



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO PARA GENERAR  
AGUA CALIENTE SANITARIA EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS**

**Edgar René Murga Rojas**

Asesorado por el Msc. Ing. Pedro Julio García Chacón

Guatemala, marzo de 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO PARA GENERAR  
AGUA CALIENTE SANITARIA EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**EDGAR RENÉ MURGA ROJAS**

ASESORADO POR EL MSC. ING. PEDRO JULIO GARCÍA CHACÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MARZO DE 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO PARA GENERAR AGUA CALIENTE SANITARIA EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 4 de febrero de 2013.



**Edgar René Murga Rojas**



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142

**ADSE-MEAPP-0008-2013**

Guatemala, 04 de febrero de 2013.

Director:  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Edgar René Murga Rojas** con carné número **1999-10619**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

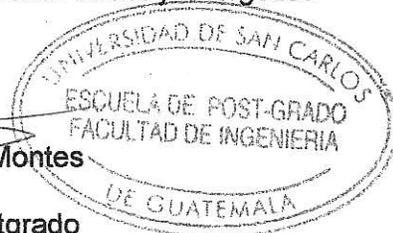
"Id y enseñad a todos"

Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

Msc. Ing. Pedro Julio García Chacón  
Asesor (a)

Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo  
/la



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

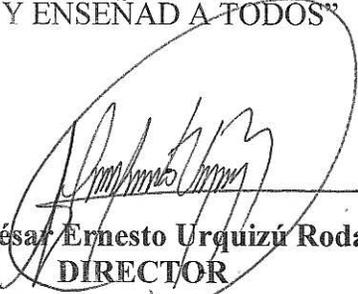


FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.072.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO PARA GENERAR AGUA CALIENTE SANITARIA EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS**, presentado por el estudiante universitario **Edgar René Murga Rojas**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, marzo de 2013.

/mgp





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO PARA GENERAR AGUA CALIENTE SANITARIA EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS**, presentado por el estudiante universitario: **Edgar René Murga Rojas**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, marzo de 2013

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por guiar mis pasos, por llenarme de fuerza y por acompañarme en cada momento de mi vida.
<b>Mis padres</b>	Julio Edgar Murga Castillo y Aura Marina Rojas Menchú por su esfuerzo, amor y guiarme por el buen camino.
<b>Mis hermanas</b>	Elisa Raquel y Lidia Carolina Murga Rojas, por su cariño, apoyo y consejo incondicional que siempre me han brindado.
<b>Mi abuela</b>	María Lidia Castillo
<b>Mi tío</b>	Esteban Murga
<b>Mi familia en general</b>	Por ser una parte muy importante de mi vida.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser la casa de estudios que me brindó los conocimientos que permitieron mi formación profesional.

**Facultad de Ingeniería**

Por sus enseñanzas y por permitirme alcanzar esta meta.

**Mis amigos**

Rosmery Agustín, Larissa Monterroso, Claudia Figueroa, Angélica Piló, Alejandra Morales, Lilian Velásquez, Laura Varela, Arlen Palacios, Italo Leal, Leonel Ruiz, Ernesto Alvarado, Esteban Mollinedo, Edgar Ramírez, Marvin Molina, Rolando Paz y a todos mis amigos por los momentos que recorrimos juntos y por su amistad incondicional.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN .....	IX
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Grandes sistemas de energía solar térmica .....	3
2.2. Hospitales con energía solar térmica. El caso europeo.....	4
3. OBJETIVOS.....	7
4. JUSTIFICACIÓN .....	9
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	11
6. ALCANCES.....	13
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	15
7.1. Energía solar .....	15
7.2. Radiación solar.....	15
7.3. Magnitudes relativas a la radiación solar.....	17
7.3.1. Radiación solar. ....	18
7.3.2. Irradiación.....	19
7.3.3. Irradiancia.....	19

7.3.4.	Dispersión. ....	19
7.3.5.	Intermitencia. ....	19
7.4.	Aprovechamiento. ....	19
7.5.	Sistemas solares para edificios. ....	20
7.5.1.	Calentador de agua solar. ....	21
7.5.2.	Calentamiento de agua. ....	22
7.5.3.	Elementos que constituyen un sistema de ACS (agua caliente sanitaria). ....	22
7.6.	Aspectos ambientales ....	23
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	25
9.	CONTENIDO .....	27
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS .....	31
10.1.	Fase 1: investigación preliminar.....	31
10.2.	Fase 2: análisis de datos.....	31
10.3.	Fase 3: evaluación técnica y diseño de un sistema para generar agua caliente sanitaria. ....	32
10.4.	Fase 4: análisis económico .....	33
11.	CRONOGRAMA. ....	35
12.	RECURSOS.....	37
13.	BIBLIOGRAFÍA. ....	39

