Sistema de intercambio de calor

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

En sistemas indirectos, la utilización de un intercambiador introduce una pérdida de rendimiento adicional en el proceso de transferencia de calor al depósito de acumulación que puede minimizarse, no obstante está justificada porque puede eliminar los problemas que surgen.

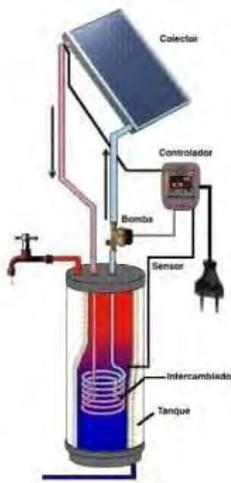


Ilustración 36 sistema de calentamiento solar con sistema de intercambio indirecto.

Imagen descargada: <https://www.emaze.com/@AITILORC/Energ%C3%ADa-T%C3%A9rmica-Solar>

La utilización de un intercambiador, no obstante está justificada porque puede eliminar los problemas que surgen en los sistemas directos tales como corrosiones y depósitos calcáreos, heladas y presiones elevadas en colectores.

Cuando se utiliza un sistema directo, es fundamental asegurarse del uso de materiales compatibles entre sí. Y con el agua de consumo. El agua de red normalmente contiene mucho aire disuelto y el oxígeno es el mayor responsable de la corrosión.



*Ilustración 37 calentador solar de placa plana (calentamiento indirecto) y convección libre.*

*Imagen descargada: <http://aqptekcnosol.com/termas-electro-solares/>*

De la misma forma en los sistemas indirectos aumenta la presencia de suciedades, incrustaciones calcáreas, etc. que con el tiempo van empeorando los equipos. Un sistema indirecto se justifica también ya que el sistema es anti heladas y finalmente el último factor que justifica el uso de sistemas indirectos es la presión.

### 1.12.6 Tipos de sistema Auxiliar de energía.

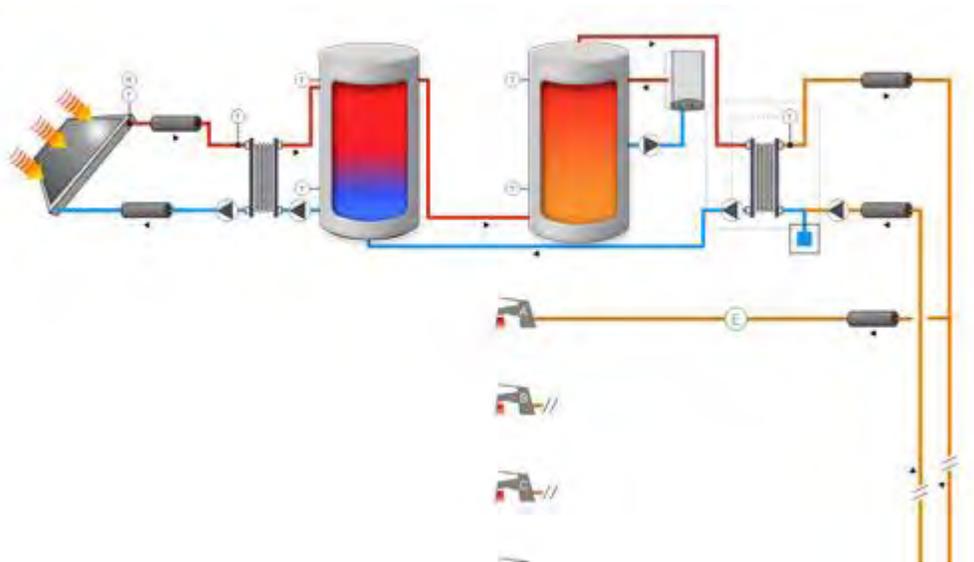
La reciente creación de condominios a proliferado que la producción de agua caliente sanitaria en sistemas solares, en formas que no eran muy comunes partiendo de una acumulación solar centralizada, o distribuida, alimentan con agua caliente o precalentada a una caldera de tipo modulante.

#### a) Acumulación solar y auxiliar centralizada.

Hasta ahora ha sido un esquema tradicional de las instalaciones de preparación de agua caliente sanitaria, alimentadas por energía solar correspondiente a la disposición que se muestra en la figura.

Este sistema plantea dos problemas fundamentales cuando se trata de instalaciones ubicadas en edificios de viviendas, para uso residencial:

Requiere de mayor espacio común a utilizar ya que debe disponer no solo del espacio necesario para ubicar la comunicación solar, sin que también debe disponer del espacio necesario para la acumulación del sistema y para la caldera.



*Ilustración 38 Instalación solar térmica con sistema de acumulación centralizada y caldera centralizada*



### c) Acumulación centralizada que alimenta a termos eléctricos

En este caso si bien la energía auxiliar no es primaria (gas), el control es mucho más sencillo. En la figura. Aparece un esquema de este tipo de instalación. Para una agrupación de vivienda. No es necesario Preparar los termos eléctricos para el caso de la acumulación solar centralizada, al contrario de lo que ocurre si se utilizan calderas de gas.

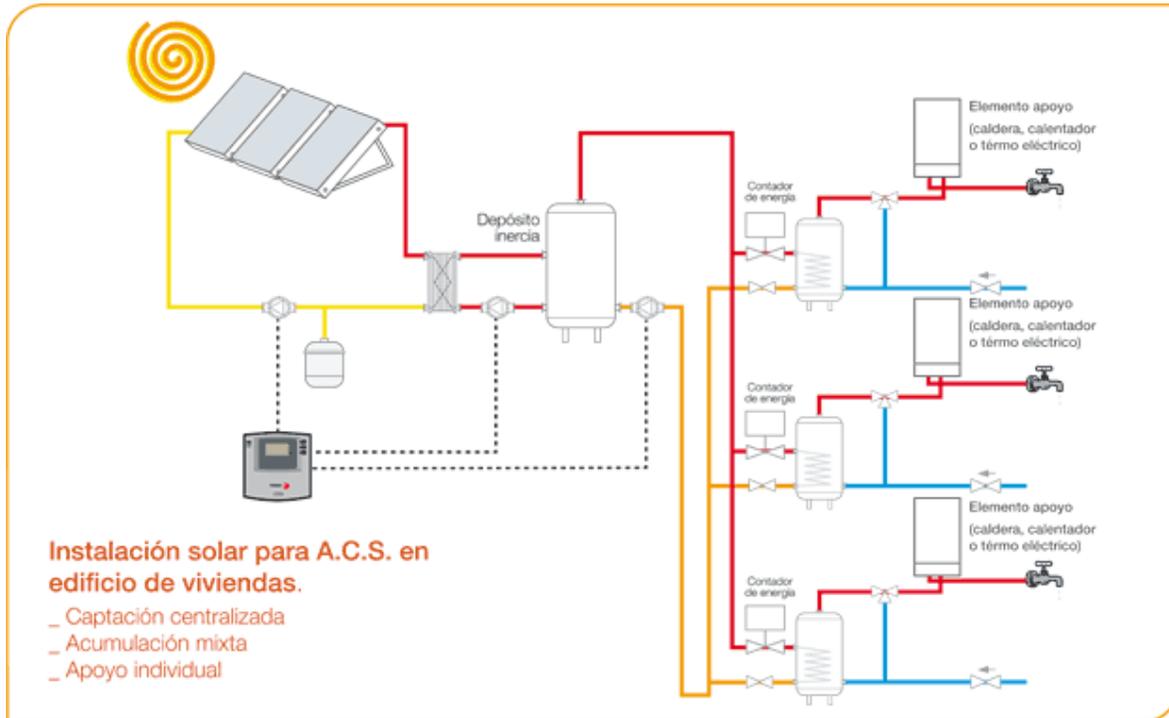


Ilustración 40 Sistema de acumulación centralizada con termos eléctricos y calderas de apoyo

Imagen descargada de: <http://www.webquestcreator2.com/majwq/ver/miniver/1314>

## 1.12.7 Clasificación según la aplicación.

### 1.12.7.1 Calentamiento de ACS

La mayoría de las aplicaciones de la energía solar particularmente las que proporcionan un servicio que se requiere de forma continua, es decir, no solo cuando hay insolación, requieren al menos dos elementos que ya se han descrito anteriormente: Un colector que transforme la luz en calor y un sistema de almacenamiento.

En el caso de la producción de agua caliente sanitaria, las temperaturas requeridas son del orden de 40 a 50 °C. Esto implica que los colectores más adecuados, son los de panel plano y los de panel de tubos Heat-Pipe.

### 1.12.7.2 Calentamiento de piscinas

Normalmente las instalaciones serán mixtas, es decir, dedicadas a la producción de agua caliente sanitaria y al calentamiento del vaso de las piscinas.

Las instalaciones solares para preparación de agua caliente sanitaria y el calentamiento de piscinas proporcionan un considerable ahorro de combustible. Los requerimientos de temperatura, depende del uso si la piscina es para uso deportivo, la temperatura estará en 22 °C y si la temperatura es para el uso de niños será de unos 30 °C. El volumen que nos encontramos es necesario aplicar grandes cantidades de energía para poder mantener esta temperatura.



Ilustración 41 Sistema de calentamiento solar para piscinas.

Imagen descargada: <http://www.h2osoluciones.com/calentadores-solares-para-albercas-piscinas.html>

Debido a esto, y al constante incremento de precios del gas, muchos de los usuarios de sistemas tradicionales han dejado de utilizarlos. Para las piscinas cubiertas siempre será necesario realizar

calentamiento de agua con mantas de polipropileno. Debido a las bajas temperaturas de operación se puede utilizar colectores energía solar bastante sencillos, que solo usen tratamiento de pintura negra cuando se trate de una zona con buenas condiciones irradiación.

### 1.12.8 Dimensionamiento de un sistema de Agua caliente sanitaria (ACS).

El termino Agua Caliente Sanitaria por sus siglas en español ACS es el término que se emplea para referirse al agua caliente del hogar

Normalmente una casa, suele gastar entre 12 y 16 GJ/año para calentar agua sanitaria con algunas pequeñas variaciones mensuales, mientras que una casa alimentada con energía solar en su totalidad ocupa 3.4GJ/año pero el 38% de esta cifra son pérdidas de calor por lo que la cantidad exacta es 2.08 GJ/año. En la tabla 1 se incluyen los consumos unitarios máximos de agua caliente en viviendas, hospitales, hoteles, escuelas, oficinas, cafeterías, gimnasios etc.

Un sistema solar para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) es capaz de suministrar el 99% de las necesidades de una casa, hotel o gimnasio. Se pueden emplear los mismos colectores en el caso de las piscinas y de la calefacción. (Fernandez , 2010)

*Tabla 1.- Consumos estimados de agua caliente en viviendas, oficinas, hospitales, hoteles, restaurantes, cafeterías, escuelas gimnasios etc. (Fernandez , 2010)*

<i>Criterio de consumo</i>	<i>Litros/día</i>	
<i>Viviendas unifamiliares</i>	40	Por persona
<i>Viviendas multifamiliares</i>	35	Por persona
<i>Hospitales y clínicas</i>	80	Por cama
<i>Hoteles</i>	100	Por cama
<i>Hoteles</i>	80	Por cama
<i>Hoteles/Hostales</i>	60	Por cama
<i>Camping</i>	60	Por emplazamiento

<i>Hoteles/ Pensiones</i>	50	Por cama
<i>Residencias (ancianos estudiantes etc.)</i>	80	Por cama
<i>Vestuarios/ duchas colectivas</i>	20	Por servicio
<i>Escuelas</i>	5	Por alumno
<i>Cuarteles</i>	30	Por persona
<i>Fábricas y talleres</i>	20	Por persona
<i>Oficinas</i>	5	Por persona
<i>Gimnasios</i>	30 a 40	Por usuario
<i>Lavanderías</i>	5 a 7	Por kilo de ropa
<i>Restaurantes</i>	8 a 15	Por comida
<i>cafeterías</i>	2	Por almuerzo

Adicionalmente se tendrán en cuenta las pérdidas por distribución/ recirculación del agua a los puntos de consumo.

### 1.12.9 Criterios generales del diseño hidráulico.

Un diseño adecuado del trazado de la conducción hidráulica, desde el sistema de captación hasta el sistema de acumulación, es posiblemente la clave del buen funcionamiento de una instalación solar térmica. Este diseño adecuado debe considerar una serie de criterios básicos, entre los que merecen la pena destacar:

- **Caudal:** A la hora de calcular el monto aproximado de caudal de la instalación se considera un valor estándar, se toma un valor de circulación que varié entre 42 a 60 *l/hr* por colector o batería de colectores en serie.
- **Longitud:** Deberá cuidarse que la longitud del trazado hidráulico sea lo menor posible, para evitar pérdidas de calor, así como, de las pérdidas por la caída de presión generada por los accesorios del circuito hidráulico.
- **Diseño Equilibrado:** Como punto esencial en el diseño, se debe partir como concepto de un circuito hidráulico equilibrado. Esto quiere decir que el recorrido lineal que se realice para cada uno de los colectores, o batería de colectores debe ser igual para cada uno de

ellos. Siempre que este recorrido lineal tenga la misma longitud, Las pérdidas de carga serán iguales y, por tanto, también será el mismo el caudal que pase por cada colector o batería de colectores.

De esta manera se asegura que se va a producir un salto de temperatura homogéneo en todo el campo de colectores, y que las temperaturas de entrada y salida a cada batería serán iguales.

Existen casos en que hacer un diseño equilibrado no es factible. Entonces es necesario diseñar un lazo de control donde las válvulas, que incorporen sensores micrométricos de temperatura (termopares), que se encarguen de controlar el caudal en cada punto de ramificación del circuito hidráulico

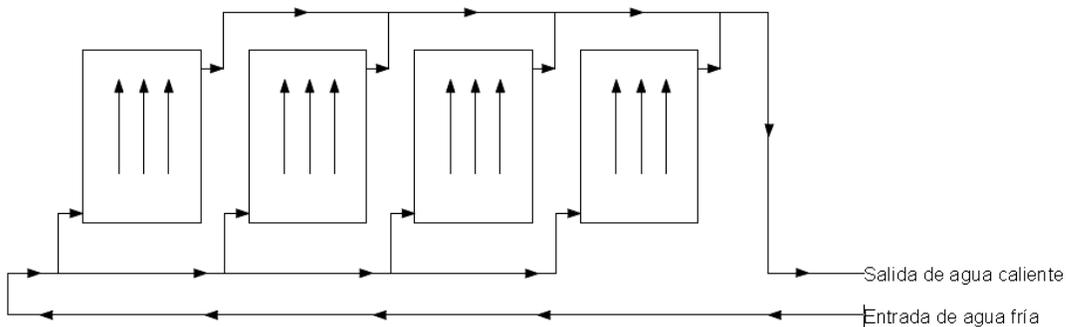
- **Seguridad:** Se debe tener en cuenta que existen variaciones de temperatura y presión en el circuito que puede ser muy importantes. Por eso es imprescindible disponer en el diseño de la instalación de elementos que permitan la correcta expansión del fluido, Y dispositivos de seguridad que garanticen la integridad de la instalación antes sobrepresiones.

La presencia de aire en la instalación es muy perjudicial, tanto desde el punto de vista de transmisión de calor, desde el funcionamiento de los captadores solares o desde la propia necesidad de la circulación del fluido. Por ello, es preciso que el diseño del circuito hidráulico haga lo posible por evitar la formación de bolsas de aire. Adicionalmente se debe prever que los sistemas faciliten la purga de aire de la instalación, ya sea durante el funcionamiento normal de la misma o durante los procesos de llenado y operaciones de mantenimiento de la instalación.

- **Montaje y desmontaje:** Normalmente los subsistemas hidráulicos integrados en sistemas solares térmicos discurren por zonas que no son de difícil o complicado acceso sino que traen consigo unas condiciones de manipulación elementos muy complicados. Por ello, el diseño debe tener en cuenta a la hora de facilitar al instalador o mantenedor las labores de montaje y desmontaje y de todos y cada uno de los componentes de instalación.

### 1.12.9.1 Equilibrado mediante la técnica del retorno invertido.

Tal y como se ha visto en el apartado interior, es necesario que el reparto de caudal sea equilibrado en los captadores. Esto provoca que, en la práctica, que el proyectista, en el momento, llegue estudiar el diseño hidráulico equilibrado, recurra a una técnica económica mente viable, a la técnica del retorno invertido.



*Ilustración 42 Diseño de retorno invertido*

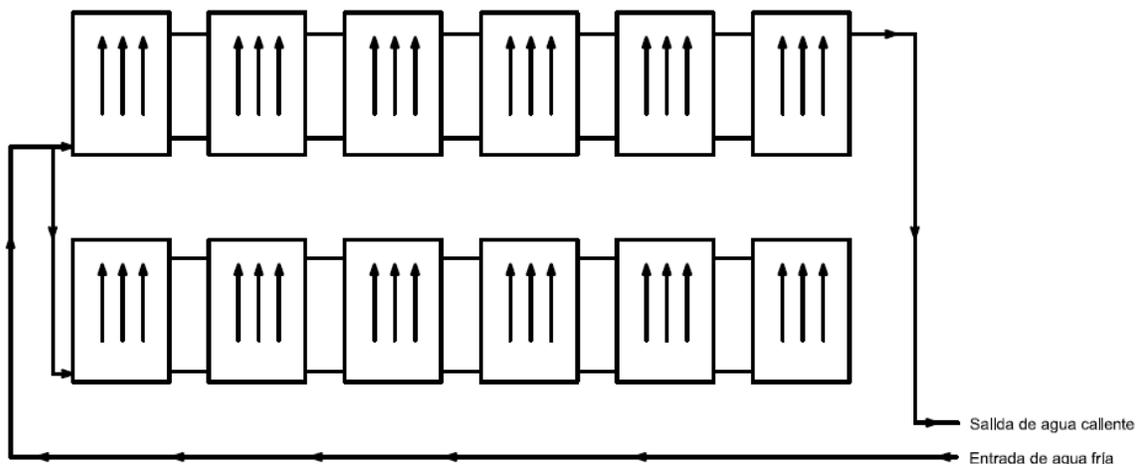
Mediante esta técnica del retorno invertido lo que se hace es partir de una situación en la que se comienza con un circuito de ida donde la conducción del fluido frío se dirige hasta el colector más lejano para, a partir de este punto, distribuir el fluido a todos los paneles colectores de energía por la parte superior opuesta a la conexión de entrada, manteniendo siempre un orden contrario al circuito de ida, es decir el colector que primero recibe en la alimentación del fluido caloportador es ahora el último lugar en recoger el lugar del fluido caliente y viceversa.

Con objeto de minimizar las pérdidas de calor, este tipo de montaje en retorno invertido, se realizará siempre que sea posible, de manera que la parte más corta del circuito primario corresponda a los tramos de salida caliente de los colectores.

El inconveniente con esta técnica es que el número de colectores que se pueden poner en este arreglo es limitado debido a la carga térmica de la parrilla de los tubos en las condiciones de caudal de diseño. Es por esta razón que se deben tener alternativas como son los circuitos en paralelo y serie

### ***1.12.9.2 Conexiones en paralelo.***

Mediante esta configuración, unido a un diseño hidráulico mediante la técnica del retorno invertido, nos podemos asegurar que todos los colectores funcionan de una manera similar.

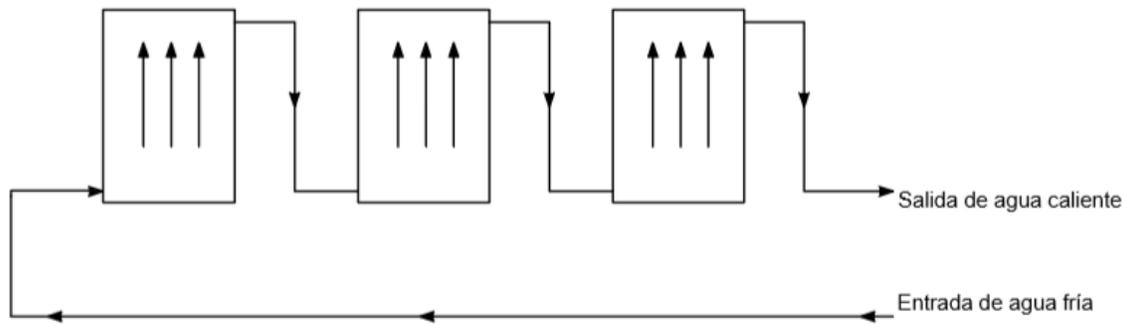


*Ilustración 43 Diseño en paralelo*

Las configuraciones en paralelo pueden ser bien entre colectores puede ser considerada como la figura anterior o entre baterías de colectores como aparece en la siguiente figura.

En este caso, se realiza la conexión entre baterías que a su vez están compuestas por colectores conectados en serie. En este caso no se recomienda la instalación de baterías con más de 5 o 6 colectores.

#### 1) Configuración en serie



*Ilustración 44 Arreglo de paneles en serie.*

Con este tipo de conexión la principal ventaja radica en que los caudales totales serán menores que la conexión en paralelo, lo cual implica que los diámetros de tuberías sean menores así como los recorridos y el tamaño de las bombas de circulación.

Sin embargo tiene algunos inconvenientes dado que a medida que el fluido de trabajo pasa desde un colector a otro, el aporte energético que tienen estos es cada vez menor generando sobrecalentamiento en el último colector por el que pasa el fluido.

Además, puesto que el trazado no es lo más idóneo para facilitar la evacuación de aire, el circuito se vuelve propenso a la generación de bolsas de aire.

### **1.12.9.3 Materiales en el sistema hidráulico.**

Al seleccionar las tuberías apropiadas para una determinada aplicación hay que tener en cuenta que realmente se trata de sistemas compuestos por:

**Tuberías:** son el componente fundamental, para su selección se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

**1º Compatibilidad con el fluido.** En primer lugar se cuidará que el material con el que están fabricadas sea compatible con el fluido a transportar, por lo que no afectarán a su composición ni producirán reacciones con el mismo. Los componentes del sistema de tuberías no deben modificar

las características de potabilidad del agua, no debe olvidarse que aunque el ACS no se beba sí está en contacto con las personas.

Dentro de los materiales que se deben emplear:

- Metálicos:
  - Acero galvanizado (solo en agua fría).
  - Acero inoxidable.
  - Cobre.
  