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Grados de inclinación de la Tierra.....	16
2.	Intensidad de la radiación solar.....	17
3.	Tipos de radiación solar .....	18
4.	Esquema de un sistema de agua caliente sanitaria .....	23

### TABLAS

I.	Cronograma de actividades de investigación .....	35
II.	Costo de los recursos a utilizar .....	37



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Cal</b>	Caloría
<b>cm</b>	Centímetro
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>Kwh</b>	Kilovatio hora
<b>Kw</b>	Kilowatt
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>min</b>	Minuto
<b>%</b>	Porcentaje
<b>T</b>	Temperatura
<b>t</b>	Tiempo
<b>W</b>	Watt



## GLOSARIO

<b>ACS</b>	Agua caliente sanitaria.
<b>Acumulador</b>	Dispositivo que almacena energía durante la carga y la restituye parcialmente durante su descarga.
<b>AFCH</b>	Acometida de agua fría para consumo humano.
<b>Aislante</b>	Material no conductor.
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística
<b>Insivumeh</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
<b>Radiación</b>	Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas.
<b>Sistema</b>	Conjunto de partes o elementos organizados y relacionados, que interactúan entre sí para lograr un objetivo.
<b>UE</b>	Unión Europea



## **RESUMEN**

El presente diseño de investigación, trata sobre la generación de agua caliente sanitaria por medio del empleo de dispositivos de captación de energía solar para ser utilizada en particular por una institución hospitalaria.

En el desarrollo del trabajo se determinan las ventajas económicas y ambientales que los dispositivos solares térmicos ofrecen, cuando son aplicados en una institución hospitalaria y se define una metodología, para realizar el análisis de un sistema dedicado a la obtención de agua caliente por medio de calentadores solares.

La metodología está basada en un plan de trabajo que comprende la definición de los objetivos y el alcance del diseño, el análisis de los equipos, la identificación del impacto hasta al análisis de las oportunidades y mejoras que se pueden lograr cuando el diseño y la configuración se adecúan a las necesidades de las instituciones hospitalarias nacionales.



# 1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se abordará el tema de la generación de agua caliente sanitaria por medio del aprovechamiento de la radiación solar empleando dispositivos al alcance en el mercado y específicamente para ser utilizada por instituciones hospitalarias. Dada la amplia variedad de los sistemas actuales, se hará un análisis entre los diferentes equipos utilizables para comparar sus características y capacidades y determinar así el diseño de la configuración que mejor se adecúe a las necesidades de las instituciones hospitalarias nacionales.

El alto costo y constante aumento de precio de los insumos energéticos es la principal razón para buscar alternativas más económicas de energía como el aprovechamiento de la energía solar a través de sistemas solares térmicos para calentar agua, los cuales además de su bajo costo de operación y mantenimiento, tienen la gran ventaja de ser amigables con el medio ambiente.

El objetivo del presente trabajo de investigación se centra en determinar el diseño de la configuración óptima de equipos solares – térmicos que representen la mejor relación beneficio-costos para las instituciones hospitalarias nacionales en el proceso de generación de agua caliente sanitaria, proceso que tiene una estrecha relación con los elevados costos energéticos y niveles de contaminación producidos.

El trabajo de investigación se encuentra conformado por cinco capítulos. En el primero de ellos, se incluyen los antecedentes generales; se tratará el tema de la utilización de calentadores solares térmicos en edificios,

instalaciones domésticas e industriales, su desarrollo actual, la caracterización para instalaciones hospitalarias y el desarrollo actual de proyectos equiparables en Latinoamérica.

Como siguiente punto, en el marco teórico se desarrolla la base conceptual para la investigación, incluyendo temas tales como qué es la energía solar térmica, los elementos que componen una instalación térmica y los aspectos ambientales relacionados con un proyecto de paneles solares térmicos.

En el tercer capítulo se da a conocer el diagnóstico hospitalario, se investiga la distribución del consumo energético en el sanatorio, el uso y consumo del agua así como los sistemas empleados actualmente para generación y distribución de agua caliente sanitaria.