- Termoplásticos:
  - Policloruro de vinilo no plastificado (PVC).
  - Policloruro de vinilo clorado (PVC-C).
  - Polietileno (PE).
  - Polietileno reticulado (PE-X).
  - Poli butileno (PB).
  - Polipropileno (PP).
  - Multicapa polímero/aluminio/polietileno (PE-RT).
  - Multicapa polímero/aluminio/polietileno (PE-X).
  - Tuboplus o Termoflow, (PPR).

**2º Presión de trabajo** Las tuberías deben ser capaces de soportar la presión de trabajo en su instalación. Hay que tener en cuenta la presión de trabajo; en el campo de aplicación del Agua caliente Sanitaria ACS los metales, con la excepción del galvanizado, no presentan problemas de temperatura ni de presión. Los termoplásticos, sin embargo, cuanto mayor es la temperatura de

trabajo menor presión soporta, por lo que al seleccionar el material hay que tener en cuenta los dos criterios. La presión de trabajo de los materiales termoplásticos se define por el número de serie.

**3º Temperatura de trabajo** El sistema debe de ser capaz de soportar temperaturas periódicamente de 70 °C esto con el fin de prevenir la legionela, y en condiciones de trabajo normal a unos 50°C sin que presente ninguna deformación plástica ni en tubería conexiones o válvulas.

Además se debe tener en cuenta otros elementos, que también forman parte de los sistemas, como son: Accesorios, Soportes, Aislamiento, Dilatadores etc.

### **1.12.10 Diseño del sistema de intercambio de calor**

El intercambio de calor entre dos corrientes de fluidos distintos es uno de los procesos más importantes que encontramos habitualmente en calderas, calentadores, refrigeradores etc. produciéndose un intercambio entre un fluido caliente y uno frío. Los dispositivos que se utilizan para que dos fluidos intercambien calor sin mezclarse entre ellos se conocen como intercambiadores de calor.

El intercambiador seleccionado resistirá la presión máxima, de trabajo de la instalación, los materiales del intercambiador de calor también deberán resistir la temperatura máxima de trabajo.

### **1.12.11 Clasificación de los elementos de intercambio de calor.**

Tal y como se ha visto en los apartados anteriores la función del sistema de intercambio es responsabilizarse de que la transmisión de la transmisión de calor entre un circuito primario, que circula a través de los captadores y un circuito secundario que normalmente integra la acumulación.

De este modo tenemos tres tipos de sistemas de intercambio de calor, son el intercambiador externo, el intercambiador interno y el sistema de intercambio directo.

**a) Sistemas de intercambio externos.**



*Ilustración 45 Intercambiador de calor de placas normalmente utilizadas para sistemas que manejan termotanques con volúmenes mayores a 10,000 litros  
Imagen descargada de:  
<http://www.climatizacionparapiscinas.es/cat/intercambiadores>*

Se considera intercambiador externo a aquel que se ubica fuera de los depósitos o recipientes de acumulación, siendo instalados de forma independiente. A estos intercambiadores externos normalmente se utilizan intercambiadores de placas. Que es un pequeño circuito con placas metálicas que aumenta la relación superficie volumen del elemento con objeto de favorecer la transmisión de calor.

El hecho de que se ubiquen fuera del recipiente de almacenamiento trae consigo la necesidad de que existan bombas de circulación tanto por el circuito primario como en el secundario. No obstante presentan ventajas tales como.

- El almacenamiento es muy sencillo por lo que el elemento es reemplazable y desmontable de un modo simple.
- Su empleo permite ampliar la potencia de intercambio de calor de una superficie existente al ser posible aumentar el número de placas del elemento o bien su sustitución.
- Tienen un rendimiento aceptable.
- El material con el que lo fabrican es de alta durabilidad y calidad.

Los intercambiadores son muy recomendables para aquellas instalaciones que incorporen acumuladores de circuito abierto. Si bien suelen emplearse de modo habitual para volúmenes mayores a 10,000 litros. Dentro de los intercambiadores de calor aquellos que ya vienen las placas entres soldadas por ello hemos tomado un apartado para hablar de ello.

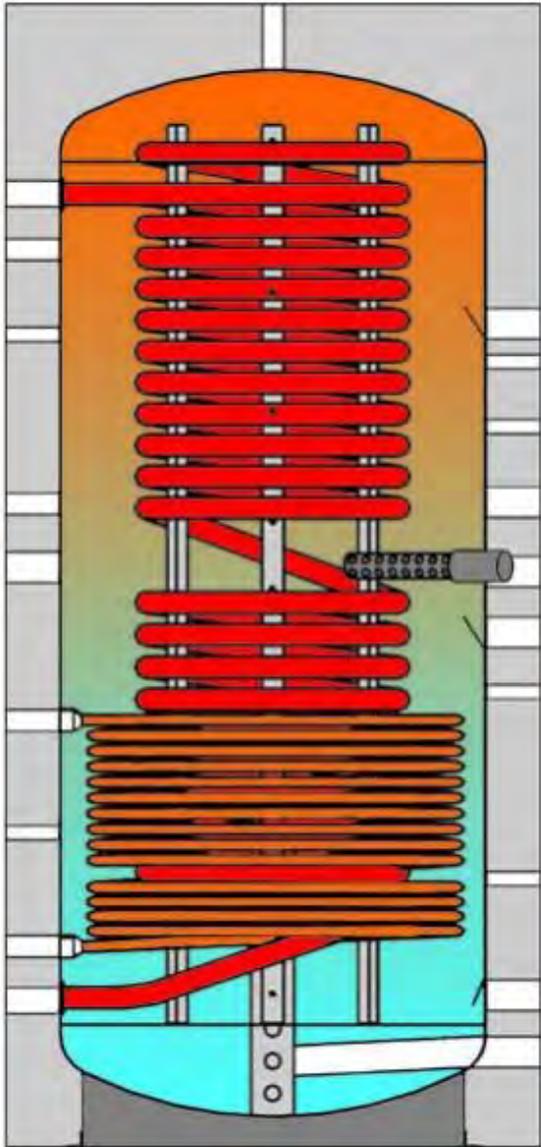
**Acumulación Intercambiadores de placas electrosoldadas:** Cada vez es más amplia la oferta de intercambiadores de placas soldadas; respecto a los de placas desmontables tienen el inconveniente de que no se pueden desmontar, sin embargo presentan mejores características de funcionamiento, y son más baratos, por lo que teniendo en cuenta que las juntas deben sustituirse periódicamente a largo plazo resultan más económicos. El material más frecuente de las placas es el acero inoxidable AISI 316. Se unen por termo soldadura con cobre y sus condiciones habituales de trabajo son:

- Temperaturas de trabajo: -180 °C a 200 °C.
- Presión máxima de trabajo: 25 bar.

**b) Sistemas de intercambio Internos.**

Se consideran dentro de los sistemas de intercambio internos a todos aquellos que el elemento que se encarga de a transferencia de calor se encuentra dentro del recipiente acumulador. Existen varias soluciones, sin embargo la más común y económica hasta el momento sigue siendo el intercambiador de espiral o serpentín.

Sistemas de intercambio con serpentín: En este caso existe una relación superficie volumen por el que se hace circular el fluido del circuito primario. En este caso podemos encontrarnos con equipos de serpentín cilíndrico, simple o doble.



En realidad el serpentín no es otra cosa que más que un rollo de tubería que se encuentra sumergido dentro del tanque de acumulación, a través del que circula fluido caloportador del circuito primario. Desde las paredes del tubo se transmite la potencia térmica demandada por el circuito secundario. Estos sistemas suelen utilizarse para instalaciones pequeñas y medianas de hasta, de hasta 1000 litros.

Para sistemas solares, las distintas especificaciones indican que debe de existir una superficie mínima de intercambio de calor interno alimentado desde el circuito primario y la superficie total de captación, de modo que no sea inferior a 0,15. No obstante, se recomienda que dicha relación alcance valores mínimos de 0,25

para volúmenes medios de acumulación y 0,33 para volúmenes pequeños. En el caso de que el serpentín se alimente desde el sistema de producción de valor convencional, como una caldera o bomba de calor, dicha relación debe de ser mínimo de 0,10e este modo los sistemas con doble

*Ilustración 46 Tanque termico con sistema de intercambio de calor interno*

*Imagen descargada de:  
<http://tienda.lacasasostenible.com/depositos-ac-s-y-calefaccion/224-total-para-ac-s-instantanea-y-calefaccion.html>*

serpentín, que por uno de ellos circula el fluido caloportador que recoge la energía solar mientras que el otro transmite calor con el sistema de apoyo dispondrán de una mayor superficie.

### **1.12.11.1 Dimensionamiento de Sistemas de intercambio.**

#### 11.1.1.1. Potencia térmica.

Para seleccionar un intercambiador se comienza con la potencia demanda por ello se emplea la fórmula de transferencia e calor.

$$Q = m C_p (T_e - T_s) \quad (5)$$

Donde:

Q = calor

m = masa

C<sub>p</sub> = calor específico del fluido

(T<sub>e</sub> - T<sub>s</sub>) = Es el cambio de temperaturas en el intercambiador de calor

Para calcular los valores de caudal circulante en el circuito primario se recomienda que los valores idóneos estén entre 42 y 60 L/h por cada m<sup>2</sup> de área de colectores, para el caso del circuito secundario el caudal estará dictado por la demanda térmica de la instalación, supuesto a un salto térmico en el intercambiador. El calor específico de cada fluido es diferente porque en sistemas con intercambiador de calor se utiliza como fluido de trabajo etilenglicol, mientras que en el circuito secundario se utiliza agua caliente sanitaria ACS.

Definiendo los valores en la ecuación de calor podemos decir que:

- T<sub>ce</sub>: temperatura de entrada del circuito primario
- T<sub>cs</sub>: temperatura de salida en el lado frío del circuito primario
- T<sub>fe</sub>: Temperatura de entrada en el circuito secundario (temperatura ambiente)
- T<sub>fs</sub>: Temperatura de salida del lado frío.

Y con ellos se busca que se cumpla la relación:

$$m_c \cdot C_{p_c} \cdot (T_{ce} - T_{cs}) = m_f C_{p_f} (T_{fe} - T_{fs}) \quad (6)$$

Existen una serie de valores recomendados dependiendo la aplicación que tiene la instalación:

### 1.12.12 Diseño y cálculo del sistema de intercambio externo

En general un intercambiador de calor se caracteriza por cuatro factores.

- La potencia térmica.
- La pérdida a la carga.
- Su ensuciamiento.
- Su efectividad.

El proceso de cálculo y dimensionamiento de los elementos de intercambio va a depender de su configuración.

<i>Aplicación</i>	$T_{ce}$	$T_{cs}$	$T_{fs}$
<i>Piscinas</i>	50°	28°	24°
<i>Agua caliente sanitaria (ACS)</i>	60°	50°	45°
<i>Calefacción a baja temperatura</i>	60°	50°	45°
<i>Refrigeración/calefacción</i>	105°	90°	75°

Tabla 2 Temperatura de agua en diferentes aplicaciones. (Ibañez Plana & Rosell , 2005)

21.1.1.1. Perdida de carga.

Como criterio de diseño, se mantendrá un valor de pérdida de carga inferior a 3 mm c.d.a., ya sea por circuito primario o por secundario.

31.1.1.1. Ensuciamiento.

El ensuciamiento del elemento es un factor muy influyente en su rendimiento y vida útil. Por ello debe contarse preferentemente con intercambiador de calor cuyo diseño haga posible que se realice su limpieza de modo sencillo, preferentemente de modo líquido que no sea necesario desmontar el equipo.

Para el caso nos ocupa, los intercambiadores deben de contar con la garantía aportada por el fabricante que su factor de ensuciamiento máximo es inferior a lo que se incluye en la siguiente tabla, en función de la calidad del agua o características del circuito.

<b>Circuito de consumo</b>	<b>m<sup>2</sup> · K/W</b>
<b>Agua blanda y limpia</b>	0,0006
<b>Agua dura</b>	0,0012
<b>Agua muy dura y o sucia</b>	0,0018
<b>Circuitos cerrados</b>	0,0008

Tabla 3 factor de ensuciamiento de agua caliente sanitaria dependiendo de sus características (Perales, 2009)

### **1.12.12.1 Efectividad.**

Debe considerarse que un sistema de intercambio de calor externo entre el circuito primario y el secundario no tendrá por qué disminuir la efectividad del sistema de captación.

Es básico recordar en este punto que el sistema de captación tendrá mayor efectividad cuanto menor sea la temperatura de retorno en el primario por lo que si el intercambiador no transfiere adecuadamente la energía del primario se producirá un aumento de temperatura de funcionamiento de captadores, con los que de modo inmediato estaremos perdiendo rendimiento en el sistema.

A modo de recomendación, se apuntan que esta pérdida, en el valor absoluto, en el rendimiento del colector no debería exceder a un 10%, en condiciones de máxima temperatura de funcionamiento.

## **1.12.13 Sistemas de intercambio interno.**

En este caso, se analizan con condiciones distintas, los cuatro factores anteriormente señalados (Potencia térmica, pérdida de carga, ensuciamiento y efectividad o rendimiento térmico), puesto que potencia y efectividad se suelen integrar al relacionarse ambos en modo directo con la superficie útil de transferencia de calor y la del sistema de captación, mientras que pérdida de carga y ensuciamiento mantienen dependencia directamente con el diámetro interior de los serpentines.

### **1.12.13.1 Potencia y efectividad.**

La citada superficie útil de transferencia de calor equivale a la superficie total del elemento de intercambio que se encuentra en contacto directo con el agua del acumulador.

La potencia del serpentín se podría identificar en función de los cambios de temperatura que genera en el circuito secundario el fluido de trabajo tras haber pasado por los colectores solares, a esto se le denomina salto térmico.

Para los sistemas solares térmicos, mediante la relación existente entre los valores mencionados en el punto 1.12.11 [Clasificación de los elementos de intercambio de calor](#).

#### **1.12.13.2 Pérdida de carga y ensuciamiento**

Para el caso de los sistemas de intercambio interno con doble envolvente estos dos factores carecen de relevancia. Sin embargo, en el caso de sistemas con serpentín los factores de pérdida de carga y ensuciamiento, serán inversamente proporcionales al diámetro interior de la tubería.

Para sistemas solares térmicos se recomienda mantener diámetros interiores de ½” a 1” para el serpentín primario para acumuladores de hasta 500 litros, y de 1” a ½” para equipos de 501 a 1000 litros, en instalaciones tradicionales con instalación forzada.

### **1.12.14 El sistema de acumulación.**

Los sistemas de energía solar térmica nunca podrán traer consigo una producción instantánea de agua caliente capaz de compensar las necesidades de consumo. Por ello es imprescindible disponer de acumulación que permita, además de disponer del servicio con independencia de las condiciones de irradiación en cada instante. De este modo, es el sistema de acumulación el encargado de almacenar el calor instantáneo transferido desde los colectores térmicos. En algunas aplicaciones, como el calentamiento de piscinas o de algunos sistemas de apoyo a calefacción, no será en principio necesario emplear depósito de acumulación (ya que se empleará el propio vaso de la piscina o el circuito de calefacción como sistemas de acumulación). Dentro de los sistemas más utilizados comúnmente están:

- **Acumuladores sin intercambio o de circuito abierto:**

Los acumuladores sin intercambiador tienen la única misión de almacenar el agua, que es calentada o bien en otro acumulador, dispuesto agua arriba y en serie, o mediante un

intercambiador externo, por lo que resultan menos adecuados para producción de agua caliente sanitaria ACS. Es común que para volúmenes mayores a 1000 litros se utilicen este tipo de equipos.



*Ilustración 47 Interacumulador o tanque térmico sin sistema de intercambio*

*Imagen descargada de: <http://www.codesolar.com/Energia-Solar/Calfaccion-Solar.html>*

- **Interacumuladores de intercambio simple.**

Este tipo de equipos resultan idóneos para su empleo en sistemas de producción de agua caliente, si bien, por criterios de coste anteriormente mencionados, suelen ser utilizados especialmente en aquellas instalaciones en las que se precisen de volumen menor a 1000 litros. Dentro de los tanques térmicos podemos encontrarnos normalmente con modelos con serpentín, que suelen tener disposición vertical ya sea simple o doble con intercambiador, o de doble envolvente, utilizados preferentemente en equipos de termosifón, con configuración horizontal. En la que se representa esquemáticamente una modelización de la circulación interior y por consiguiente la estratificación en un intercambiador con disposición vertical.

En los termotanques con serpentín, al estar en contacto directo y permanente con todo el volumen de agua a calentar, posee valores de convección libre mucho mayores que un intercambiador de doble pared.

En este caso, el depósito acumulador dispone de doble envolvente, es decir, que realmente está compuesto por dos depósitos, uno construido dentro del otro. De esta manera, el fluido Caloportador del circuito primario entra y rellena el espacio comprendido entre el depósito exterior y el interior. Así, el fluido Caloportador queda rodeando el volumen de almacenamiento del depósito más interior, donde se contiene el fluido a calentar del circuito secundario. Con esta configuración la pared intermedia que separa el depósito interior del exterior funciona como elemento de intercambio.

Una desventaja de los termotanques de doble pared es que necesitan un contenido de agua en el circuito primario (el agua proveniente de una fuente de calor externa) mucho mayor, que en caso de los termotanques con serpentín, siendo necesaria una gran cantidad de energía para mantener la temperatura.

Por otra parte, desde el punto de vista de las dimensiones del aparato, el interacumulador de doble pared ocupa el 25% más de espacio que uno con serpentín.

- **Interacumuladores con doble intercambio.**

Un interacumulador de doble intercambio cuenta en su interior con dos elementos de transmisión de calor. Normalmente se trata de serpentines, cada uno alimentado, desde el punto de vista energético, por dos fuentes de calor independientes.



*Ilustración 48 En la imagen se observan los tres tipos de interacumulador de izquierda a derecha, sin serpentín, con un serpentín y con serpentín doble*

*Imagen descargada de: <http://luxxyhome.com/placa-solar-con-acumulador.html>*

Dado que los sistemas de producción con energía solar térmica no podrán ser nunca capaces de cubrir al 100% la demanda de agua caliente cada día del año, este tipo de equipos resultan muy indicados para este tipo de aplicaciones. Así es bastante común, especialmente en instalaciones de tamaño medio o pequeño contar con Interacumuladores con doble sistema de intercambio de modo que uno de ellos se alimenta con el fluido caloportador que recorre los captadores solares y el otro se hace con el fluido caloportador que pasa a través de una caldera. Con ello se consigue simplificar al máximo la instalación tanto en espacio como en tendido de tubería

De cara a calcular la potencia de cada uno de estos intercambiadores internos se deberá tener en cuenta la superficie de intercambio y temperatura máxima y mínima de circulación o elemento.

De acuerdo a las heurísticas de diseño utilizadas, alrededor del mundo existen disposiciones oficiales entre el valor mínimo para la relación de la superficie útil de intercambio del serpentín y la superficie total de los captadores de la instalación, de modo que dicha relación no puede ser inferior al 15%, si bien se recomienda estaría en que el valor se mantenga encima del 30% si es posible.

#### ***1.12.14.1 Materiales de construcción para el termotanque***

Los materiales más empleados en la fabricación de termotanques son: acero al carbón con tratamiento esmaltado o vitrificado y acero inoxidable

##### **Acumuladores construidos en acero con tratamiento vitrificado o esmaltado.**

El esmaltado o tratamiento vitrificado del depósito consiste en un compuesto de vidrio que es aplicado en el interior del tanque. A nivel constructivo se aplica en primer lugar una capa de níquel sobre el acero, para lograr una mayor adherencia de dicho compuesto de vidrio. A continuación se sumerge el tanque en una serie de cubas a temperatura controlada donde se consigue que vaya absorbiéndose la capa de esmaltado. Por último se somete al acumulador una fase de horneado y posterior secado, que garantiza la correcta uniformidad del revestimiento sobre la superficie.

Los tanques están expuestos a la corrosión con capas de esmalte puede tener pequeñas microfisuras por las cuales el agua podría colarse y corroer el metal que no cuenta con el recubrimiento esmaltado. Para dificultar este proceso de corrosión, el tanque deberá contener una barra o cátodo que sea propenso a la corrosión como el magnesio. En agua con altos contenidos de azufre suele utilizarse zinc en lugar de magnesio; Ya que las sales de sulfuro de magnesio pueden presentar un olor desagradable, si el ánodo de sacrificio llega a consumirse completamente el proceso no tendrá freno. La manera indicada se saber si el ánodo sigue sirviendo, es haciendo pruebas de conductividad eléctrica y si la conductividad es menor a 60 microSiemen/cm (unidades de conductividad eléctrica) deberá cambiarse el ánodo.

- **Acumuladores de acero inoxidable**

Tradicionalmente el acero inoxidable en los tanques de almacenamiento son los más utilizados producción de agua caliente sanitaria ACS, con una composición de hierro en un 90%, cromo 8% y molibdeno 2%, con ausencia de níquel. Este alto contenido en cromo hace que las partes expuestas del material en forma de protección catódica.

Del mismo modo también presentan problemas con los valores de pH ácidos. Es por ello que la aplicación de este material con aguas que contengan un alto contenido de cloro trae consigo un envejecimiento prematuro.

#### ***1.12.14.2 Condicionantes de diseño***

Hay una serie de factores de diseño que resultan decisivos a la hora de optimizar el funcionamiento del sistema de acumulación.

1. Nivel de resistencia en condiciones de máxima presión y máxima temperatura, ya que al tratarse de equipos, deben de ser sometidos condiciones termodinámicas variables y distintas a las del ambiente que hay que conocer perfectamente el comportamiento de los materiales.
2. Protección de ante corrosiones y degradaciones. Es básico contar con un adecuado tratamiento interno de los materiales que vaya a permanecer en contacto con el agua sanitaria, que puede tener una composición que resulte agresiva por acidez, cloruros y pH etc. Si este tratamiento no es óptimo podemos encontrarnos con la degradación del mismo y la aparición de micro poros e incluso la perforación del depósito de acumulación por la corrosión de la pared interna. En lo que se refiere al exterior, los equipos deben contar con un revestimiento que los proteja tanto mecánica como térmicamente, y es la existencia de un aislamiento adecuado.