En el cuarto punto, que se refiere a la metodología, se detallan los pasos que se llevarán a cabo para el análisis de investigación, que en su orden son la definición de los objetivos y el alcance del diseño, el análisis del equipo, el análisis del impacto y el análisis de la mejora, y como quinto punto se esboza el diseño del sistema solar térmico que conforma la mejor solución para ahorrar energía al producir agua caliente sanitaria, sus características principales, el dimensionado del sistema, el mantenimiento y el análisis financiero.

## 2. ANTECEDENTES

Los sistemas de preparación y distribución de agua caliente evolucionaron de la mano de la ingeniería hidráulica y energética, hasta el punto de poder convertirse en un bien común al alcance de la mayoría de la población.

Las fuentes alternativas de energía, por ejemplo la energía solar, son cada vez más utilizadas, permitiendo la obtención de un agua caliente de calidad con menor impacto en el medio ambiente y un considerable ahorro energético. (Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, España 2012)

### 2.1. Grandes sistemas de energía solar térmica

La gran mayoría de sistemas solares térmicos que están en uso hoy en día, pertenecen a casas no adosadas o semiadosadas. Sin embargo, son sistemas que se usan cada vez más en grandes edificios: bloques de pisos, hoteles y establecimientos de *catering*, así como en edificios públicos. Muchos de estos grandes sistemas ya están instalados en Europa, y la experiencia obtenida con ellos es tan positiva que muchas empresas planean instalar más sistemas.

Una lección importante que se desprende de la experiencia, es que el diseño de grandes sistemas solares térmicos no puede estandarizarse. Cada sistema debe ser desarrollado individualmente, teniendo en cuenta las circunstancias y las necesidades del usuario, una tarea y un desafío para todos los arquitectos e ingenieros que participan.

La energía solar térmica puede ser utilizada en cualquier sitio en el que se necesite una calefacción de baja intensidad para agua caliente sanitaria, para contribuir a la producción de calefacción y para generar sistemas térmicos de climatización. Los sistemas de energía solar térmica pueden complementar el suministro de calefacción de los edificios en verano, a finales de primavera y a principios de otoño. (Solarge, 2009)

En los bloques de apartamentos de Europa los grandes sistemas de energía solar térmica se usan, en su mayoría, para proporcionar agua caliente sanitaria. En las regiones del norte y del centro hay también una tendencia a los sistemas combinados de agua/calefacción. (Solarge, 2009)

Las instalaciones deportivas, las residencias para ancianos y las piscinas, suelen ser apropiadas para la energía solar térmica, puesto que necesitan grandes cantidades de agua caliente. Sin embargo, los edificios administrativos no suelen ser apropiados para este tipo de energía renovable a menos que requieran climatización, ya que prácticamente solo utilizan calefacción. (Solarge, 2009)

Los hoteles son idóneos para el uso de esta energía porque tienden a estar concurridos durante los meses de verano y a finales de primavera y principios de otoño. Esta energía también es muy útil para los hoteles y los restaurantes como una forma de *marketing* para atraer a turistas concienciados por el medioambiente. (Solarge, 2009)

## **2.2. Hospitales con energía solar térmica. El caso europeo**

En los últimos años la Unión Europea ha adoptado importantes decisiones sobre política energética, con el objetivo de reducir el consumo de energías

contaminantes y apostar por el consumo de energías renovables. Por ello, la UE ha establecido que todos los países miembros reduzcan al menos un 15% las emisiones de gases causantes del efecto invernadero y que el 12% de las fuentes energéticas sean renovables. (SoloStocks, 2012)

Las empresas de energía solar térmica están desviando la mirada hacia el público que pueda demandar este tipo de energías renovables o que pueda destinarla a otros usos. Parte de su objetivos serían los hospitales, ya que son grandes consumidores de agua caliente, poseen un excelente acceso al sol y amplias y accesibles superficies para la implementación de captadores solares.

Estos complejos son idóneos para la instalación de placas de energía solar térmica, que permite un mayor ahorro económico y un mayor respeto hacia el medio ambiente. Esta clase de energía puede satisfacer el 80% de las necesidades de agua caliente que usa el hospital y el 60% de la energía eléctrica que necesita para climatizar el edificio. La energía solar ayudó a ahorrar 675 800 euros en agua caliente a los hospitales en los últimos seis años.

Actualmente el diseñador Kukil Han ha ideado un hospital solar móvil que ofrece los servicios de emergencia básicos. El contenedor puede ser transportado a cualquier lugar con ayuda de un helicóptero y una vez en el lugar puede poner en funcionamiento los equipamientos médicos necesarios.

Es remarcable su techo solar, que permite aprovechar la energía solar sin depender del suministro de la red eléctrica. Dentro de los equipamientos médicos que ofrece hay camas para los heridos, mesas de cirugía, área de primeros auxilios y una sala de espera. (SoloStocks, 2012)



### **3. OBJETIVOS**

#### **General**

Diseñar un sistema de equipos solares térmicos para generar agua caliente sanitaria con aplicación a una institución hospitalaria nacional, teniendo como base un enfoque eco energético.

#### **Específicos**

1. Determinar la demanda de recursos energéticos empleados por el Sanatorio Nuestra Señora del Pilar, para generar agua caliente sanitaria.
2. Describir las características de los equipos óptimos a utilizar para calentar agua en el Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.
3. Establecer las ventajas económicas y ambientales de la aplicación del sistema solar térmico, para calentar agua en el Sanatorio Nuestra Señora del Pilar.



## 4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se realiza por la necesidad existente de una guía para proyectos de instalación de sistemas de agua caliente sanitaria, empleando calentadores solares para instituciones de salud públicos y privados nacionales.

El desconocimiento de las variables y la metodología a considerar para el diseño de un proyecto de esta naturaleza limita el aprovechamiento de esta tecnología, provocando que estos sistemas no sean empleados en áreas en donde es perfectamente viable su aplicación en nuestro país.

Es posible adquirir equipos solares térmicos con diferentes capacidades que aplicados correctamente, pueden reducir el costo energético para calentar agua entre un 60% y 75%, volviendo muy rentables estos sistemas. Además el país cuenta con un nivel de radiación promedio medido en los últimos 15 años por el Insivumeh de  $0.4325 \text{ Cal}/(\text{cm}^2 \times \text{min})$ , que equivalen a  $302 \text{ vatios}/\text{m}^2$  que hacen viable la instalación de estos equipos.

Si a lo anterior se suma que dichos equipos contribuyen a la reducción del impacto en el ambiente por el desuso de derivados del petróleo para calentar agua, se concluye que es asequible realizar un estudio de aplicación de sistemas solares térmicos para instalaciones con altos consumos de agua caliente.



## 5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En las instalaciones hospitalarias es común el empleo de calderas de vapor, sistemas eléctricos o sistemas con base en el uso de gas natural para producir agua caliente sanitaria, la cual es necesaria para el desarrollo de las diferentes actividades. Esto representa un grave problema de costos para las instituciones dado que se requiere del empleo de grandes cantidades de energía a cambio de obtener un determinado cambio en la temperatura del agua.

Los sistemas convencionales de calentamiento de agua son en su mayoría poco eficientes y los costos por mantenimiento y gastos energéticos ocasionados por estos procesos están entre los más altos, siendo trasladados como es normal, al consumidor final. Asimismo, el consumo de recursos energéticos en este tipo de instalaciones suele ser considerable y constante, teniendo esto un impacto negativo en el ambiente al tener relación directa con el uso de derivados del petróleo.

Las preguntas básicas que se plantean en el trabajo de investigación son:  
¿Cómo se diseña un sistema óptimo de equipos solares térmicos para generar agua caliente sanitaria a emplearse en el Sanatorio Nuestra Señora del Pilar?  
¿Cuál es la demanda energética del Sanatorio Nuestra Señora del Pilar para generar agua caliente sanitaria? ¿Cuáles son las ventajas económicas y ambientales de diseñar un sistema solar-térmico para calentar agua? ¿Cuáles son las características de los equipos óptimos para calentar agua en una institución hospitalaria?

El análisis se desarrolla aplicado a una institución hospitalaria nacional, que busca implementar tecnologías que les representen un ahorro en sus costos de operación para calentar agua sanitaria, pero que no cuentan con una guía para la estimación de la viabilidad de aplicación de proyectos que empleen sistemas solares-térmicos.