3. La geometría del Tanque. Externamente debe tenderse a equipos verticales. En los que la relación base y altura sea lo menor posible, para poder favorecer la estratificación térmica. Internamente, deberán, si es factible, tomarse medidas que impidan una mezcla excesiva o una circulación inadecuada.

#### ***1.12.14.3 Funcionamiento y optimización de sistemas de acumulación.***

Existe una serie de factores que interfieren con el funcionamiento con el sistema de interacumulación.

- **Ubicación y condiciones de montaje:**

Como criterio general, los depósitos de acumulación deberán ubicar siempre que sea posible lo más cerca posible del campo de colectores y de los puntos de consumo, así como dentro de un local interior aislado, para evitar pérdidas de calor. El acumulador deberá estar debidamente protegido si se instala al aire libre. Para favorecer la estratificación, el serpentín incorporado al acumulador solar se sustituirá en la parte inferior del depósito, y en el caso de los equipos de doble serpentín, se utilizara el inferior para el intercambio con el circuito solar y el superior con el sistema auxiliar de apoyo.

- **Capacidad de estratificación:**

La capacidad de estratificación se refiere a la capacidad de distribución vertical de temperaturas del agua en función de la densidad, favoreciendo el rendimiento.

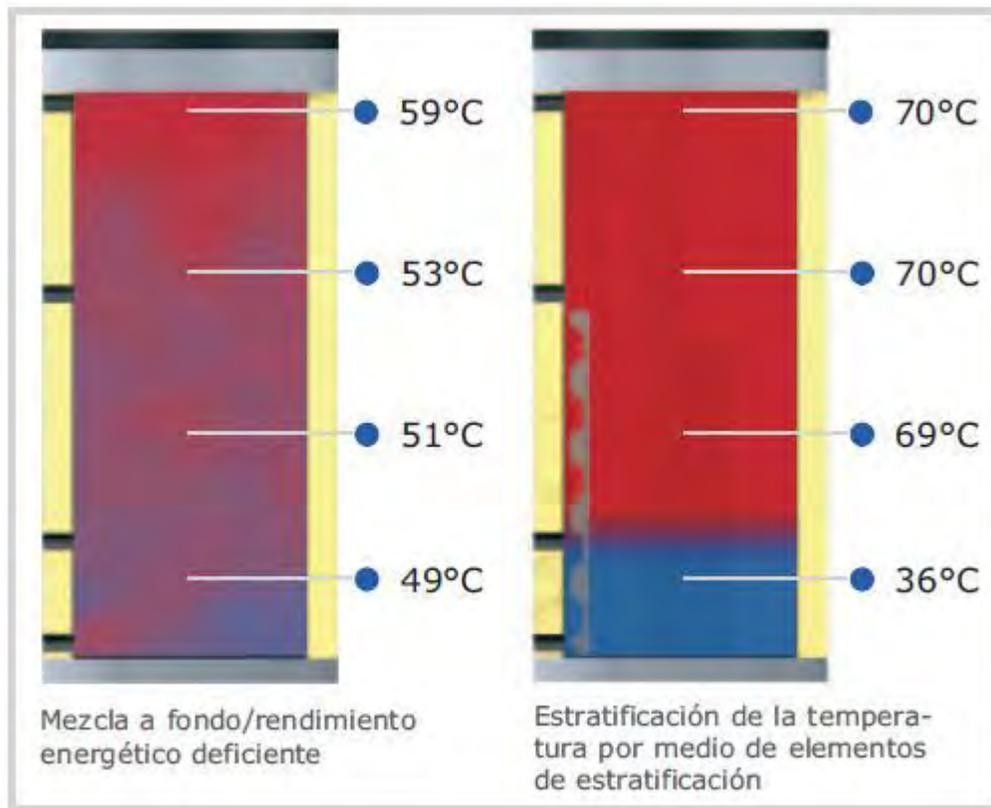


Ilustración 49 De izquierda a derecha, tanque térmico con estratificación de temperaturas y en la segunda imagen se observa una estratificación de temperaturas eficiente

Imagen descargada de: <https://www.solarweb.net/forosolar/general-biomasa/27171-deposito-inercia-estratificado-normal.html>

Se favorecerá la estratificación utilizando depósitos de acumulación verticales y evitando las mezclas en el interior durante el proceso de calentamiento. De este modo se consigue que el agua del depósito hacia el consumo disponga de la mayor temperatura posible mientras que retorna hacia el sistema solar este a la menor temperatura posible.

El proceso de mezcla, contrario a la estratificación, se debe a alta velocidad del agua al entrar o al salir del depósito de acumulación ya que resulta perjudicial para el proceso. Para evitar que se mezcle el agua fría y la caliente se deben utilizar elementos que reduzcan la fuerza con la que el agua proveniente de los colectores solares no choque con la de la pared del depósito de

acumulación, o ajustar los diámetros de las tuberías a los caudales calculados de modo que se reduzca la velocidad del fluido.

Es indispensable prestar atención especial en el diseño de las conexiones de entrada y salida del depósito de acumulación para evitar la circulación del fluido por caminos que provoquen calentamientos desiguales.

- **Condiciones de operación del termotanque:**

Otros aspectos básicos para su selección son la presión y la temperatura de trabajo. Atendiendo a los requisitos de presión a garantizar en los puntos de consumo establecidos en el documentos establecidos internacionalmente “la presión mínima de trabajo debe ser de 6 bar, siendo recomendable 8 bar.

En cuanto a la temperatura de trabajo, atendiendo a los requisitos de prevención de la legionelosis, la misma no deberá ser inferior a 70 °C. Los depósitos (Figura 01) deben disponer de las siguientes” (Comision Nacional de Vivienda CONAVI, 2010).

**Conexiones:**

Entrada de agua de consumo con un deflector que la dirija hacia la parte inferior del depósito, de manera que se reduzca la zona de mezcla favoreciendo la estratificación del agua en su interior.

- La conexión procedente de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al acumulador se hará a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura del mismo.
- Salida del ACS hacia consumo, situada en la parte superior del depósito.
- Vaciado en la parte inferior para la purga de lodos y para la toma de muestras para los análisis de legionela.

- Registro para limpieza; para capacidades inferiores a 750 l se admiten tamaños de registro que permitan la limpieza interior manual; “para capacidades superiores el tamaño mínimo del registro será 508 mm también denominado “entrada de hombre” ya que permiten el acceso de una persona a su interior” (Ingeniería Leon S.A. de C.V., 2005).
- Tomas para la conexión de los sistemas de producción, bien con intercambiadores exteriores de placas, o bien con serpentines interiores; estos últimos habitualmente tienen su acceso, a través del cual pueden ser extraídos. Se requieren otras conexiones para sondas de regulación, termómetros, válvula de seguridad, recirculación de ACS, etc.
- Asimismo, como ya se habló en puntos anteriores es necesario tener una conexión para ensamblar la protección catódica para evitar corrosión en el tanque.

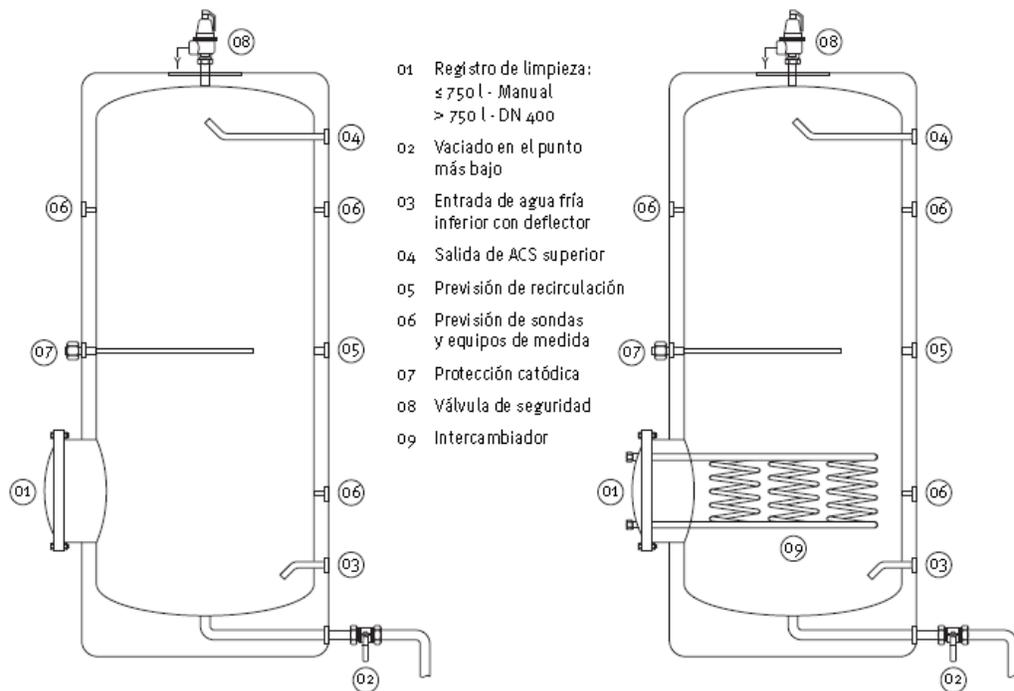


Ilustración 50 Partes de un tanque térmico sin serpentín y con serpentín. (MINENERGIA, 2010)

#### ***1.12.14.4 Pérdidas de calor y aislamiento térmico***

Deben aislarse adecuadamente con el tipo y espesor de aislamiento que indican las especificaciones técnicas correspondientes. Se evitarán los puentes térmicos a través de las conducciones hidráulicas y de los apoyos que utilicemos para ubicar el depósito de acumulación, procurando situarlo en un local interior. Ya que las pérdidas de calor serán menor en el interior que en el exterior.

Uno de los aspectos más importantes de las instalaciones centrales de ACS es el aislamiento térmico; no debe olvidarse que se trata de instalaciones que funcionan durante todo el año, y aunque las temperaturas de distribución puedan ser inferiores a las de las instalaciones de calefacción, en el conjunto de la temporada pueden presentar mayores pérdidas de calor. Asimismo, para la prevención de la legionelosis se utilizan en la actualidad temperaturas más altas, lo que implica mayores necesidades de aislamiento; además, cuanto mayor sea el mismo menos problemas se tendrán para mantener las temperaturas necesarias en los puntos más alejados. Otro aspecto del aislamiento térmico que no debe olvidarse es el de las tuberías de agua fría cuando las mismas discurren próximas a las de ACS. Actualmente se utiliza como material aislante poliuretano expandido con un espesor de 5 cm, como heurística de diseño, en tanques de acero inoxidable que comprenden dimensiones entre 500 y 3,000 litros.

### **1.12.15 Diseño del termotanque**

En general debe tenerse en cuenta que el sistema de acumulación preferentemente debe estar constituido por un único termotanque, de configuración vertical y situado en el interior:

Un único termotanque permite optimizar la relación superficie de pérdidas térmicas y volumen acumulado. Por el contrario, el único problema del termotanque único es que reduce la fiabilidad

de la instalación al no poder disponer de capacidad de reserva para realizar operaciones de mantenimiento sin parar la instalación.

La configuración vertical favorece la estratificación del agua caliente que, además, se puede potenciar con elementos adicionales específicos la ubicación en espacios interiores permite mejorar su protección y se reducen sensiblemente las pérdidas térmicas.

En cualquier caso, los termotanques deben contar con los bypass necesarios para intervenir ante una eventualidad o a efectos de mantenimiento sin comprometer el funcionamiento del sistema en su totalidad.

Actualmente para instalaciones de agua caliente sanitaria con energía solar no existe una metodología exacta para diseñar el tanque térmico pero la guía de diseño de una instalación de agua caliente sanitaria (MINENERGIA, 2010) criterios a tomar en cuenta son:

- **El volumen total de agua caliente**

Para el cálculo del volumen de agua del termotanque se hará la suma del consumo total de agua por día esto se hace tomando como referencia los valores definidos en la tabla 1.

$$V = \text{Suma de todos los puntos de consumo de agua caliente} / \text{dia}$$

Como un criterio de diseño debe de considerarse como criterio la relación.

$$60 \leq \frac{M}{A} \leq 100 \quad (7)$$

Donde A es el área de captadores en  $m^2$  y (M) la carga de consumo en  $l/d$ . Para la determinación de estos datos de consumo diario puede consultarse la tabla 1

Se entiende que este valor de acumulación solar (V) es únicamente relativo al sistema solar. En este caso el sistema de apoyo cuenta con una acumulación por no ser instantáneo. Esta debe calcularse independientemente, y sumarse a la solar dentro del conjunto total de acumulación del sistema integral. Con estas premisas el volumen de acumulación solar cumplirá la siguiente condición.

$$0,8 \leq \frac{V}{M} \leq 1,2 \quad (8)$$

En todos los casos la carga de consumo diario (M) se refiere al valor medio anual cuando el consumo sea constante a lo largo del año. Cuando por razones justificadas no se instale toda el área de captadores solares de diseño, el volumen de acumulación solar cumplirá con la siguiente condición.

$$50 \leq \frac{V}{A} \leq 120 \quad (9)$$

### 1.13 El subsistema de control

La parte más importante de las instalaciones solares es el control adecuado de las maniobras a realizar por cada uno de los componentes de control. Una instalación que no realice con corrección las acciones previstas nunca va a dar resultados energéticos esperados según el dimensionamiento inicial.

Unido al sistema de control se encuentre el sistema eléctrico, que protege a los dispositivos eléctricos y electrónicos de la instalación de posibles sobre corrientes en el circuito.

Al mismo tiempo, es fundamental atender a criterios de seguridad e higiene en las instalaciones solares térmicas. Sobre criterios higiénicos sanitarios para la prevención de legionelosis, existen una serie de prescripciones que afectan las instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria.

### **1.13.1 El sistema de control**

El sistema de control de una instalación de solar debe regular los flujos de energía entre el colector, el sistema de acumulación y el consumo, de modo que consiga que la instalación funcione, en cada momento en su nivel de rendimiento óptimo. En las instalaciones de energía solar térmica se presentan, básicamente, dos acciones de control claramente diferenciadas:

*Control a la carga*, para una óptima transformación de la radiación solar en calor y su posterior transferencia al sistema de almacenamiento. Regula los estados de arranque y parada de una instalación solar, la parada del sistema por temperatura máxima y la prioridad entre las distintas aplicaciones que se puedan presentar en una instalación.

*Control a la descarga*, para garantizar una adecuada descarga de calor desde el sistema de almacenamiento hasta el consumo.

El sistema de control a la descarga es común a los sistemas de preparación de agua caliente sanitaria, con independencia del combustible que se abastezca.

Las principales características del sistema de control de instalaciones solares térmicas se describen a continuación:

- La temperatura de entrada a los colectores solares debe de ser lo más baja posible de modo que el captador solar trabaje siempre en condiciones de rendimiento alto.

- El control de la instalación solar no debe interferir con el sistema de la instalación convencional, y viceversa. Es necesario que ambos controles se adapten estableciendo prioridad de funcionamiento hacia el sistema solar.
- Al diseñar el sistema de control deben tenerse en cuenta las siguientes características esenciales de precalentamiento o las diferencias de las fuentes de calor que puedan existir en la misma.
- El control debe ser lo más simple posible, siempre que cumpla con los requerimientos mínimos de la instalación.
- Debe establecerse la posibilidad de operar cada uno de los elementos de la instalación de forma manual.

### **1.13.2 El control de carga**

El sistema de control de carga regulará, principalmente, dos estados:

- La regulación de los estados de arranque y parada de las bombas del circuito primario y secundario de la instalación solar.
- El control de intercambio de calor en el subsistema de almacenamiento.

Distinguiremos entre el control a realizar en sistemas con intercambiador de calor interno y en sistemas de acumulación externo.

- Sistemas con intercambiador de calor interno

Los principales elementos que deberá presentar este sistema de control son los siguientes:

Tabla 4 Componentes más usados en los sistemas de control de una instalación de calentamiento solar

**SR** Medidor de radiación solar en el campo de captadores

**$T_c$**  Sonda de temperatura del fluido caloportador a la salida del campo de captadores

**$T_{ei}$**  Sonda de temperatura del fluido caloportador a la entrada del intercambiador de calor

**$T_{ca}$**  Sonda de temperatura en la parte superior del acumulador solar más caliente ( el ultimo antes de la conexión del sistema solar con el sistema auxiliar)

Pueden realizarse dos tipos de control, en función de la temperatura diferencial entre la salida del campo de captadores y la zona más fría del sistema de acumulación, o en función de la sonda radiación y la diferencia de temperatura entre el fluido caloportador a la entrada del intercambiador y la temperatura en la zona más fría del sistema de acumulación.

Si se realiza el control por temperatura diferencial, la bomba de primario se conectará cuando la diferencia de temperatura en el fluido caloportador entre la salida en el campo de captadores ( $T_c$ ) y la parte inferior del acumulador solar ( $T_{fa}$ ) supere un valor predeterminado. Esta labor encomienda a unos termostatos diferenciales.

Para darle mayor estabilidad al control de la instalación, y evitar un posible régimen de arranques y paradas intermitentes, es conveniente establecer un periodo mínimo de funcionamiento de la bomba, una vez que se haya conectado.

Aunque los valores que se establecen para cada parámetro de control deben establecerse para cada instalación, en función de las condiciones de cada una de ellas, se muestran en la siguiente tabla algunos valores típicos.

Tabla 5 rangos máximos y mínimos de temperatura así como el tiempo de encendido de la bomba

Variable	Valor estimado	
	Mínimo	Máximo
Diferencia de temperatura de la conexión	5°C	10°C
Diferencia de temperatura a la desconexión	3°C	5°C
Tiempo de conexión mínimo para la bomba	5 min	7min

Si la tirada de la tubería entre el campo de captadores y el subsistema de acumulación es muy grande. Principalmente cuando discurre por el exterior de las edificaciones, en este tipo de control puede no resultar totalmente satisfactorio, colectores con el agua que se haya refrigerado durante periodos de parada en el interior de la tuberías.

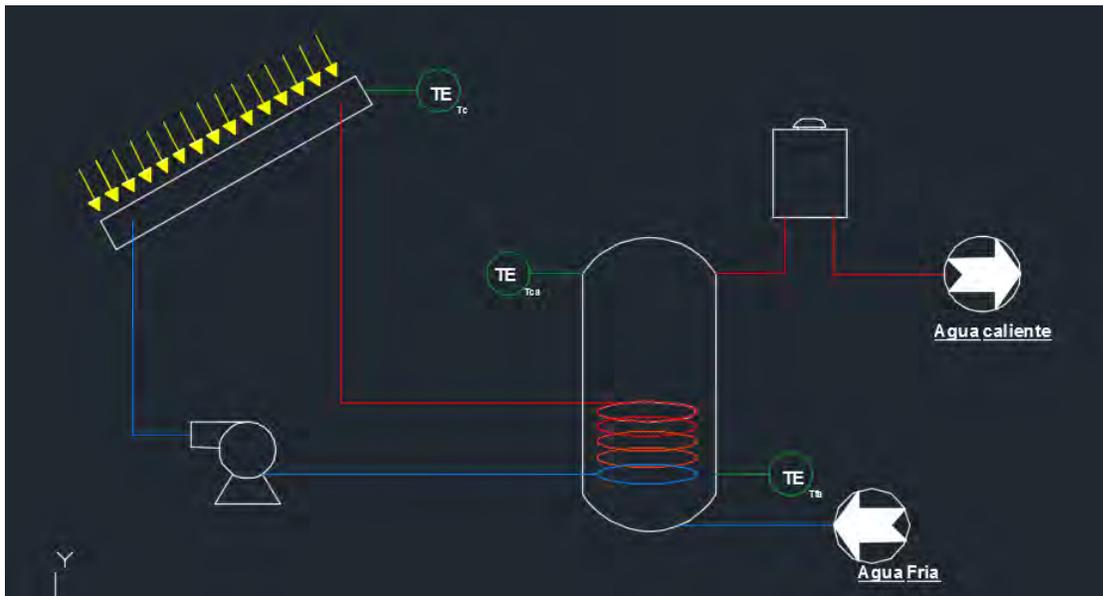


Ilustración 51 Sistema de control de temperatura por diferencial de temperatura

Durante el proceso, el calor procedente del sistema de acumulación, que se encontrará a una temperatura templada, puede llegar a ser transferido al campo de colectores que estará en frío. Una de las formas de evitarlo, tal como se ha indicado anteriormente, es fijar un periodo de retardo a la desconexión de la bomba de circulación.

Otra forma de prevenir el comportamiento anómalo es instalar un by pass, gobernado por una válvula de tres vías todo/nada, como se parecía en la siguiente figura. El Servimotor de la válvula de tres vías se activa en función de la diferencia de temperatura entre la entrada del intercambiador de calor  $T_{ei}$  y la parte inferior de del acumulador  $T_{fa}$ .

En este caso el control es similar al descrito anteriormente, con la particularidad de que la sonda del campo de colectores es sustituida por un medidor de radiación (E). Si solo se tomara como criterio de control de valor de la sonda de radiación podrían tenerse arranques demasiado rápido. Por tanto, hay que considerar que el valor de la sonda de radiación y la diferencia de temperatura entre la entrada de intercambiador ( $T_{ei}$ ) y la temperatura de la parte baja del acumulador ( $T_{fa}$ ) que debe ser superior a un valor fijado previamente. Del mismo modo que en el caso de control por termostato diferencial puede incorporarse una válvula de tres vías todo o nada, con ventajas descritas en el caso anterior.

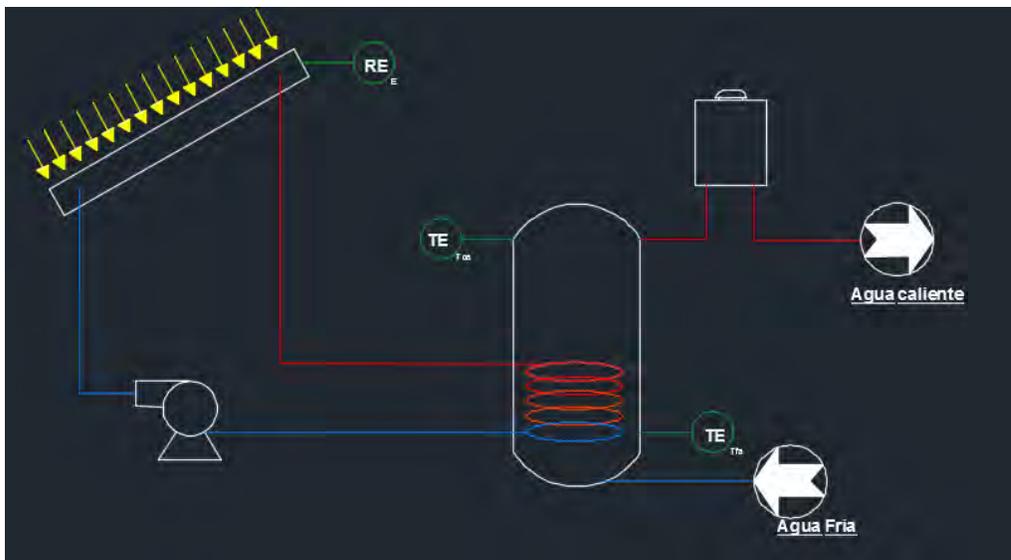
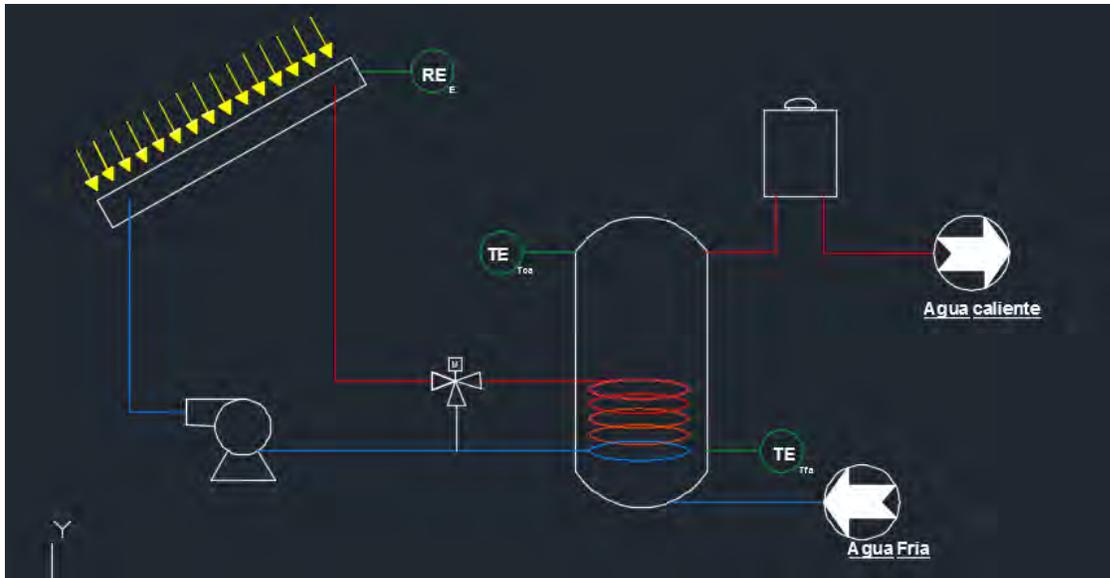


Ilustración 52 Sistema de control por sonda de radiación



*Ilustración 53 sistema controlado por sonda de radiación y válvula de tres vías a la entrada del intercambiador*

Puede ocurrir una desconexión prematura del sistema de control cuando pase por una nube espesa, o bien cuando, aun sin existir radiación, haya calor residual en el interior de los colectores solares susceptible de ser transferido al sistema de acumulación. Si el sensor de temperatura en la parte alta del acumulador indica que se ha alcanzado la temperatura máxima, el sistema debe parar. Un problema añadido de los sistemas de control por sonda de radiación es que no se puede controlar los problemas de sobre temperatura en condiciones de estancamiento en el interior de los colectores.

### ***1.13.2.1 Sistemas con sistema de intercambiador externo***

Respecto a los casos de control establecidos con anterioridad, el empleo de intercambiadores de calor externos añade a necesidad de regular el aporte de calor del circuito secundario, mediante la ordenación de los estados de arranque y parada de la bomba del circuito secundario. Como puede apreciarse en las siguientes figuras, pueden adoptarse configuraciones similares a las presentadas en el caso de los sistemas con intercambiadores dentro del depósito.

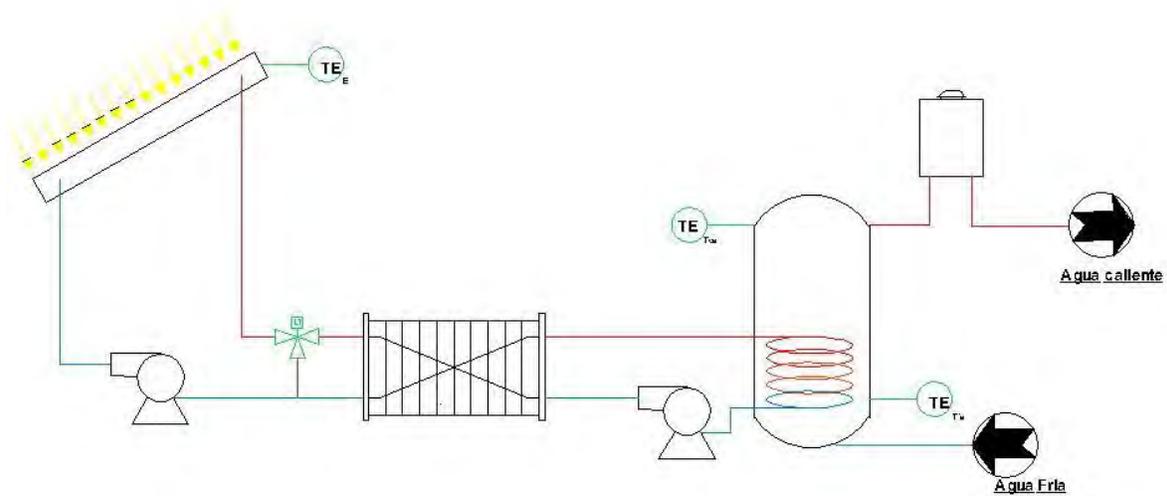


Ilustración 54 control diferencial de temperatura con sistema de intercambio externo y válvula de tres vías

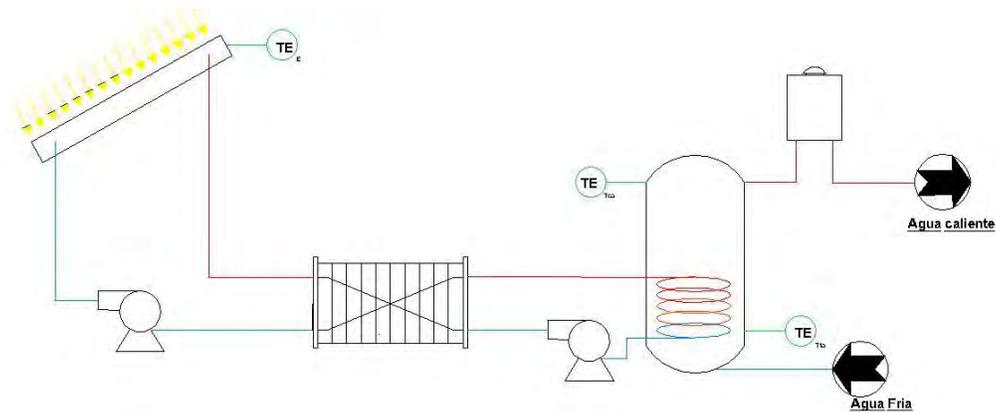
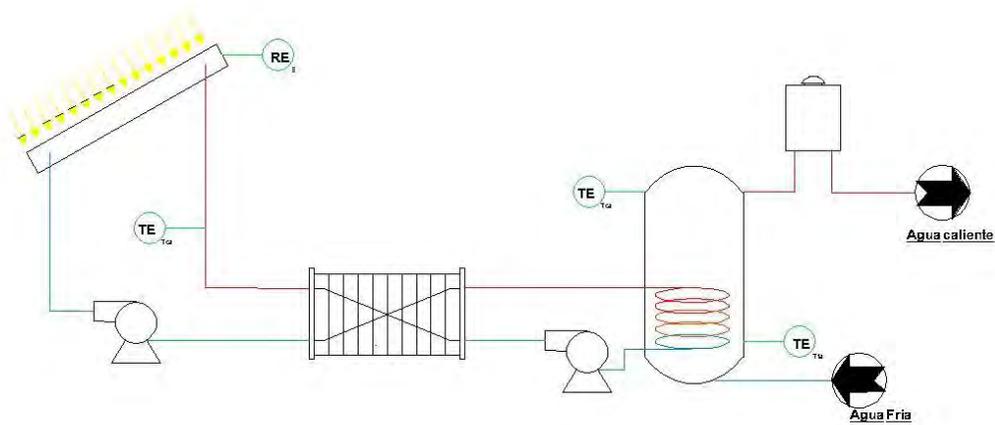


Ilustración 55 control diferencial de temperatura con sistema de intercambio externo.

Con este sistema se favorece la prevención de heladas en el sistema durante las noches frías en invierno, pues es posible transferir calor del circuito secundario al primario, en función del valor de la sonda de colectores  $T_c$ . Lógicamente, este sistema de protección anti heladas no es efectivo en sistemas de incorporan una sonda de radiación en el lugar de una sonda de temperatura a la salida del campo de colectores.

Para prevenir flujos de calor no deseados desde el sistema de almacenamiento hasta el circuito primario, la bomba de circulación secundaria no debe conectarse cuando el régimen de temperatura a la entrada del intercambiador sea estable. Una vez que la premisa se ha cumplido, deben de estar conectados simultáneamente, las bombas de primario y secundario del sistema solar. Se desconectaran cuando no exista diferencia de temperatura suficiente entre la salida del campo de colectores y la zona más fría del subsistema de acumulación(o no exista radiación suficiente) o cuando se haya alcanzado el valor de temperatura máxima prefijada en la acumulación.



*Ilustración 56. Control diferencial de temperatura y medidor de radiación con sistema de intercambio externo.*

Cuando se predisponga de un sistema con varios acumuladores, la zona más fría del subsistema de acumulación corresponderá a la parte inferior. Del primer acumulador en serie (el que recibe el agua fría de la red), y la zona más caliente será el último acumulador de la serie (el que alcanza directamente con el sistema de energía auxiliar o el consumo).

Podría resumirse de instalaciones solares en dos condiciones AND, es decir que cuando alguna de las dos deja de cumplirse, el sistema se desconecta, esta figura puede verse en la figura. Siguiendo para los dos casos de control estudiados: control por termostato diferencial o control por radiación y diferencia de temperatura.

### ***1.13.2.2 Control de instalaciones solares a caudal variable.***

Normalmente con el diseño de las instalaciones solares se realizan a caudal fijo. Pero en ocasiones, cuando se requiere una elevada temperatura en la aplicación solar, se establece como criterio de diseño la temperatura deseada a la salida del campo de colectores, ajustándose al caudal de la bomba para conseguir la temperatura deseada la temperatura de consigna de la bomba.

Para alcanzar la temperatura mínima especificada, la bomba de circulación primaria debería de empezar a circular despacio, hasta que consiga el valor más bajo de la temperatura deseada. A continuación, el flujo volumétrico deberá aumentar de forma gradual.

Este sistema de control también reduce considerablemente el aporte de energía por el sistema auxiliar.

### **1.13.3 Requisitos del proyecto**

- En todo proyecto de instalaciones de energía solar térmica deberá incluirse un esquema del sistema eléctrico y de control.
- Por ninguna razón deberán de ponerse en movimiento con diferencias de temperaturas inferiores a 2 °C. Debe evitarse que se produzcan paradas con diferencias de temperaturas mayores a que 7 °C.
- El diferencial de temperatura o salto térmico entre la temperatura de arranque de arranque y parada del control diferencial deberá superar 2 °C.
- Para evitar posibles quemaduras no habrá que servir agua caliente sanitaria ACS a temperaturas mayores a 65°C. Por tanto es necesario que se cuente con mezcladoras de agua.

- Como valores máximos de temperatura deberán tomarse aquellos que sean compatibles con el consumo y que no afecten a los materiales empleados.
- En determinadas ocasiones habrá que preparar un sistema antihielo electrónico que impida la congelación del fluido caloportador. En ese caso, deberá activarse el dispositivo para valores inferiores a los 3 °C. Este mismo criterio se aplicara cuando el sistema de protección contra heladas sea purgado automático del circuito primario.
- El sistema de control debe estar preparado para unas condiciones de trabajo entre 10 y 50 °C, presentara señales luminosas que indiquen el estado de alimentación del sistema y condiciones de funcionamiento de las bombas.

#### **1.13.4 Monitorización.**

Para el caso de las instalaciones mayores de 40 m<sup>2</sup> se recomienda disponer al menos de un sistema analógico de medida local que indique como mínimo las siguientes variables:

- Opción 1
  - Temperatura de entrada de agua fría a la red.
  - Temperatura de salida del tanque térmico.
  - Caudal por el circuito primario.
- Opción 2
  - Temperatura inferior del acumulador solar
  - Temperatura de los captadores
  - Caudal por el circuito primario.

El sistema de monitorización deberá adquirir los datos, al menos con la siguiente frecuencia:

- Toma de estados de funcionamiento: cada minuto

- Cálculo de medidas de valores y registros cada 10 minutos
- Tiempo de almacenamiento de datos registrado: mínimo 1 año

Las variables analógicas deben de ser medidas por el sistema de monitorización serán seis como mínimo.

- Temperatura de entrada de agua fría
- Temperatura de suministro de agua caliente solar
- Temperatura de suministro de agua caliente a consumo
- Caudal de agua a consumo.

El sistema de monitorización registrará, con la misma frecuencia, el estado de funcionamiento de las bombas de circulación de primario y secundario, la actualización de las limitaciones por máxima o mínima y el sistema de energía auxiliar.

Opcionalmente, el sistema de monitorización medirá, además las siguientes variables:

- Temperatura de entrada a los captadores.
- Temperatura de salida de los captadores
- Temperatura de entrada al secundario
- Temperatura de entrada al secundario.
- Radiación global sobre el plano de captadores
- Temperatura ambiente exterior
- Presión de agua en circuito primario
- Temperatura fría del acumulador
- Temperatura caliente del acumulador
- Temperatura de salida de varios captadores.

- Variables que permitan el conocimiento del consumo energético del sistema auxiliar.

El tratamiento de los datos medidos proporcionara, al menos, los siguientes resultados:

- Temperatura media del suministro de agua caliente al consumo
- Temperatura de agua caliente al suministro de agua caliente solar.
- Demanda energética diaria
- Energía solar térmica aportada
- Energía auxiliar consumida
- Fracción solar media

Con los datos registrados se procederá al análisis de resultados y evaluación de las prestaciones diarias de la instalación.

## **1.13.5 Equipos de medida**

### ***1.13.5.1 Medida de temperatura***

Las mediciones de temperatura se harán mediante sensores de temperatura

La medida de la diferencia de temperatura entre dos puntos del fluido de trabajo se realizara mediante citados sensores de temperatura, debidamente conectados para obtener de forma directa la lectura diferencial.

En lo referente a la colocación de las sondas, han de ser preferentemente de inmersión y situadas a una distancia máxima de 5 cm del fluido cuya temperatura pretende medir.

Los sensores deberán de medir las máximas temperaturas previstas en el primer lugar en que se ubiquen. Deberán soportar sin alteraciones de más de 1 °C , las siguientes temperaturas en función de la aplicación:

- A.C.S y calefacción pro suelo radiante y 100°C
- Refrigeración calefacción 140°C
- Usos industriales: función de la temperatura de uso

La localización e instalación de los sensores de temperatura deberá asegurar un buen contacto térmico con la parte en la cual hay que medir la misma. Para conseguirlo en el caso de la inmersión, se instalara en contracorriente con el fluido. Los sensores de temperatura deberán estar aislados contra la influencia de las condiciones ambientales que le rodean

La ubicación de las sondas ha de realizarse de forma que estas midan exactamente las temperaturas que desean controlar, instalándose los sensores en el interior de las vainas evitándose las tuberías separadas de la salida de los captadores y las zonas de estancamiento en los depósitos. Las vainas destinadas a alojar las sondas de temperatura, deben introducirse en las tuberías siempre en contracorriente, y en lugar donde se creen turbulencias.

#### ***1.13.5.2 Medida de caudal***

Como recomendación, la medida de caudales de líquidos se realizara mediante turbinas medidores de flujo magnético, medidores de flujo de desplazamiento positivo o procedimiento gravimétricos de forma que la precisión de la medición sea  $\pm 3\%$  en todos los casos. Cuando exista un sistema de regulación exterior, este deberá estar preferentemente precintado y protegido contra intervenciones fraudulentas.

Debe tenerse en cuenta dentro de la memoria de diseño o proyecto, es normalmente necesario incluir los siguientes datos. Que deberán ser facilitados por el fabricante del equipo de medida.

- Calibre del contador
- Temperatura máxima del fluido

- Caudales
  - o En servicio continuo
  - o Máximo (durante algunos minutos)
  - o Mínimo (con precisión mínima del 5%)
  - o De arranque
- Indicación mínima de la esfera
- Capacidad máxima de la totalización
- Presión máxima de trabajo
- Dimensiones
- Diámetro y tipo de conexiones
- Pérdida de carga en función del caudal

Cuando exista el medidor se ubicara en la entrada de agua fría del acumulador solar.

### ***1.13.5.3 Medida de energía***

Los contadores de energía térmica estarán constituidos

- o Contador de agua descrito anteriormente
- o Dos sondas de temperatura
- o Microprocesador electrónico, montado en la parte superior del contador o separado.

En función la ubicación de las sondas de temperatura, se medirá la energía aportada por la instalación solar o por el sistema auxiliar. En el primer caso, una sonda de temperatura se situara en la entrada del agua fría del acumulador solar y otra en la salida del agua caliente del mismo. De este modo puede cuantificarse el salto térmico producido por el sistema solar térmico.

Producido por el sistema solar térmico. Y a partir de este dato, al ser cotejado con el caudal circulante, la energía aportada.

Análogamente, para poder medir adecuadamente el aporte recibido desde el sistema de energía auxiliar, las sondas de temperatura se situaran en la entrada y la salida del sistema auxiliar.

El microprocesador podrá estar alimentado por la red eléctrica y mediante pilas con una duración de servicio de 3 años.

El microprocesador multiplicara la diferencia de ambas temperaturas por el caudal instantáneo de agua y su peso específico. La integración en el tiempo de estas cantidades proporcionara la cantidad de energía al sistema.

## **1.14 Seguridad en las instalaciones solares térmicas.**

En las instalaciones solares es muy importante diseñar y mantener las condiciones de operación de las instalaciones dentro de los requisitos recomendados por los expertos.

Cuando se diseña un campo de captadores formado por varias baterías, conectadas en si en serie/paralelo, hay que proyectar una válvula de seguridad entre cada dos válvulas de corte. Que suelen estar situadas a la entrada y a la salida de cada batería de captadores.

Para evitar posibles problemas como quemaduras, las válvulas de seguridad deben estar siempre conducidas, y los conductos de escape deberán tener un diámetro adecuado del área de colectores instalada.

En el ramal principal de agua fría circuito primario de la instalación deberá montarse una válvula de seguridad principal, que deberá responder antes que las válvulas de seguridad instaladas. En cada batería del campo de colectores y diseñada para soportar la temperatura máxima que pueda

originarse en la zona que haya sido instalada cuando se alcancen condiciones de estancamiento en el campo de captadores.

Como ya se indicó en el capítulo dedicado al trazado hidráulico, la instalación solar deberá contar con un vaso de expansión en el circuito solar. Este vaso deberá tener un volumen de expansión en el circuito primario solar. Este vaso deberá tener un volumen de expansión suficiente para poder soportar la cantidad de vapor equivalente en la instalación en su momento.

El principal equivalente que pueden plantear las instalaciones solares desde el punto de vista de seguridad, es el comportamiento de las mismas en las condiciones de estancamiento. En las instalaciones solares dedicadas a la preparación de agua caliente sanitaria y calefacción, la máxima demanda de energía coincide con el periodo que el aporte solar es mínimo.

En consecuencia podría concluirse que el primer paso para evitar grandes sobrecalentamiento de la instalación paradas en épocas de elevada radiación es el diseño óptimo. Del campo de captadores, lo recomendable es no sobre pasar en un 110% el suministro de energía necesaria y no mas de tres meses seguidos al 100%.

En consecuencia, habrá que disponer de un sistema que evite el sobrecalentamiento en la instalación principalmente se proponen dos soluciones para evitar el sobre calentamiento.

- **Tapado de colectores.**

Esta solución puede ser interesante en instalaciones solares térmicas con reducido número de captadores, que presentan reducciones en el consumo de programadas a priori. Consiste en cubrir todo o parte del sistema de captadores con lonas pintadas de colores reflectantes de modo que la superficie de los captadores expuesta y por tanto la energía de los mismos se adecue a las necesidades de la instalación.

- **Mecanismos de disipación externos**

Este método es ideal porque no se tiene que pronosticar con anticipo la reducción energética. El primer paso sería buscar la aplicación a la que servir calor en aquellas épocas en la que sobra calor como podría ser el calentamiento del agua de la piscina o una aplicación de refrigeración mediante energía solar.

## 1.15 Higiene en las instalaciones solares térmicas.

En el año de 1976 tuvo lugar en Filadelfia, Estados Unidos, una epidemia de neumonía que afectó a efectivos de la Legión Americana, de ahí que se denominase legionela o enfermedad del legionario.

La *Legionella pneumophila* es una bacteria que no afecta al ser humano al ser ingerida pero que provoca unos cuadros clínicos severos.