## 6. ALCANCES

Los alcances del presente trabajo de investigación están enfocados al ámbito nacional siendo aplicable a:

- Instalaciones hospitalarias
  - Nueve hospitales nacionales
  - Treinta y tres instalaciones hospitalarias privadas
  
- Sanatorios
  - Más de cien sanatorios privados a nivel nacional
  
- Edificios e instalaciones de salud pública y privada
  - Clínicas médicas generales
  - Centros de atención infantil
  
- Clínicas especializadas
  - Clínicas dermatológicas
  - Clínicas y laboratorios dentales
  - Centros de atención de la tercera edad
  
- Instalaciones donde el consumo de agua caliente sanitaria sea elevada
  
- Guía para estudiantes e investigadores



## **7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **7.1. Energía solar**

El aprovechamiento de la energía solar, como fuente de energía útil tiene un doble objetivo: por un lado ahorrar en energías no renovables, sobre todo energía fósil y energía nuclear, y por otro amortiguar el impacto ambiental generado por ellas.

La energía solar es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol. Si se intenta aprovechar esta energía de la mejor manera posible, se deberá conocer bien algunas de sus características más importantes tales como: horas de sol para una situación geográfica determinada, trayectoria aparente del sol respecto de un punto situado sobre la superficie de la tierra, cantidad de energía recibida por metro cuadrado y unidad de tiempo, energía recibida a lo largo de un día, mes o año, etc. (Jutglar Lluís, 2010)

### **7.2. Radiación solar**

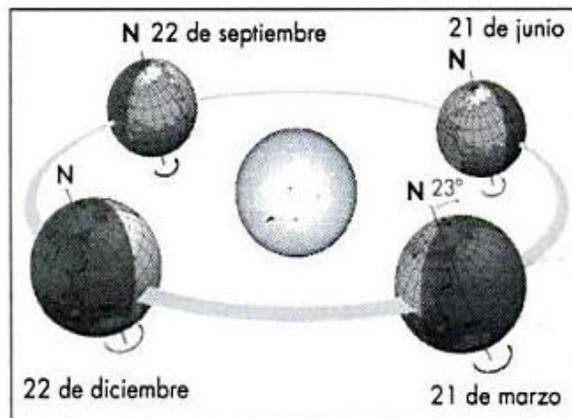
La radiación solar es una corriente de energía que el sol irradia uniformemente en todas las direcciones del espacio en forma de ondas electromagnéticas. Sobre la atmósfera externa de la Tierra, los rayos solares tienen una incidencia permanente de aproximadamente  $1,36\text{kw/m}^2$ , que se denomina constante solar y que se puede definir de forma más precisa como: la irradiancia solar sobre una superficie plana normal al vector de posición del sol ubicada en el límite superior de la superficie terrestre. (Romero, 2009)

Esta constante se le considera habitualmente un valor de  $1.350 \text{ W/m}^2$ , pero el valor medio exacto actual, es de  $1.372 \pm 3.3 \text{ W/m}^2$  debido a la excentricidad de la órbita terrestre.

No todas las superficies reciben la misma cantidad de energía. Así, mientras los polos son los que menor radiación reciben, los trópicos son los que están expuestos a una mayor radiación de los rayos solares. Esto tiene su explicación en el grado de inclinación de nuestro planeta respecto del sol ( $23,5^\circ$ ).

Romero Tous indica que la intensidad de la radiación no será la misma cuando los rayos solares incidan perpendicularmente en la superficie irradiada, que cuando el ángulo de incidencia sea más oblicuo, tal y como ocurre en los polos (ver figura 1).

Figura 1. **Grados de inclinación de la Tierra**

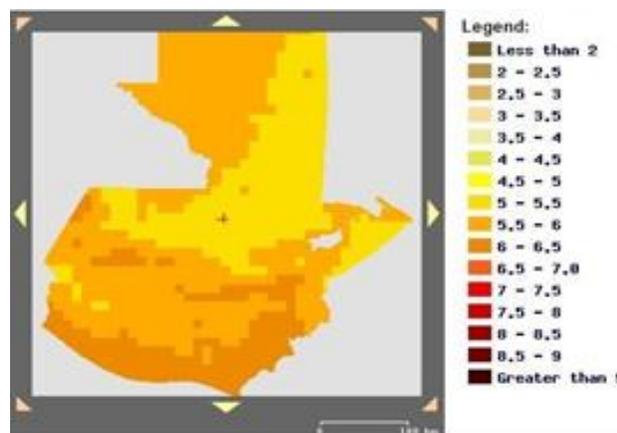


Fuente: Romero Tous. Energía solar térmica. p. 18.