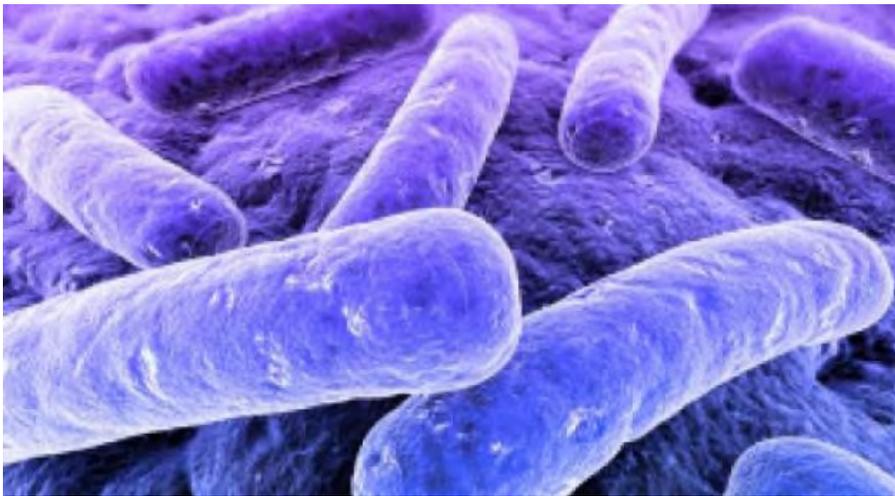


Ilustración 57 Imagen de legionela obtenida de un microscopio de barrido.

Imagen descargada de: <https://www.iagua.es/blogs/jose-luis-perez/agua-y-legionela>

La bacteria se encuentra favorecida en el agua tibia entre 20 a 45°C la bacteria se produce con celeridad, alcanzando su máximo nivel de desarrollo en el entorno a los 37°C. Por encima de los 70°C la bacteria muere, y a temperaturas bajas queda en estado de letargo.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece una serie de recomendaciones para las instalaciones de preparación de agua caliente sanitaria, con el fin de disminuir la posibilidad de proliferación y distribución de esta bacteria en los circuitos de consumo. Entre las recomendaciones están.

- Los acumuladores deben de ser accesibles a la limpieza, desinfección y toma de muestras, también deberán certificar que no exista fugas.
- El acumulador debe alcanzar una temperatura superior a los 60°C.
- Se garantizará que las instalaciones deberán de soportar temperaturas mayores a 70°.

# 2 Objetivos

---

## 2.1 Objetivos generales

1. Dimensionar y seleccionar el equipo para una instalación solar térmica de un gimnasio.
2. Determinar el ahorro económico generado por el sistema de calentamiento solar.
3. Calcular las emisiones de  $CO_2$  de la instalación de Agua Caliente Sanitaria

## 2.2 Objetivos particulares

Para lograr el primer objetivo

- 1.1. Calcular el volumen de agua en función del aporte energético de la instalación de Agua Caliente Sanitaria (ACS)
- 1.2. Seleccionar el termotanque a partir del volumen utilizado y una opción comercial.
- 1.3. Seleccionar la bomba o bombas recirculadora del circuito principal del sistema de agua caliente sanitaria en función de la carga dinámica total y el flujo necesario para que la instalación funcione.
- 1.4. Calcular del área de captación solar en función del tipo de colector solar y para el circuito de calentamiento de agua.
- 1.5. Seleccionar del tipo de colector solar.
- 1.6. Determinar la orientación, inclinación y distancia del campo de colectores solares.
- 1.7. Diseñar un arreglo de tuberías que favorezca el calentamiento de agua de manera uniforme a lo largo del circuito de calentamiento.
- 1.8. Diseñar una estrategia de control para que el sistema se mantenga en un rango de temperatura adecuado para su consumo.

Para el segundo objetivo:

- 2.1 Calcular el costo anual de gas de para el gimnasio sin instalación solar térmica.
- 2.2 Calcular el ahorro de gas en función del ahorro energético de la instalación solar térmica
- 2.3 Determinar el tiempo en el que se recuperará la inversión de la instalación solar térmica en función del ahorro energético y el costo del gas.

Para el tercer objetivo:

- 3.1 Calcular las emisiones de  $CO_2$  del sistema de calentamiento utilizando una caldera convencional.
- 3.2 Calcular las emisiones de  $CO_2$  generadas por el sistema utilizando el sistema de calentamiento solar.
- 3.3 Crear un gráfico comparativo donde se aprecie la diferencia de emisiones de  $CO_2$  con y sin sistema de calentamiento solar

## 3 Diseño del sistema

---

### 3.1 Cálculo de volumen de agua

Para la estimación del volumen de agua caliente podemos utilizar los datos estadísticos de consumo de agua caliente, de acuerdo a la ANES Asociación Nacional de Energía Solar el cual es de 25 litros por persona en duchas de gimnasio. Sabiendo esto, solo multiplicamos número de personas que asisten diariamente al gimnasio por los litros de agua caliente que se usan por ducha.

$$V = \text{No de personas} * \text{Litros de agua por punto de consumo} \quad (10)$$

$$V = 200 \frac{\text{persona}}{\text{Dia}} * 25 \frac{\text{litros}}{\text{persona}} = 5000 \text{ litros}/\text{dia}$$

Ahora entendemos que el volumen de agua caliente a 60°C es de 5000 litros en un día, dado que no tenemos la certeza de que las condiciones climatológicas sean las propicias debemos de tener este volumen de agua disponible todo el día. Sin embargo, esto no determinará el volumen del depósito, para ello se deben tomar otros criterios.

#### 3.1.1 Criterios de diseño del termotanque

Una instalación solar térmica requiere del almacenamiento de energía en forma de calor latente de un fluido, en este caso agua, para ajustar el tiempo de la oferta (el recurso solar captado) y la demanda (el agua caliente en el momento en que el usuario la requiera).

Un tanque de almacenamiento o acumulador es el elemento de la instalación solar térmica que permite almacenar la energía térmica del agua ya que está aislado térmicamente para minimizar las pérdidas energéticas.

El volumen del depósito de acumulación se recomienda entre 50 y 100 litros por  $m^2$  de acuerdo al código de edificación español HE-4, a falta de otra referencia, el volumen del depósito tiene que cumplir la siguiente condición:

$$50 < \frac{V}{A} < 180 \quad (11)$$

Normalmente no hay un tanque que dé el volumen exacto calculado, salvo que el termotanque este hecho a la medida; por tal razón se escogen tanques de manufactura comercial. Lo que si podemos considerar para el cálculo de volumen del tanque es la estimación diaria de las 200 duchas, y por notación empírica, sabemos que el volumen que cubre, esta demanda es un tanque de 5000 litros, lo cual es adecuado ya que cubre a la perfección con la relación anterior.

### **3.1.2 Selección del termotanque**

Es importante entender que el depósito de agua caliente, no puede llenarse al 100% es por esa razón que se debe dimensionar el deposito en un 10% debido a las condiciones térmicas esfuerzos mecánicos a los cuales estará sometido y que en el mercado el deposito mas grande es de 3000 litros y es por esta razón que se determinó que se utilizaran dos de estos depósitos. Debemos considerar que para mejorar la estratificación de temperaturas, se debe priorizar por un diseño de tanques verticales, por esta razón el diámetro del tanque debe ser menor a la altura del tanque, entonces en función de la altura del tanque, otro aspecto importante es el tomar en cuenta es que el tanque debe ser de una marca comercial, ya que son más económicos, por esta razón se usara el tanque de la marca Siesol la cual manufactura tanques térmicos, con capacidades de 1000, 2000 y 3000 Litros, ya que se necesita cubrir los 5000 litros de agua caliente con un 10% de excedente,

se optará por cubrir la demanda con dos tanques de 3000 Litros cuyas especificaciones se explican a continuación.

*Tabla 6 características técnicas de un tanque de comercial de acero inoxidable para de agua caliente sanitaria*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<i>Presión Máxima de Operación</i>	Presión Atmosférica
<i>Cantidad Y Diámetros de Hoyos del tanque</i>	11 Hoyos de ½” a 2”
<i>Peso del equipo vacío</i>	150 Kg
<i>Peso del equipo Al 90% y al 100%</i>	2850 Kg y 3150Kg
<i>Altura del Termotanque interior</i>	1800 mm
<i>Altura del Termotanque exterior</i>	1900
<i>Material del tanque Exterior</i>	Inoxidable Grado SUS 201 terminación Cromo
<i>Espesor de lámina de acero</i>	0.5 mm
<i>Diámetro del taque exterior</i>	1648.28 mm
<i>Material del tanque interno</i>	Acero Inoxidables 304-2B Grado Alimenticio
<i>Espesor de lámina de acero (interno)</i>	0.7 mm

*Diámetro del tanque interior*

1476 mm

*Material Aislante*

Poliuretano de alta densidad

*Espesor de material Aislante*

60 mm

### **3.1.2.1 Modelado del tanque**

El Modelado en 3D del tanque se realizó con un software de diseño industrial donde especificamos nuestro tanque de manera adecuada, como mandar a construcción un tanque de acero inoxidable es muy costoso recurrimos a las especificaciones de un tanque prefabricado.

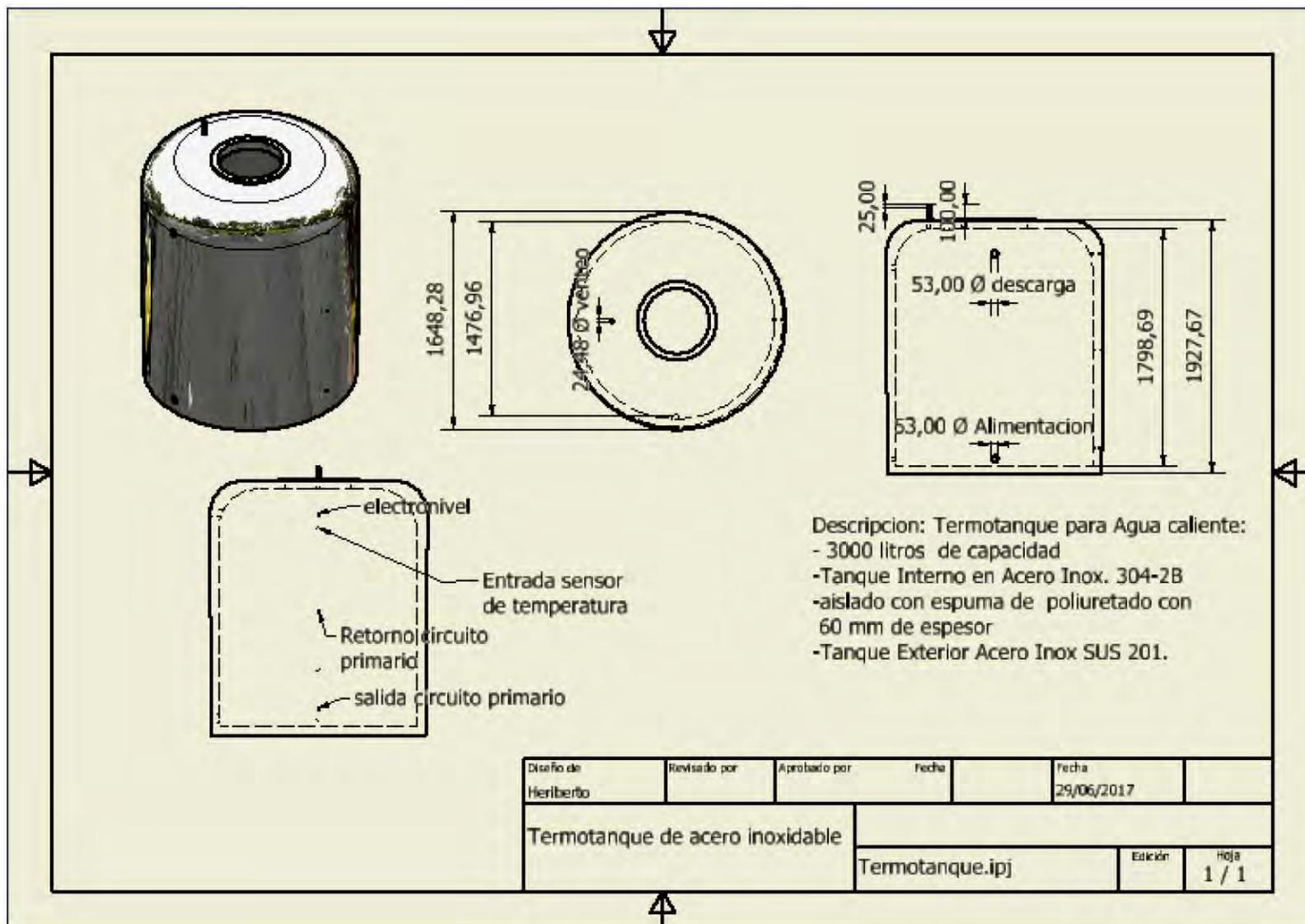


Ilustración 58 plano de diseño de un tanque térmico de agua caliente sanitaria

## 3.2 Diseño del circuito principal

### 3.2.1 Cálculo de la cantidad de la demanda energética

Para el cálculo de la demanda energética se utilizó la ecuación siguiente y ésta depende de la masa de agua que es de 5000 kilogramos y del diferencial de temperatura del agua a largo del año que en promedio es 15° a 60°C,

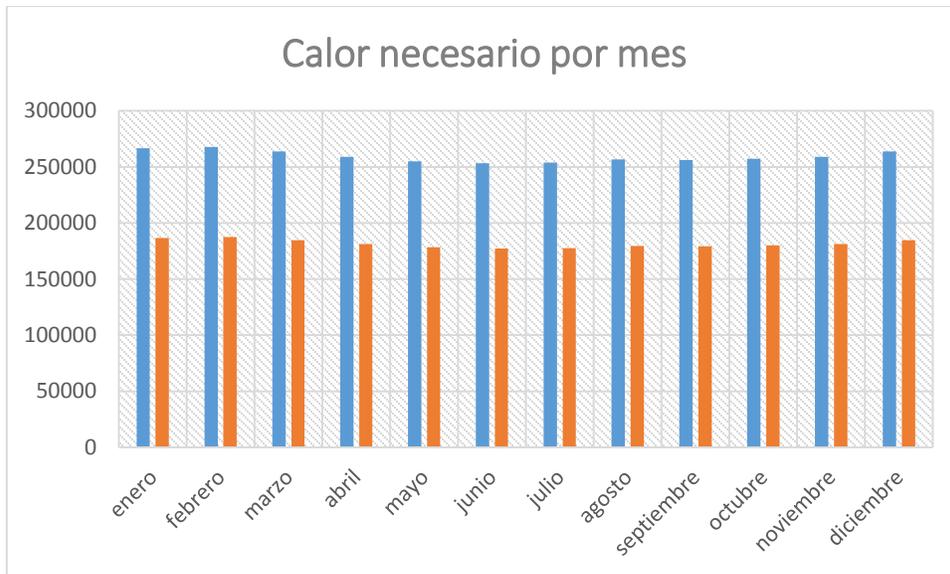
$$Q = mCp(T_{in} - T_{req}) \quad (12)$$

Sabemos que las condiciones climatológicas afectan la temperatura del agua a lo largo del año, es por ello que la cantidad de calor requerida a lo largo de este periodo, varía. En la siguiente tabla observamos la cantidad de calor necesario por mes para calentar el agua.

mes	$T_{in}(^{\circ}C)$	$T_{req}(^{\circ}C)$	Q (KJ)	Q (kWh)	$Q_u(kWh)$	$Q_g(kwh)$
Enero	14.2	60	959510	266.28	186.39	79.88
Febrero	14	60	963700	267.44	187.21	80.23
Marzo	14.7	60	949035	263.37	184.36	79.01
Abril	15.5	60	932275	258.72	181.10	77.62
Mayo	16.2	60	917610	254.65	178.25	76.39
Junio	16.5	60	911325	252.90	177.03	75.87
Julio	16.4	60	913420	253.49	177.44	76.05
Agosto	15.9	60	923895	256.39	179.47	76.92
Septiembre	16	60	921800	255.81	179.07	76.74
Octubre	15.8	60	925990	256.97	179.88	77.09
Noviembre	15.5	60	932275	258.72	181.10	77.62
Diciembre	14.7	60	949035	263.37	184.36	79.01

Ilustración 59 Calor necesario para el calentamiento de agua, generado por el sistema de calentamiento y por la caldera

A partir del siguiente gráfico se puede observar la contribución solar para la Instalación de Agua Caliente Sanitaria ACS



*Grafico 1 las barras azules son el calor necesario para calentar 5000 litros de agua, las barras naranjas será el calor aportado por la instalación solar térmica.*

Con este valor establecemos la demanda energética diaria para el sistema, sin embargo por normatividad, la contribución solar mínima que se debe de hacer a una instalación de agua caliente sanitaria debe ser del 30% para considerarse viable, en nuestro caso hemos decidido dimensionar el sistema con una contribución del 70%; por lo tanto la cantidad de energía promedio a cubrir a lo largo del día es de 181.31 kWh/día.

### **3.2.2 Eficiencia del colector solar.**

Para este caso se seleccionó un sistema de Heat-Pipes, se puede encontrar la ficha técnica en el anexo de la tesis.

Tabla 7 Características técnicas del colector solar térmico

Características del colector solar	
Marca: Reno Energy	
Tipo: COLECTOR DE TUBO DE VACÍO/HEAT PIPE	
No de tubos: 30 tubos de Borosilicato	
Material aislante: Lana de Roca Prensada	
Carcasa: Aluminio Anodizado	

Tabla 8 Dimensiones del colector solar térmico

Dimensiones y peso	
Altura x anchura x profundidad (mm)	1990 x 2105 x 153
Peso Colector (kg)	95
Superficie total del colector $m^2$	4.189
Superficie Total del absorbedor	2,432
Capacidad del fluido (Litros)	1.7
Caudal recomendado por colector (l/h)	180

La ecuación que describe la curva característica del rendimiento de un Heat Pipe se expresa dependerá del modelo y el tipo de colector solar, cada fabricante debe de incluirla en la ficha técnica; en este caso utilizamos el dato que viene en el Anexo 2.

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{T_m - T_a}{G} - a_2 \frac{T_m - T_a}{G} \quad (13)$$

Donde:

Tabla 9 Variables necesarias para el cálculo de la eficiencia del colector solar térmico

símbolo	Descripción	Unidad
$\eta$	Rendimiento del captador	%
$\eta_0$	Rendimiento Óptico del captador	%
$a_1$	Coefficiente lineal de perdidas térmicas	$w/m^2K$
$a_2$	Coefficiente cuadrático de Perdidas térmica	$w/m^2K^2$
$T_m$	Temperatura media del agua	$^{\circ}C$
$T_a$	Temperatura Ambiente	$^{\circ}C$
$G$	Irradiación=	$w/m^2$

Sabemos que la radiación solar cambia constantemente a lo largo de todo el año pero a partir de datos obtenidos de la tabla de insolación solar que se encuentran en el anexo 1, podemos calcular la eficiencia del colector solar sabiendo que:

$$\eta_0 = 0.762\%$$

$$a_1 = 2.12 w/m^2K$$

$$a_2 = 0.0077 w/m^2K^2$$

La eficiencia del captador varía cada mes, ya que la temperatura ambiente  $T_a$  y por tanto la temperatura con la que llega el agua al termotanque  $T_{in}$  es distintas dependiendo la época del año. De igual manera las horas de sol variarían según las condiciones climatológicas del mes en curso, por lo que la irradiación  $G$  también afectaría la eficiencia  $\eta$  del colector solar. Los datos de irradiación  $G$  pueden ser obtenidos por diversas fuentes, en este caso se utilizaron los datos

recabados por (Flores, 2014), y los datos de este autor tienen base en la página del instituto de geofísica de la UNAM.

Tabla 10 Cálculo de la eficiencia de la instalación solar térmica a lo largo del año.

11mes	$T_a$	$T_{in}$	$T_{req}$	$T_m$	$\Delta T$	Horas de sol	G (W/m2)	$\eta$
enero	13.3	14.2	60	37.1	22.9	7.87	702.19	0.692610903
febrero	14.8	14	60	37	23	8.13	748.78	0.696644221
marzo	16.8	14.7	60	37.3	22.7	8.3	764.38	0.698813117
abril	18.6	15.5	60	37.7	22.3	7.52	763.67	0.699868831
mayo	19.2	16.2	60	38.1	21.9	7.38	730.56	0.698217929
junio	19	16.5	60	38.2	21.8	6.38	747.46	0.699944693
julio	17.9	16.4	60	38.2	21.8	6.06	786.69	0.703039215
agosto	18	15.9	60	38	22	5.79	826.8	0.705384857
septiembre	17.5	16	60	38	22	5.47	833.97	0.705871602
octubre	16.8	15.8	60	37.9	22.1	6.45	766.65	0.700665401
noviembre	15	15.5	60	37.7	22.3	7.39	737.8	0.697690282
diciembre	13.6	14.7	60	37.4	22.6	7.54	698.34	0.693142395

### 3.2.3 Cálculo del área de captación

Para el cálculo del área de captación suponiendo que pondremos el colector con una inclinación de 20°, utilizamos la siguiente ecuación.

$$A = \frac{Q_u}{H_T \eta} \quad (14)$$

Donde:

$A$  = area de captación

$Q_u$  = el 70% del aporte energético necesario

$H_T$  = es la irradiación por m<sup>2</sup> multiplicada por el número de horas de radiación al día

$\eta = \text{eficiencia del colector solar por mes}$

Sustituyendo la ecuación a lo largo de los 12 meses e obtienen los siguientes resultados

Tabla 11 Numero de paneles solares térmicos de Heat pipe necesarios a lo largo del año

Mes	Área (m <sup>2</sup> )	No de colectores
enero	48.74458171	20.0430023
febrero	44.18568355	18.1684554
marzo	41.62261031	17.1145602
abril	45.10236908	18.545382
mayo	47.39695365	19.488879
junio	53.08801211	21.8289523
julio	52.99199279	21.7894707
agosto	53.20016657	21.8750685
septiembre	55.663278	22.887861
octubre	51.96779721	21.3683377
noviembre	47.65339146	19.5943221
diciembre	50.56116145	20.7899513

Para este caso tomaremos el periodo del año donde necesitemos mayor número de colectores que es de 22.88 colectores que redondeando al número más cercano queda en 23 colectores, sin embargo se debe tomar como medida un excedente para tomar en cuenta las pérdidas térmicas por tanto el número total de colectores a utilizar es de 24.

### **3.2.4 Orientación e inclinación de colectores**

Para la instalación propuesta, el consumo es constante durante todo el año y se escoge la latitud del lugar como ángulo de inclinación de los colectores. La latitud del lugar es de 19°21' que se redondea a 20 grados.

### **3.2.5 Distancia entre colectores**

En nuestro caso, escogeremos la distancia mínima entre filas de 0.7063m, para evitar los efectos de sombra, esta distancia también considera un espacio suficiente para que se realicen labores de mantenimiento y limpieza de los colectores.

### **3.2.6 Conexión del campo de colectores**

La conexión para conectar 24 colectores planos es la conexión en paralelo con retorno invertido. Los 24 colectores estarían dispuestos en 6 filas cada una de 4 colectores cada una.

La conexión cuenta con todas las válvulas a las que hacen referencia las especificaciones sobre instalaciones solares térmicas.

### **3.2.7 Distribución de los colectores en la azotea**

Una porción de la azotea se selecciona para instalar los colectores solares. Anteriormente se había hecho un cálculo rápido y se encontró que la azotea cuenta con suficiente espacio para 30 colectores marca Chromagen CR-120.

## 3.2.8 Diseño de la tubería

### 3.2.8.1 *Caudal de fluido de trabajo*

El arreglo entre colectores debe asegurar el mismo recorrido hidráulico para todos los colectores a fin de obtener pérdidas de carga y caudales similares en cada uno de ellos.

Será necesario observar el caudal mínimo recomendado por el fabricante para evitar las zonas sin circulación y asegurar un flujo en régimen turbulento. Este valor depende de las características de cada colector y del fluido de transferencia de calor por lo que al respetar ese valor aseguramos un buen coeficiente de transferencia de calor entre el absorbedor y el fluido. Generalmente, el caudal específico de diseño se encuentra entre 40 y 80 litros por hora y metro cuadrado de superficie de captación.

### 3.2.8.2 *Selección de la tubería*

Se utilizará tubería Tipo PPR (Polipropileno Random) o mejor conocida como Tuboplus a la entrada y a la salida del campo de colectores de 1” de diámetro y de 3/4 “entre cada colector Heat-Pipe, normalmente se utiliza tubería de cobre o galvanizado sin embargo a continuación se tratan argumentos a favor de por qué se debe de utilizar este material.

- **Protección contra la radiación del sol:** Todos los materiales sintéticos son atacados en mayor o menor grado por los rayos solares (en especial por la radiación ultra violeta UV). Este ataque se manifiesta en una degradación paulatina del producto desde afuera hacia adentro que se observa como una cascarilla fácil de quitar, este desgaste no afecta las propiedades mecánicas del producto. La tubería se puede recubrir con pintura, aumenta su durabilidad. Evitar recubrir con impermeabilizante.

- **Ahorro de energía:** El empleo de Tuboplus para reemplazar instalaciones con tuberías metálicas para la distribución de agua caliente, permite realizar un importante ahorro de energía. “Las instalaciones hidráulicas de agua caliente pueden ser utilizadas, básicamente con dos regímenes:
  4. Pseudo estacionario (tina, regadera, lavadoras, etc.).
  5. Transitorio (lavabo y objetos pequeños).

1. Tabla 12. Tabla de conductividad térmica de tuberías de distintos materiales a 20°C (ROTOPLAS S.A. De C.V., 2015)

<i>Material</i>	$\frac{kcal}{hr \cdot m^{\circ}C}$
<i>Aluminio Puro</i>	195
<i>Cobre Puro</i>	332
<i>Hierro Puro</i>	62
<i>Plata</i>	350
<i>Plomo</i>	29.8
<i>PPR (Tuboplus)</i>	0.24

En el primer caso, gracias a la conductividad térmica baja de Tuboplus se logra una reducción del 20% de la dispersión de calor en comparación a las tuberías de cobre.

En el segundo caso, la capacidad menor de transmisión de calor de Tuboplus permite obtener agua caliente en poco tiempo Así, el ahorro de energía de las instalaciones con Tuboplus llega a superar el 25%” (ROTOPLAS S.A. De C.V., 2015).

### 3.2.9 Cálculo y selección de la bomba

Para poder seleccionar adecuadamente la bomba hay que tomar en cuenta la Carga dinámica generada por la tubería, accesorios y colectores solares. La carga dinámica en accesorios y válvulas está dada por la ecuación (28) que viene en el manual (ROTOPLAS S.A. De C.V., 2015).

$$PCC = \sum r * V^2 * \frac{\gamma}{2g} \quad (15)$$

Donde

$\sum r$ : Es el número adimensional que expresa la suma de todos los coeficientes

de resistencia, siendo  $r$  el coeficiente de resistencia de cada conexión

$$V = \text{Velocidad en la tubería en } = 0.72 \frac{m}{s}$$

$$\gamma: \text{Gravedad específica del agua a } 60^\circ = 983.23 \frac{kg}{m^3}$$

$$g = \text{gravedad } 9.81 \frac{m}{s^2}$$

Para el cálculo de los coeficientes de resistencia utilizamos La siguiente Tabla.13

Tabla 13 Coeficiente de resistencia para diferentes accesorios Fuente: (ROTOPLAS S.A. De C.V., 2015)

<b>NO</b>	<b>TIPO DE CONEXIÓN</b>	<b>COEFICIENTE DE RESISTENCIA</b>
<b>1</b>	Copleé	0.25
<b>2</b>	Reducción de Diámetros Inmediatos	0.55
<b>3</b>	Codo 90°	2.00
<b>4</b>	Codo 45°	0.60
<b>5</b>	Tee Normal	2.20
<b>6</b>	Te reducida	9
<b>7</b>	Conector Macho o hembra	0.4
<b>8</b>	Codo con Rosca Metálica	2.20

Para hacer el cálculo de la carga dinámica total se tiene que hacer el cálculo a la succión y a la descarga, empezamos calculando las pérdidas por fricción en accesorios a la descarga de la bomba.

Tabla 14 Calculo de la carga dinámica a la descarga de la bomba por accesorios utilizada en la instalación del circuito principal y al final está la suma de todas las cargas.

accesorio	Coficiente adimensional de resistencia(r)	No de accesorios	Total
codo	2	12	24
Te	1.3	17	22.1
Reducción	0.55	10	5.5
Conectores	0.4	48	19.2
Válvulas de esfera	6.7	13	87.1
Coplees	5	0.25	1.25
Válvulas de alivio	0.01	5	0.05
Heat Pipe	0.23	24	5.52
válvula de Tres vías	0.05	1	0.05
		$\Sigma r$	164.77

Posteriormente, substituyendo en la ecuación (15) y convirtiendo a metros columna de agua (mca) sabremos que los accesorios a la descarga de la bomba generan una pérdida de 4.28 mca.

$$\sum r * V^2 * \frac{\gamma}{2g} = 4.28mca$$

Sumando las pérdidas por fricción en la tubería; Procedemos a hacer el mismo calculo a la succión de la bomba y obtenemos que:

accesorio	Coficiente adimensional de resistencia(r)	No de accesorios	Total
Codo	0.25	4	1
Te	1.3	0	0
Reducción	0.55	0	0
Conectores	0.4	2	0.8
Válvulas de esfera	6.7	1	6.7
Coplees	10	1	10
Válvulas de alivio	0.01	5	0.05
Heat Pipe	0.23	0	0
válvula de 3 vías	1	0	0
tubo 1"	0.3	2	0.6
		$\Sigma r$	19.15

$$\sum r(\text{succión}) * V^2 * \frac{\gamma}{2g} = 1.08 \text{ mca}$$

Entonces teniendo estos datos sabremos que sumando la carga dinámica generada por accesorios, tramos rectos de tubería, más la altura a la cual tiene que ser elevado nuestro fluido, más la carga dinámica a la succión de la tubería, podremos seleccionar la bomba

$$CDT = CDS + CDD + CDH + CDA \quad (16)$$

Donde:

*CDT = es la carga dinámica Total*

*CDS = carga dinámica a la succión*

*CDD = carga dinámica a la descarga*

*CDH = Carga dinámica generada por la altura*

Todas estarán expresadas en metros columna de agua (mca), substituyendo en la ecuación obtenemos que:

$$CDT = 1.08 \text{ mca} + 6.4 \text{ mca} + 1.84 \text{ mca} = 9.32 \text{ mca}$$

Este cálculo ya incluye la carga dinámica generada en tramos rectos de tubería, la gravedad y la altura a la cual se desea elevar el fluido, entonces sabiendo que la carga dinámica total CDT es de 9.32 mca podemos seleccionar una bomba recirculadora, que cubra las necesidades de calentamiento, para esto recurrimos a las curvas de operación de un proveedor que en este caso es Aqua Pack, ya que este proveedor tiene bombas para agua caliente, que son específicamente para agua caliente sanitaria ACS. Sabiendo que nuestro flujo tiene que ser de 18 lpm, haciendo la conversión a las unidades correspondientes, obtendremos un caudal de 4.75 GPM En la línea roja de la curva de operación de la bomba podemos observar, que cubriría una altura de 34 ft los cuales haciendo la conversión a metros observaremos que son 10.36 mca lo cual cubre la demanda en altura de nuestro sistema.

### 3.2.9.1 Selección de la Bomba

Para la selección de la bomba debemos tomar en cuenta que ésta debe ser capaz de soportar agua caliente dado que irá instalada en el circuito principal y este puede alcanzar temperaturas superiores a los 70 grados centígrados y también debe de vencer la caída de presión generada por los accesorios y la tubería del circuito principal.

Tomando en cuenta esto, se ha seleccionado la bomba AQC- 20 la obsérvese la Tabla 15.

Tabla 15 ficha técnica de la bomba recirculadora de agua caliente. Fuente (NOVEM SISTEMAS DE AGUA, 2016)



Grafico 2 Curva de operación de la bomba recirculadora de agua AQC-20, el punto donde se intersectan las dos líneas de color rojo será el punto de operación de la bomba. Fuente (NOVEM SISTEMAS DE AGUA, 2016)

### **Bomba recirculadora AQC-20**

<i>Flujo Máximo</i>	15.41 GPM
<i>Máxima presión que soporta</i>	145 Psi
<i>pH</i>	6.5-8.5
<i>Temperatura máxima del liquido</i>	110° C
<i>Temperatura Mínima del liquido</i>	2° C
<i>Temperatura ambiente Máxima</i>	40° C
<i>Motor</i>	1/3 HP
<i>Altura máxima</i>	39.36 ft
<i>Peso</i>	5Kg
<i>Instalación</i>	El eje del Motor debe mantenerse en posición horizontal

### 3.3 Diagrama de flujo de proceso

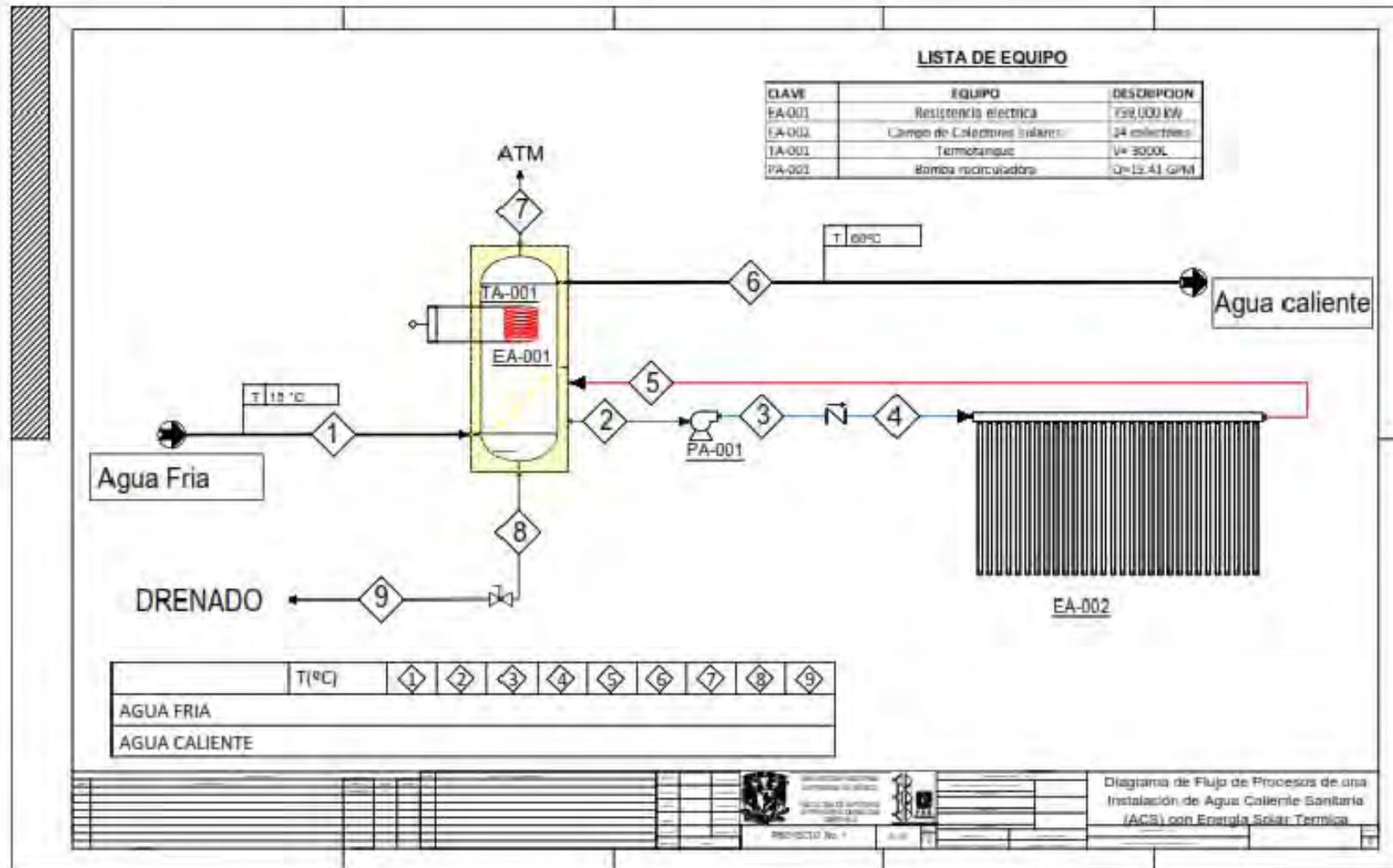


Ilustración 60 Diagrama de Flujo de proceso de calentamiento de agua con energia solar

### **3.1.1 Descripción del proceso**

Se alimenta agua a temperatura ambiente (aproximadamente a 15°C alrededor de todo el año) al tanque térmico TA-001 proveniente de una bomba fuera del límite de batería, una vez dentro del tanque TA-001 el agua es distribuida a través del campo de colectores EA-001 por la bomba PA-001, el agua será recirculada a través de este circuito hasta que alcance una temperatura de 60 °C.

En caso de que no exista la radiación suficiente (Durante la noche o en días muy nublados) se encenderá la resistencia EA-003/004 para compensar el calor del sistema hasta que la temperatura del agua llegue a 60°C.

Mientras el agua del termotanque TA-001 se mantenga de 45 a 60° C, se enviara a las regaderas, con una bomba fuera del límite de batería.

## **3.2 Diagrama de tubería e instrumentación**

Dentro de este apartado se muestra el diagrama de tubería e instrumentación para el sistema de calentamiento de agua se conforma por dos circuitos. El circuito primario conformado por el sistema de calentamiento con paneles solares térmicos y el segundo circuito es el tanque de agua caliente y el sistema de calentamiento secundario (resistencia eléctrica), el cual entrará en marcha cuando los paneles solares de térmicos no tengan la suficiente energía, esto puede apreciarse en la ilustracion 52, el segundo DTI es el campo de colectores donde se aprecia el sistema de retorno invertido, para que los colectores más lejanos al tanque de agua sean los primeros donde circule el agua, e igualmente cuenta con un paquete de valvulas que sirven de tal manera que si el sistema presenta un sobrecalentamiento, este pueda soportarlo sin ningun problema.

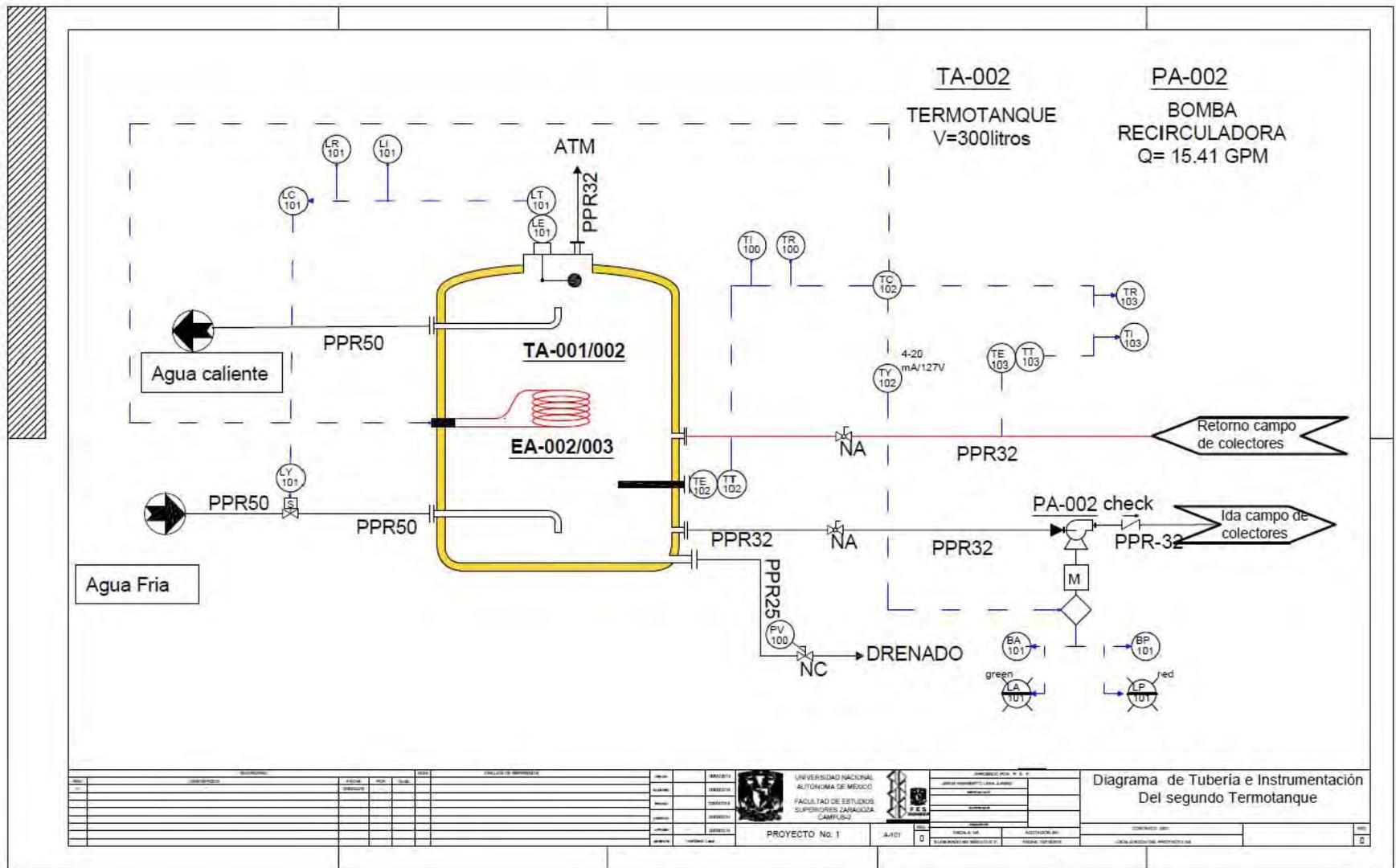


Ilustración 61 Diagrama de tubería e instrumentación donde se aprecia el primer termotanque y la bomba recirculadora

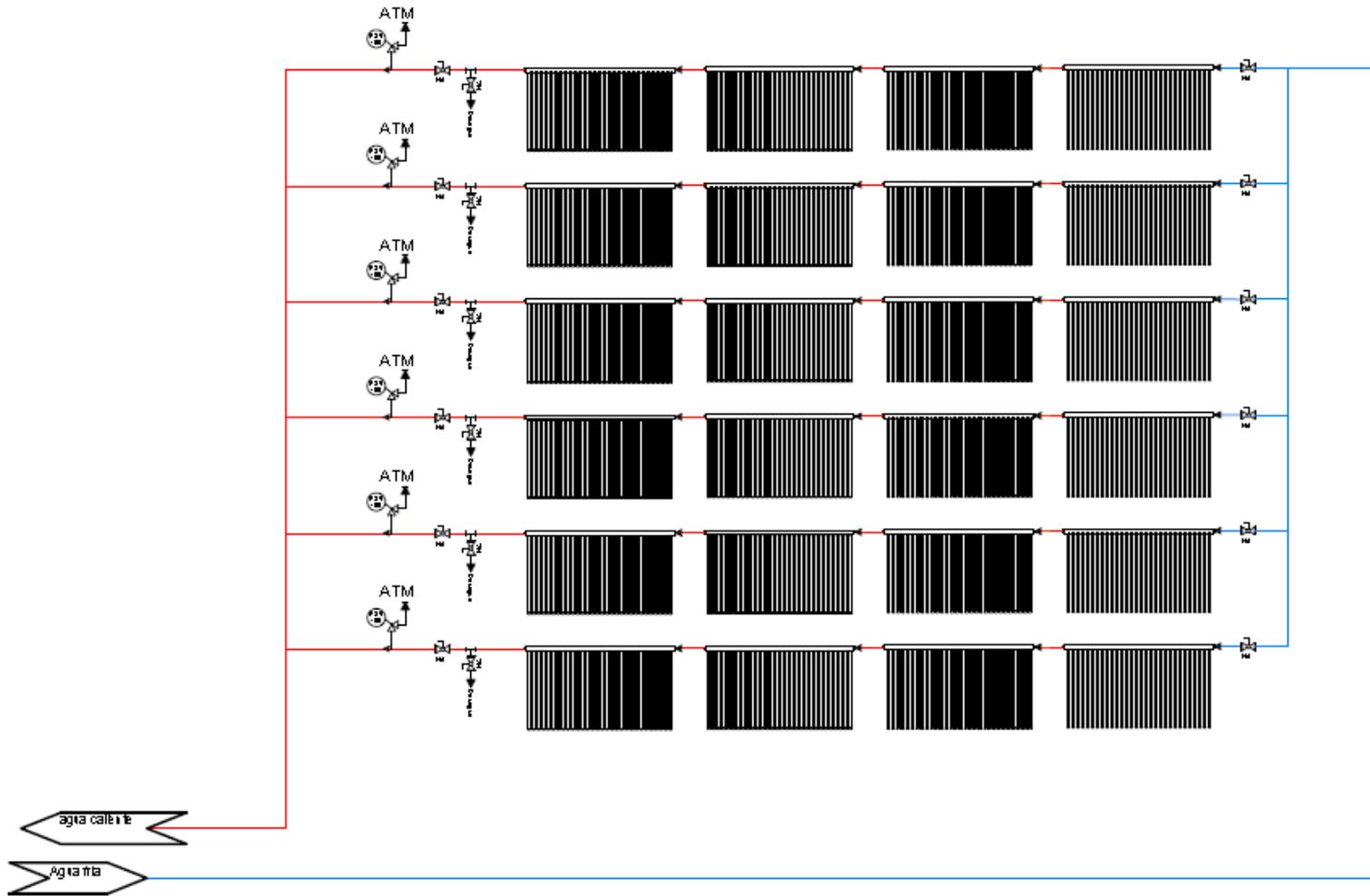


Ilustración 62 Diagrama de Tubería e Instrumentación del campo de colectores solares EA001 con un sistema de retorno invertido

### 3.3 Filosofía de operación

Se alimenta agua a temperatura ambiente (15° a 18°C alrededor del año) a los tanques TA-001 y TA-002 una vez dentro del depósito con ayuda de un elemento primario de temperatura TE100, TE102 (Termopares) se lee la temperatura del agua en la parte de medio del tanque y si la temperatura es menor o igual a 45°C y se encenderán la bomba PA-001 la cual recirculará el agua fría a través de un campo de colectores del tipo Heat Pipe EA-002, hasta que alcance una temperatura de 60 °C. Este proceso se repetirá a lo largo el día siempre y cuando la temperatura en el tanque no decaiga hasta 45°C, que es la temperatura recomendada para consumo humano.

En caso de que los colectores solares no tengan energía térmica (disponible porque es de noche o el día está nublado), se utilizará el sistema de calentamiento auxiliar el cual funciona de la siguiente manera: Un elemento primario de medición (Termopar o termorresistencia) que se encuentra en el retorno del campo de colectores en caso de registrar un descenso de temperatura dentro del termotanque, encenderá la resistencia eléctrica EA-002/003, manteniendo la temperatura del agua entre 45 y 60 °C .

El campo de colectores estará distribuido de tal manera que se alimente primero a aquellos colectores que estén más lejos, esto asegurará que el calentamiento sea uniforme y no exista un desgaste térmico desigual en los Heat Pipes, siguiendo las recomendaciones no tener un flujo mayor a 175 L/h. El circuito cuenta con una válvula de alivio por cada 4 Heat Pipes alineados en fila la cual está calibrada a 90°C, esto se hace para evitar posibles burbujas de aire en el sistema; También cuentan con válvulas de bloqueo y desagüe en caso que sea necesario dar mantenimiento a alguna parte del circuito de colectores.

Ambos tanques TA-001 y TA-002 cuentan con una entrada hombre para mantenimiento. En caso de que la temperatura generara burbujas de vapor, se cuenta con un sistema de venteo en la parte superior del termotanque, que permite al sistema estar siempre a presión atmosférica. También cuenta con una válvula de desagüe PV-100, PV-101 y una barra de magnesio la cual tendrá que ser cambiada cada 6 meses como mínimo para asegurar que no se corra el tanque.

El sistema cuenta con un flotador eléctrico conectado en la parte superior para ambos tanques el cual manda una señal eléctrica a una válvula solenoide motorizada, la cual abastecerá agua fría al Termotanque apenas baje el nivel del agua, asegurando que el nivel del agua en el tanque siempre esté a su máxima capacidad.

## 4 Análisis económico

---

Si bien es importante saber que una instalación solar térmica está diseñada para ahorrar el 70% de la capacidad energética en comparación a una instalación gas (caldera convencional), una de las partes más importantes para los usuarios finales será en cuanto tiempo recuperarán la inversión en función del precio del gas, es por esta razón que hay que hacer un Análisis Financiero donde se tome en cuenta la suma costos del equipo (tanque, la bomba, colectores solares etc.), más fletes y mano de obra, para ser restado del gasto Anual de Gas para observar gráficamente el periodo de tiempo donde se recuperará la inversión.

### 4.1 Costo anual del gas

Dentro de esta sección se determina el costo de gas anualmente en función del poder calórico del gas y la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura del agua de temperatura ambiente hasta 60°C para un volumen de 5000 litros de agua como se hizo en la sección 3.2.1.

$$Q = m C_p (T_2 - T_1)$$

Donde:

$Q =$  cantidad de calor diaria para calentar el agua hasta 60°C

$m =$  5000 Kg de Agua

$T_2 =$  Temperatura final del agua la cual será de 60°C

$T_1 =$  Temperatura inicial del agua en la Ciudad de México según el mes.

Desarrollando la ecuación tomando en cuenta que la temperatura inicial del agua cambiará todo el año debido a condiciones climatológicas y a la temperatura ambiente, podemos observar que la cantidad de calor necesaria variará en todo el año.

mes	T 1	T 2	Delta T	Q BTU
enero	14.2	60	45.8	1011370.34
febrero	14	60	46	1015786.8
marzo	14.7	60	45.3	1000329.18
abril	15.5	60	44.5	982663.32
mayo	16.2	60	43.8	967205.695
junio	16.5	60	43.5	960580.998
julio	16.4	60	43.6	962789.23
agosto	15.9	60	44.1	973830.391
septiembre	16	60	44	971622.159
octubre	15.8	60	44.2	976038.623
noviembre	15.5	60	44.5	982663.32
diciembre	14.7	60	45.3	1000329.18

*Ilustración 63 Cálculo del calor necesario para calentar el agua hasta 60 grados centígrados el cual variará dependiendo la época del año*

La cantidad de calor Q expresada en la tabla anterior expresa la cantidad de calor promedio diaria que dependerá del mes y época del año, sabiendo esto podemos saber la cantidad de gas que se utiliza como en el siguiente ejemplo del mes de enero.

Gasto de gas por mes:

$$1,011,370.34 \frac{BTU}{dia} \left( \frac{1m^3 \text{ de gas}}{92,300BTU} \right) \left( \frac{100\%}{82\%} \right) \left( \frac{2.6 \text{ Kg de gas}}{1m^3} \right) \left( \frac{\$16.11}{1kg \text{ de gas}} \right) \left( \frac{30dias}{1 \text{ Mes}} \right) \quad (17)$$

$$\text{Gasto de Gas del mes de enero} = \$16,791.32$$

Aplicando el mismo procedimiento a lo largo de todos los meses:

Tabla 16 Comparativa de precios entre el sistema de calentamiento solar y sin sistema de calentamiento solar a lo largo del año

mes	Q (BTU)	GAS LP (m3)	Corrección por Eficiencia (82%)	Masa de gas(kg)	Precio del gas (\$/día)	Precio del gas (\$/mes)
enero	1011370.34	10.9574251	13.3627136	34.7430553	\$559.71	\$16,791.32
febrero	1015786.8	11.0052741	13.421066	34.8947716	\$562.15	\$16,864.64
marzo	1000329.18	10.8378026	13.2168324	34.3637643	\$553.60	\$16,608.01
abril	982663.32	10.6464065	12.9834226	33.7568987	\$543.82	\$16,314.71
mayo	967205.695	10.4789349	12.7791889	33.2258913	\$535.27	\$16,058.07
junio	960580.998	10.4071614	12.6916603	32.9983167	\$531.60	\$15,948.09
julio	962789.23	10.4310859	12.7208365	33.0741749	\$532.82	\$15,984.75
agosto	973830.391	10.5507085	12.8667176	33.4534659	\$538.94	\$16,168.06
septiembre	971622.159	10.526784	12.8375414	33.3776077	\$537.71	\$16,131.40
octubre	976038.623	10.574633	12.8958939	33.5293241	\$540.16	\$16,204.72
noviembre	982663.32	10.6464065	12.9834226	33.7568987	\$543.82	\$16,314.71
diciembre	1000329.18	10.8378026	13.2168324	34.3637643	\$553.60	\$16,608.01

Sumando el gasto total por cada mes obtenemos que el gasto anual será de \$195,996.48 pesos mexicanos. Una vez calculado el gasto total lo podremos utilizar para calcular el periodo de tiempo en el cual el usuario final recuperara la inversión.

#### 4.1.1 Cotización del equipo

Para conocer la inversión neta se deben de sumar el coste de los equipos necesarios, tuberías, accesorios, control de temperatura del equipo, entre otros. En este apartado desglosaremos todos y cada uno de los costos para realizar un balance económico.

Tomando en cuenta que el coste del equipo es en dólares y el de tubería y accesorios está en pesos Mexicanos se calcula por separado, empezando por los costes asociados a el equipo tenemos:

Tabla 17 Costeo de paneles solares térmicos y termotanques

Cantidad	Descripción	Precio	Precio
		Unitario	Total
		(USD)	(USD)
2	Tanques térmicos de 3000 Litros	1,940	3,880
24	Colectores Solares Térmicos de 30 Tubos	831	19,944
2	Controlador de sistema Térmico presurizado	195	390
2	Resistencias eléctrica 2000W a 220V	50	100
2	Bomba recirculadora 1/3 HP	84	168
		Total	\$24,482

Para que podamos sumar en ambos precios dentro de la misma moneda se tomará en cuenta que el tipo de cambio a pesos Mexicanos al 06 de julio de 2017 que es \$18.35 pesos mexicanos, resultando un coste total de \$449,244 pesos. En la siguiente tabla se suma el coste de todos los accesorios y tubería necesarios.

Tabla 18 Cotización de tubería y accesorios para el circuito principal

Cantidad	Descripción	Precio	Precio
		unitario	total en
		MXN	MXN
40	Metros Tubería de 3/4"	110	4400
50	metros de tubería de 1 1/2"	200	10000
20	codo 1"	10	200

20	Te de 3/4	14	280
48	conectores interiores cobre	18	864
50	conectores exteriores de Tuboplus de	34	1700
50	coplees de Tuboplus	10	500
12	Válvula de esfera Tuboplus 3/4	35	420
2	Válvula de esfera de 1 1/2" Tuboplus	100	200
		Total	18564

El precio de tubería y accesorios ya está dado en pesos mexicanos es por esta razón que no es necesario hacer la conversión. Ahora sumando el precio por el equipo, tubería y accesorio, si más aparte sumamos un gasto adicional por Flete y Mano de obra.

*Tabla 19 Costeo total de la instalación solar térmica*

<b>Precio unitario</b>	
<b>Descripción</b>	<b>MXN</b>
<b>Coste por equipo</b>	\$449,244.7
<b>coste tubería y accesorios</b>	\$18,564
<b>Flete y Mano de Obra</b>	\$10,000
<b>Total</b>	\$477,808.7

Ahora sabemos que la inversión total para un dejar instalado y en funcionamiento es de \$477808.7 pesos, pero esto representa que no tendremos ninguna ganancia al hacer un proyecto de esta magnitud es por esta razón que debemos de utilizar como base un margen de ganancia del 25%, el cual obtenemos a partir de la siguiente ecuación.

$$Precio = \frac{Costo\ Total}{1 - \% Utilidad} \quad (18)$$

Donde.

*Precio* = Será el precio al cual debemos dar el producto con el margen de utilidad deseado

*Costo Total*: Es la suma de todos los Costos asociados a la instalación del sistema de calentamiento solar.

*%Utilidad*: Sera la utilidad neta bruta que se obtendrá al dejar instalado el sistema de calentamiento solar

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$Precio = \frac{477808.7}{1 - .25}$$

$$Precio = \$ 637,078.30$$

Ya que se calculó el precio, podemos calcular el tiempo de retorno de la inversión.

#### **4.1.2 Retorno de inversión.**

La principal cualidad de un sistema de calentamiento solar es que la recuperación de la inversión es recuperada en un tiempo relativamente corto respecto a la vida útil del sistema.

Para saber en cuanto tiempo se recuperará la inversión, utilizamos la siguiente ecuación:

$$Gas\ Ahorrado = (gasto\ Total\ de\ gas/año) * \left( \frac{\% de ahorro}{100\% de gas} \right) \quad (19)$$

$$Gas\ Ahorrado = \$195,996.48 * \left( \frac{70\%}{100\%} \right) = \$137,197.53/año$$

Fuente: (Flores, 2014)

Esto determina el gas ahorrado anualmente suponiendo que el proyecto como mínimo ahorrará el 70% de Consumo de gas, sabiendo que la inversión inicial para el proyecto será de \$ 637,078.30, la recuperación de la inversión será:

Recuperación de la inversión:

$$\textit{Tiempo en recuperar la inversion} = \frac{\$ 637,078.30}{\frac{\$137197.53}{\textit{año}}} \quad (20)$$

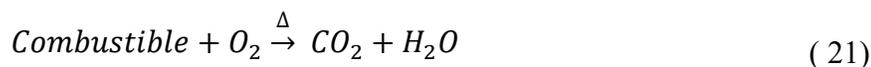
Tiempo en recuperar la inversion = 4 años 7 meses y 3 semanas

Este será el tiempo en el cual se recuperara la inversión suponiendo que el proyecto como mínimo cubra el 70% del consumo total de gas, sin embargo el sistema está sobrediseñado en el volumen de los tanques, lo cual podría asegurar que se cubra inclusive el 100% de la demanda en las etapas más calurosas del año.

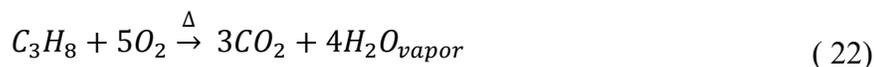
## 5 Huella Ecológica.

He nombrado esta sección la huella ecológica ya que se comparará el impacto que tiene un sistema de calentamiento solar contra las emisiones que tiene el gas natural y LP, para ello me basé la ecuación estequiométrica de la combustión del gas natural.

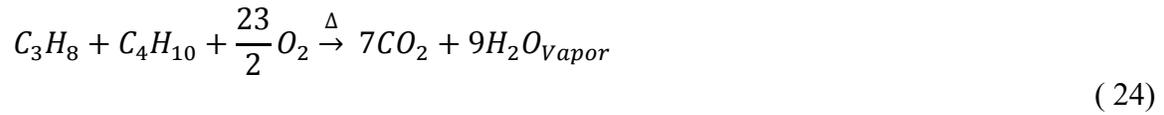
El gas licuado de petróleo o el Gas LP es comúnmente utilizado como combustible para estufas boiler y calderas siendo estos últimos, aquellos que queman en mayor cantidad para el agua caliente sanitaria ACS durante las duchas, esto lo hacen a través de una reacción de combustión, la cual se lleva a cabo en presencia de un comburente (oxígeno) y calor dando como resultado Dióxido de carbono más agua, quedando la ecuación estequiometría de la siguiente manera:



Para el Gas LP esta ecuación se puede dividir en dos partes, ya que se compone de 60% de propano y 40% de butano, quedando de la siguiente manera para el propano (22) y butano (23).



Sumando ambas ecuaciones nos queda

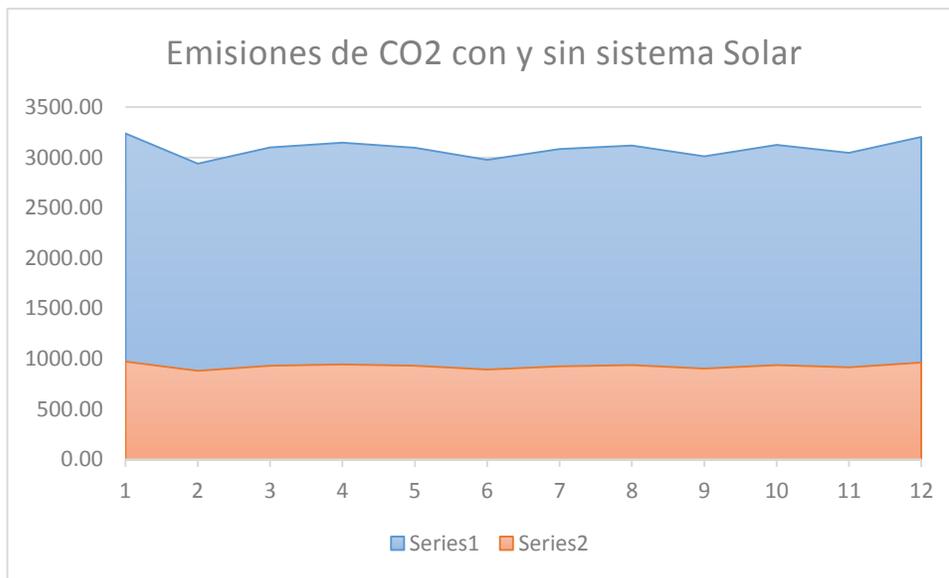


A partir del poder calorífico del gas L.P. podemos calcular la cantidad necesaria para el calentamiento, y a partir de la ecuación de combustión se calcula las emisiones de **CO<sub>2</sub>**, sabiendo que el sistema de calentamiento solar está diseñado para ahorrar cuando mínimo el 70% de consumo de gas, podemos hacer una comparativa mes con mes de las emisiones generadas con el sistema de calentamiento solar y con un sistema convencional de caldera.

Tabla 20 Comparativa de emisiones entre un sistema de calentamiento solar y uno sin sistema de calentamiento solar mensual y anualmente

Mes	Masa de gas(kg)	Masa		$CO_2$ Producido por el propano	$CO_2$ Producido por el butano	$CO_2$ Total (Kg/día)	Emisión de $CO_2$ con caldera (Kg/Mes)	Emisión de $CO_2$ con sistema solar (Kg/mes)	Diferencia (Kg/mes)	
		60% PROPANO	40% Butano							
<b>enero</b>	34.74	20.85	13.90	62.41	42.09	104.5	3239.60	971.88	2267.72	
<b>febrero</b>	34.89	20.94	13.96	62.68	42.28	104.9	2938.87	881.66	2057.21	
<b>marzo</b>	34.36	20.62	13.75	61.73	41.63	103.3	3100.87	930.26	2170.61	
<b>abril</b>	33.76	20.25	13.50	60.64	40.90	101.5	3147.65	944.29	2203.35	
<b>mayo</b>	33.23	19.94	13.29	59.68	40.26	99.94	3098.13	929.44	2168.69	
<b>junio</b>	33.00	19.80	13.20	59.28	39.98	99.26	2977.66	893.30	2084.36	
<b>julio</b>	33.07	19.84	13.23	59.41	40.07	99.48	3083.99	925.20	2158.79	
<b>agosto</b>	33.45	20.07	13.38	60.09	40.53	100.6	3119.35	935.81	2183.55	
<b>septiembre</b>	33.38	20.03	13.35	59.96	40.44	100.4	3011.88	903.57	2108.32	
<b>octubre</b>	33.53	20.12	13.41	60.23	40.62	100.8	3126.43	937.93	2188.50	
<b>noviembre</b>	33.76	20.25	13.50	60.64	40.90	101.5	3046.11	913.83	2132.28	
<b>diciembre</b>	34.36	20.62	13.75	61.73	41.63	103.3	3204.23	961.27	2242.96	
Total Kg/año								37094.77	11128.4	25966.34

A partir de los siguientes cálculos podemos observar que las emisiones de  $CO_2$  con y sin sistema de calentamiento solar nos da una diferencia de 25,966.34 kg de  $CO_2$  que se evitara que cada año se emitan a la atmósfera, esto se puede apreciar de mejor manera en el siguiente grafico donde el área naranja son las emisiones que se emiten con un sistema de calentamiento solar y el área azul serían las emisiones generadas por un sistema con caldera.



*Grafico 3 Grafico donde, el área naranja es la emisión de dióxido de carbono que emite el sistema solar y el área azul contempla las emisiones con un sistema de caldera convencional*

Sin dudas el sistema de calentamiento solar no solo tiene efectos económicos, sino también tiene un gran impacto ambiental, al evitar que se emitan  $CO_2$  que es uno de los principales gases de efecto invernadero.

## 6 Conclusiones

---

Se calculó que el volumen de agua necesario para satisfacer la demanda de agua sería de 5000 litros de Agua Caliente Sanitaria (ACS),

A partir de la investigación comercial, se determinó que se utilizarían dos tanques de 3000 litros, ya que comercialmente no existen para esta aplicación y mandar a hacer el tanque 5000 litros de capacidad no es rentable.

Para esta aplicación se utilizarán dos bombas recirculadora AQC-20 ya que cuenta con la suficiente potencia para vencer la carga dinámica total generada por la tubería y accesorios e igualmente se escogió ya que sus características técnicas le permiten trabajar con agua caliente.

En base a la energía aportada por el sol promedio de cada mes, al área de absorción de cada colector y al índice de absorción de colector solar, se calculó que se necesitan un entre 20 a 23 colectores de tubos tipo Heat-Pipe a lo largo de todo el año y que se adicionará 1 colector adicional para compensar las pérdidas térmicas en la tubería esto da como resultado que el área de captación necesaria es de  $41.62 \text{ m}^2$  en Marzo y de  $55 \text{ m}^2$  en Septiembre.

Se seleccionó el panel solar de tubos estilo Heat Pipe de 30 tubos, con una inclinación de 20 grados para obtener la mejor absorción posible de los rayos del sol y una distancia entre cada fila de colectores de 0.7063 m para que la sombra de cada colector no obstruya el colector anterior y para tener espacio para maniobras de mantenimiento.

Se determinó que el mejor arreglo de colectores será en filas de cuatro colectores siempre alimentando primero la fila de colectores más lejana a la bomba y retornando el agua caliente

por la fila de colectores más cercana al tanque de agua, de esta manera podremos asegurar que cada fila de colectores tendrá la misma cantidad de agua y retornará con la misma temperatura al tanque de agua.

A partir del poder calórico y precio del gas por litro se determinó que el costo promedio mensual por usar es de \$16,000.00 mexicanos y con el sistema de calentamiento solar el costo de estos gastos se verían reducidos cuando menos en un 70%, lo que equivale aproximadamente a \$4,800.00 pesos mexicanos.

Haciendo el coste de cada equipo, considerando un margen de ganancia del 20% ya contemplando flete y mano de obra, la inversión inicial será de \$477,808.70 pesos, aún cuando la inversión es elevada, el gimnasio recuperara la inversión en 4 años 7 meses y 3 semanas y el sistema tendrá una vida útil cuando menos de 20 años, lo cual lo convierte en un proyecto viable para el gimnasio.

El impacto que tendría un sistema de calentamiento solar no solo tendrá repercusiones económicas, si no también ambientales ya que, el sistema emitirá 70% menos contaminantes a la atmósfera. Es decir, mientras que un sistema con caldera emite 37,094.77 kilogramos de  $CO_2$  al año, un sistema de calentamiento solar como el que se diseñó para la tesis, tan solo emitirá 11,128.43 kg de  $CO_2$ , evitando de esta manera que se liberen a la atmósfera 25,966.34 Kg de  $CO_2$ .

# Anexo 1. Insolación de México $\frac{KWh}{dia \cdot m^2}$

Fuente: (almanza, 1997)

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	4.0	7.2	5.6
Baja CaliforniaSur	La Paz	4.4	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	4.2	6.6	5.7
Baja California	Mexicali	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	3.9	7.3	5.5
Baja California	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	3.7	7.1	5.5
Baja California Sur	S. José del Cabo	5.0	5.6	5.8	5.9	6.9	6.1	5.8	6.2	5.8	5.8	5.2	4.4	4.5	6.3	5.7
Campeche	Campeche	4.8	5.7	6.0	5.3	5.4	4.9	4.9	5.3	5.2	5.4	5.0	4.3	4.4	6.0	5.2
Chiapas	Arriaga	5.1	5.4	5.5	5.9	5.6	5.2	5.9	5.5	5.1	5.3	5.1	4.7	4.7	5.9	5.4
Chiapas	Juan Aldama	4.4	5.1	4.9	4.5	4.5	4.1	4.4	4.5	4.1	4.3	4.4	4.2	4.1	5.1	4.5
Chiapas	San Cristóbal	4.0	4.3	4.5	4.5	4.8	4.7	5.4	5.3	4.6	4.2	3.9	3.7	3.7	5.4	4.5
Chiapas	Tapachula	5.4	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	4.6	4.1	4.3	4.1	4.1	5.4	4.7
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	3.7	5.4	4.7
Chihuahua	Chihuahua	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.4	6.4	6.5	6.8	6.8	6.0	5.2	5.3	8.9	5.9
Chihuahua	Guachochi	3.3	3.5	3.9	4.4	5.1	5.3	5.4	5.6	5.7	5.1	4.9	4.4	3.3	6.9	6.4
Chihuahua	Cd. Juárez	6.0	7.2	7.3	7.3	6.9	6.5	6.3	6.5	6.8	7.4	6.6	5.9	5.9	7.4	6.7
Coahuila	Piedras Negras	3.1	3.6	4.2	4.5	4.8	6.0	6.7	6.3	4.9	4.1	3.3	2.9	2.9	6.7	4.5
Coahuila	Saltillo	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.6	5.2	4.4	3.6	3.3	3.3	5.9	4.8
Colima	Colima	4.4	5.1	5.3	5.8	6.0	5.2	4.9	5.0	4.6	4.4	4.4	3.9	3.9	6.0	4.9
D.F.	Tacubaya	5.4	6.0	6.4	5.9	5.3	5.1	4.5	4.9	4.5	4.8	5.2	5.2	4.5	6.4	5.3
Durango	Durango	4.4	5.4	6.5	7.0	7.5	6.8	6.0	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	3.9	7.5	5.7
Guanajuato	Guanajuato	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	4.4	6.6	5.6
Guerrero	Acapulco	4.8	5.3	6.1	5.9	5.6	5.1	5.3	5.4	4.9	5.2	5.0	4.7	4.7	6.1	5.3
Guerrero	Agua Blanca	5.8	5.9	6.0	5.8	5.8	5.4	5.6	5.8	5.5	5.6	5.5	5.5	5.4	6.0	5.7
Guerrero	Chilpancingo	4.1	4.5	4.9	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.7	4.4	4.1	3.8	3.8	5.2	4.7
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	4.2	6.8	5.4
Jalisco	Colotlán	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	4.1	8.2	5.9
Jalisco	Guadalajara	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0	4.0	7.7	5.6
Jalisco	L. de Moreno	4.5	5.3	6.1	6.7	7.2	6.1	5.8	5.6	5.5	5.0	4.7	4.0	4.0	7.2	5.5
Jalisco	Puerto Vallarta	5.2	5.7	6.0	5.8	5.7	5.5	5.6	5.7	5.5	5.6	5.2	4.7	4.7	6.0	5.5
México	Chapingo	4.5	5.1	5.6	5.8	5.9	5.4	5.2	5.2	5.0	4.7	4.6	3.9	3.9	5.9	5.1
Michoacán	Morelia	4.2	4.9	5.5	5.8	5.9	5.2	5.0	5.1	4.9	4.6	4.3	3.7	3.7	5.9	4.9
Nayarit	Tepic	3.9	4.3	4.8	5.5	6.1	5.3	4.9	5.3	4.4	4.4	4.0	4.8	3.9	6.1	4.8
Nuevo León	Monterrey	3.2	3.6	4.1	4.3	4.8	5.5	6.1	5.6	5.0	3.8	3.3	3.0	3.0	6.1	4.4
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4	4.4	6.0	5.3
Oaxaca	Salina Cruz	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.0	6.6	5.8
Puebla	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4	4.4	6.4	5.5
Querétaro	Querétaro	5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	4.4	6.9	5.9
QuintanaRoo	Chetumal	3.9	4.7	5.4	5.7	5.3	4.7	4.9	5.0	4.5	4.4	4.0	3.7	3.7	5.7	4.7
QuintanaRoo	Cozumel	3.9	4.6	5.3	5.7	5.2	4.8	4.9	4.9	4.6	4.4	4.0	3.8	3.8	5.7	4.7
San Luis Potosí	Río Verde	3.6	4.0	4.6	4.9	5.4	5.6	5.8	5.8	5.1	4.3	3.7	3.3	3.3	5.8	4.7
San Luis Potosí	San Luis Potosí	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6.0	5.5	4.7	4.2	3.7	3.7	6.4	5.4
Sinaloa	Culiacán	3.6	4.2	4.8	5.4	6.2	6.2	5.4	5.1	5.2	4.6	4.2	3.4	3.4	6.2	4.9
Sinaloa	Los Mochis	4.9	5.4	5.8	5.9	5.8	5.8	5.3	5.5	5.5	5.8	4.9	4.3	4.3	5.9	5.4
Sinaloa	Mazatlán	3.9	4.8	5.4	5.7	5.7	5.6	4.8	4.9	4.7	5.0	4.5	3.9	3.9	5.7	4.9
Sonora	Ciudad Obregón	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.7	6.4	6.5	6.8	7.3	6.0	5.2	5.3	7.26	6.5
Sonora	Guaymas	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.1	5.6	4.5	7.3	6.0
Sonora	Hermosillo	4.0	4.6	5.4	6.6	8.3	8.6	6.9	6.6	6.7	6.0	4.7	3.9	3.9	8.6	6.0
Tamaulipas	Soto la Marina	3.4	4.2	4.9	4.9	5.1	5.3	5.4	5.4	4.9	4.6	3.7	3.2	3.2	5.4	4.6
Tamaulipas	Tampico	3.3	4.1	4.7	6.4	5.0	4.9	4.9	4.9	4.6	4.6	3.7	3.2	3.2	6.4	4.5
Tlaxcala	Tlaxcala	4.6	5.1	5.5	5.4	5.6	5.2	5.3	5.2	5.1	4.9	4.7	4.0	4.0	5.6	5.1
Veracruz	Córdoba	3.1	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	2.8	4.6	3.7
Veracruz	Jalapa	3.2	3.5	3.8	4.3	4.6	4.4	4.9	5.0	4.4	3.7	3.3	3.0	3.0	5.0	4.0
Veracruz	Veracruz	3.7	4.5	4.9	5.1	5.1	4.8	4.7	5.1	4.6	4.8	4.1	3.6	3.6	5.1	4.6
Yucatán	Mérida	3.7	4.0	4.6	5.2	5.7	5.5	5.7	5.5	5.0	4.2	3.8	3.4	3.4	5.7	4.7
Yucatán	Progreso	4.1	4.9	5.4	5.5	5.3	5.1	5.3	5.3	5.0	5.0	4.4	4.0	4.0	5.5	4.9
Yucatán	Valladolid	3.7	4.1	3.1	5.4	5.7	5.3	5.4	5.4	4.9	4.2	3.8	3.5	3.1	5.7	4.5
Zacatecas	Zacatecas	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	4.1	7.8	5.8

# Anexo2 Ficha técnica Heat Pipe

Fuente: (konstruir.com, 2010)



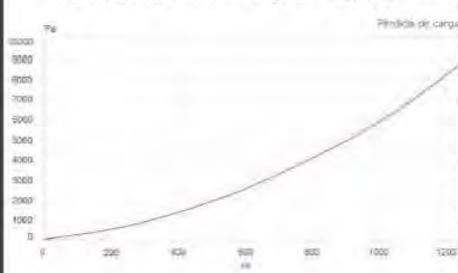
## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Máxima/minima inclinación de operación	80°/12°
Máxima presión de operación	6 bar
Diámetro entrada/salida de fluido	3/4" M
Máxima temperatura de estancamiento	250 °C
Material del soporte	Aluminio Anodizado

## CARACTERÍSTICAS DEL ABSORBEDOR

Material del tubo	Vidrio Borosilicato
Tratamiento superficial	Al-N/Al
Longitud elemento absorbedor	1725 mm
Diámetro exterior elemento absorbedor	47 mm
Grosor elemento absorbedor	1,6 mm
Elemento de conducción	Tubo de cobre / Heat Pipe
Material aislante	Lana de Roca prensada
Grosor de aislante	40 mm

## PERDIDA DE CARGA (HCA-58/20)



DESCRIPCIÓN	HCA-58/30	HCA-58/20
Número de tubos	30	20
Peso Colector (kg)	95	66,5
Superficie total del colector (m2)	4,189	2,792
Superficie absorbedor (m2)	2,432	1,622
Superficie apertura (m2)	2,834	1,891
Altura x anchura x profundidad (mm)	1990 x 2105 x 153	1990 x 1403 x 153
Capacidad de fluido (litros)	1,7	1,2
Caudal Recomendado por colector (l/h)	180	120
IAM (factor mod. Ang.) transversal - K50°	1,36	1,36
IAM (factor mod. Ang.) longitudinal - K50°	0,93	0,94
Perdida de carga (Pa) a Qn y T=20°C	234	224

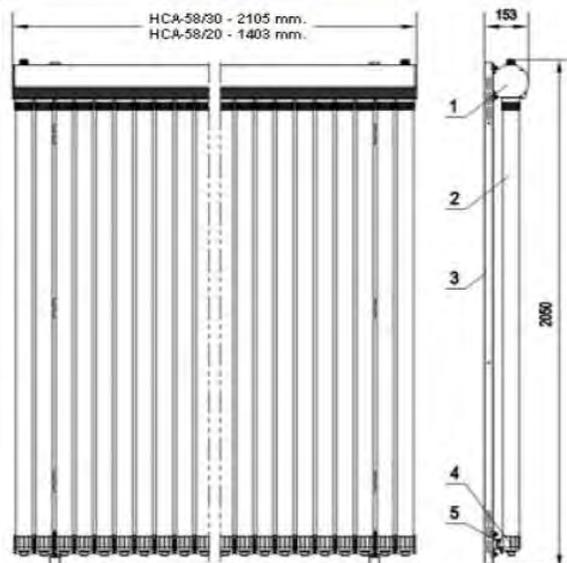
## CURVA DE RENDIMIENTO



$\eta_0$ (-)	0.762
$a_1$ (W/m²K)	2.12
$\beta_2$ (W/m²K²)	0.0077

\* Rendimiento referido al área de absorción

## MEDIDAS



# Anexo 3 Pérdida de carga en la tubería de Tuboplus

Fuente: (ROTOPLAS S.A. De C.V., 2015)

Q (l/s)	j v	Diámetro Nominal								
		20	25	32	40	50	63	75	90	110
2	j			0.982	0.328	0.107	0.035	0.015	0.006	0.002
	v			4.81	3.07	1.94	1.22	0.87	0.60	0.40
2.2	j			1.180	0.391	0.128	0.042	0.018	0.008	0.003
	v			5.30	3.38	2.14	1.35	0.95	0.66	0.44
2.4	j				0.459	0.150	0.049	0.021	0.009	0.003
	v				3.68	1.47	1.04	0.72	0.48	
2.6	j				0.531	0.174	0.056	0.025	0.010	0.004
	v				3.99	2.53	1.59	1.13	0.78	0.52
2.8	j				0.611	0.199	0.064	0.028	0.012	0.004
	v				4.30	2.72	1.71	1.21	0.84	0.56
3	j				0.691	0.226	0.074	0.032	0.013	0.005
	v				4.61	2.91	1.84	1.30	0.90	0.60
3.25	j				0.800	0.262	0.085	0.037	0.015	0.006
	v				4.99	3.16	1.99	1.41	0.98	0.65
3.5	j				0.922	0.299	0.097	0.042	0.017	0.006
	v				5.37	3.40	2.14	1.52	1.05	0.70
3.75	j					0.339	0.111	0.048	0.020	0.007
	v					3.64	2.30	1.63	1.13	0.75
4	j					0.383	0.124	0.053	0.022	0.008
	v					3.89	2.45	1.73	1.21	0.80
4.25	j					0.427	0.137	0.059	0.025	0.009
	v					4.13	2.60	1.84	1.28	0.85
4.5	j					0.472	0.155	0.067	0.028	0.01
	v					4.37	2.76	1.95	1.36	0.90
4.75	j					0.528	0.170	0.073	0.030	0.011
	v					4.62	2.91	2.06	1.43	0.95

Q (l/s)	j v	Diámetro Nominal								
		20	25	32	40	50	63	75	90	110
2	j			0.982	0.328	0.107	0.035	0.015	0.006	0.002
	v			4.81	3.07	1.94	1.22	0.87	0.60	0.40
2.2	j			1.180	0.391	0.128	0.042	0.018	0.008	0.003
	v			5.30	3.38	2.14	1.35	0.95	0.66	0.44
2.4	j				0.459	0.150	0.049	0.021	0.009	0.003
	v				3.68	1.47	1.04	0.72	0.48	
2.6	j				0.531	0.174	0.056	0.025	0.010	0.004
	v				3.99	2.53	1.59	1.13	0.78	0.52
2.8	j				0.611	0.199	0.064	0.028	0.012	0.004
	v				4.30	2.72	1.71	1.21	0.84	0.56
3	j				0.691	0.226	0.074	0.032	0.013	0.005
	v				4.61	2.91	1.84	1.30	0.90	0.60
3.25	j				0.800	0.262	0.085	0.037	0.015	0.006
	v				4.99	3.16	1.99	1.41	0.98	0.65
3.5	j				0.922	0.299	0.097	0.042	0.017	0.006
	v				5.37	3.40	2.14	1.52	1.05	0.70
3.75	j					0.339	0.111	0.048	0.020	0.007
	v					3.64	2.30	1.63	1.13	0.75
4	j					0.383	0.124	0.053	0.022	0.008
	v					3.89	2.45	1.73	1.21	0.80
4.25	j					0.427	0.137	0.059	0.025	0.009
	v					4.13	2.60	1.84	1.28	0.85
4.5	j					0.472	0.155	0.067	0.028	0.01
	v					4.37	2.76	1.95	1.36	0.90
4.75	j					0.528	0.170	0.073	0.030	0.011
	v					4.62	2.91	2.06	1.43	0.95

Rugosidad: 0.007 mm  
 Densidad: 998.000 kg/m<sup>3</sup>  
 Viscosidad: 1.02E-06 m<sup>2</sup>/s

# Anexo 4 Coeficientes de resistencia por accesorios de Tuboplus

Fuente: (ROTOPLAS S.A. De C.V., 2015)

No.	Tipo de conexión (resistencia simple)	Símbolo gráfico	Coefficiente Resistencia (R)
1	Cople		0.25
2 2a	Reducción de diámetros inmediatos Reduccíón de diámetros inmediatos		0.55 0.85
3	Codo a 90°		2.00
4	Codo a 45°		0.60
5 5a	Tee normal Tee reducida		1.80 3.60
6 6a	Tee normal Tee reducida		1.30 3.60
7 7a	Tee normal Tee reducida		4.20 9.00
8 8a	Tee normal Tee reducida		2.20 5.00
9	Tee con rosca central metálica		0.80
10	Conector macho o conector hembra		0.40
11	Codo con rosca metálica		2.20

## Ecuación de cálculo de pérdidas de carga de Tuboplus

La pérdida de carga localizada en conexiones (PCC) se puede calcular aplicando la fórmula:

$$PCC = \Sigma r \cdot V^2 \cdot \gamma / 2g$$

Donde:

$\Sigma r$ : Es el número adimensional que expresa la suma de todos los coeficientes de resistencia; siendo  $r$  el coeficiente de resistencia de cada conexión (ver tabla 10, pág. 69).

$V$ : Velocidad en m/s

$\gamma$ : Peso específico en  $kg/m^3$  y varía con la temperatura:



# Bibliografía

---

- Alcocer , J. L. (01 de abril de 2011). La energia solar y su Importancia. (J. B. Ciencias., Ed.) Santa Cruz de la Sierra, bolivia. Obtenido de <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/la-energia-solar-y-su-importancia>
- almanza, R. (1997). *Mapas de irradiacion de la República Mexicana*. Barrientos: South West Technology Development Institute, .
- Asociación Técnica Española de Climatización. (2010). *Guía Técnica*. Madrid: Fondo Editorial IDAE.
- Comision Nacional de Vivienda CONAVI. (23 de 01 de 2010). *Código de edificación de vivienda*. Obtenido de [https://www.gob.mx/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/85460/Codigo\\_de\\_Edificacion\\_de\\_Vivienda.pdf](https://www.gob.mx/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/85460/Codigo_de_Edificacion_de_Vivienda.pdf)
- CRANE. (s.f.). *Flujo de Fluidos: en Valvulas tuberias y accesorios*.
- Engel, R. (28 de 09 de 2000). Hidrógeno y celdas combustibles. *Quemar combustibles para producir energía trae graves problemas, el hidrógeno brinda otra posibilidad*. California, Arcata, Estados Unidos. Obtenido de <http://www.cubasolar.cu/http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia16/HTML/articulo05.htm>
- Faghri, A. (1995). *Heat Pipe, Science and Technology*. Boca Raton FL.: Taylor & Francis Group.

Fernandez , J. M. (2010). *Guía Completa de la energía solar térmica y termoeléctrica*. Madrid: CIMAPRESS.

Fernandez Salgado, J. M. (2010). *Compendio de energía solar*. Madrid: MUNDI-PRENSA.

Flores, C. B. (Diciembre de 2014). Evaluación técnica y económica de sistemas de calentamiento solar de agua para servicios comerciales en la ciudad de México . *Tesis para maestría en ingeniería*. México. D.F., Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.

Fundación Austriana de Energía. (1 de Mayo de 2011). *Energías Renovables: Energía del Mar*. Obtenido de <http://www.revistavirtualpro.com>: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/energias-renovables-energia-del-mar>

Galloway, T. (2006). *La Casa Solar*. Madrid Vicente: Antonio Madrid.

Garcia , J. B. (1983). *Cálculo de la Energía Solar*. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.

Ibañez Plana, M., & Rosell , J. P. (2005). *Tecnología Solar*. Distrito Federal: Mundiprensa.

Incropera, F. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. Ciudad de Mexico: PRENTICE HALL.

Ingeniería León S.A. de C.V. (14 de 11 de 2005). <http://www.inglesa.com.mx/inicio.html>. Obtenido de <http://www.inglesa.com.mx/inicio.html>: <http://www.inglesa.com.mx/books/DYCTA.PDF>

Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la Republica. (2004). *Nuevas Energías Renovables: Una alternativa Sustentable para Mexico*. Ciudad de Mexico.

ITER. (2 de 11 de 2016). <https://www.iter.org>. Obtenido de <https://www.iter.org:https://www.iter.org/proj/inafewlines#2>

*konstruir.com*. (07 de 10 de 2010). Obtenido de *konstruir.com*:  
<http://konstruir.com/C.T.E/HE-4-Contribucion-solar-minima-de-agua-caliente-sanitaria/placas/konstruir.com%20-%20RENO-HEAT%20PIPE%20HCA-58-30.pdf>

Mendez, J. M., & Cuervo, R. G. (2007). *Energia Solar termica*. Madrid: FC Editorial.

MINENERGIA. (01 de diciembre de 2010). Sistemas Solares Termicos II. *Guía de diseño e instalación para grandes sistemas de agua caliente*. Vitacura, Chile: Maval Editorial.

Montoya, M. (01 de 05 de 2011). *Virtual Pro*. Obtenido de <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/energia-nuclear-solar-eolica-y-geotermica>

Mott, R. (2006). *Mecanica de Fluidos* (Sexta edicion ed.). Mexico, D.F.: Pearson.

Mundo Solar. (8 de 11 de 2012). *Mundo Solar*. Obtenido de Mundo Solar Web site: <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/energia-termica-oceanica/>

NOVEM SISTEMAS DE AGUA. (12 de 11 de 2016). [http://www.hidroshop.mx/folletos/Folleto\\_AQC-20.pdf](http://www.hidroshop.mx/folletos/Folleto_AQC-20.pdf). Obtenido de <https://hidroshop.mx/>.

Perales, T. B. (2009). *Guia del Instalador de ENERGIAS RENOVABLES*. BARCELONA: Creaciones.

Romero, M. T. (2009). *Energia Solar Termica*. Barcelona: ceac.

ROTOPLAS S.A. De C.V. (2015). *Manual de tuboplus*. Veracruz.

Rufes, P. M. (2010). *Energía solar térmica Técnicas para su aprovechamiento*. Barcelona:  
MARCOMBO.

SYSCOM. (1997). *Insolación global media inclinación a a latitud en México en kWh/m<sup>2</sup>-  
Día*. Ciudad de Mexico.

Tepstra, M. (1987). *Heat Pipes: Construction and Application*. New York: Elsevier Science  
Publishing.