Para establecer con exactitud la cantidad de energía que puede aprovecharse en un sitio concreto, también habrá que tener en cuenta otros aspectos, como la hora del día, la estación del año y muy especialmente las condiciones atmosféricas.

En los días nublados disminuye considerablemente la intensidad de la radiación y, por tanto, el aporte energético que puede recibir una instalación de energía solar térmica. Aunque la relación entre las variaciones en la nubosidad y la radiación solar es compleja, probablemente este factor es el más importante a la hora de poder calcular la energía que llega a un punto concreto de la superficie terrestre. (Romero Tous, 2009)

Figura 2. **Intensidad de la radiación solar**



Fuente: Insivumeh. <http://www.insivumeh.gob.gt>. Consulta: 15 de agosto de 2012

### 7.3. **Magnitudes relativas a la radiación solar**

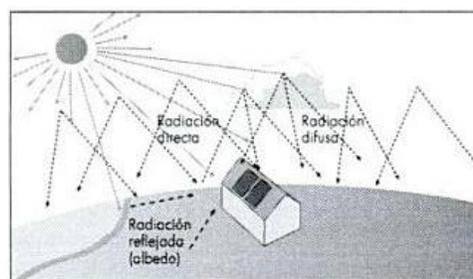
Es conveniente definir previamente una serie de conceptos sobre la radiación solar que serán de utilidad para entender con claridad las magnitudes que se utilizan para el cálculo de instalaciones.

### 7.3.1. Radiación solar

Cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y en un tiempo determinado. Su intensidad depende de la altura solar (latitud, fecha y hora del día), ubicación del panel, condiciones atmosféricas y altura sobre el nivel del mar. Puede ser de tres tipos:

- Radiación solar difusa: radiación solar esparcida y reflejada en la atmósfera que proviene de la bóveda celeste.
- Radiación solar directa: radiación solar que proviene directamente del sol.
- Radiación solar global: suma de las radiaciones solares directa y difusa. (Romero, 2009)

Figura 3. Tipos de radiación solar



Fuente: Romero Tous. Energía solar térmica. p. 20.

### **7.3.2. Irradiación**

Energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado y a lo largo de un cierto período. Se mide en kWh/m<sup>2</sup>.

### **7.3.3. Irradiancia**

Potencia o energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se mide en kw/m<sup>2</sup>.

### **7.3.4. Dispersión**

En condiciones favorables, la densidad de la energía del sol apenas alcanza 1 kw/m<sup>2</sup>, un valor muy por debajo del que se requiere para producir trabajo. Esto significa que, para obtener densidades energéticas elevadas, se necesitan grandes superficies de captación o sistemas de concentración de los rayos solares.

### **7.3.5. Intermitencia**

La energía solar no es continua, lo cual hace necesarios sistemas de almacenamiento. (Romero, 2009)

## **7.4. Aprovechamiento**

El aprovechamiento de la energía solar se puede llevar a cabo de dos formas: el aprovechamiento pasivo y el activo.

El aprovechamiento pasivo de la energía solar no requiere ningún dispositivo para captarla. Por ejemplo, se usa en la arquitectura para sistemas de calefacción en climas fríos, a través de grandes ventanas orientadas hacia donde el sol emite sus rayos durante la mayor parte del día. Otras aplicaciones comunes son el secado de productos agrícolas y de ropa.

Sin embargo, el uso o aprovechamiento activo ofrece soluciones más interesantes, pues ofrece alternativas para el uso de los recursos naturales que, comparadas con otras fuentes de energía, logran beneficios económicos sin deteriorar tales recursos. Los sistemas activos se basan en la captación de la radiación solar por medio de un elemento denominado “colector”.

El aprovechamiento térmico de la energía solar se divide en tres áreas:

- Aprovechamiento de baja temperatura (menos de 90°C): aplicado para calentamiento de agua y preparación de alimentos.
- Aprovechamiento de mediana temperatura (menos de 300°C): para aplicaciones industriales.
- Aprovechamiento de alta temperatura (hasta 4.000°C): aplicado para la generación de electricidad. (Telemática Educativa de Catalunya, 2011)

## **7.5. Sistemas solares para edificios**

Para edificios con grandes consumos de agua son recomendables los sistemas solares tipo forzado, por cuanto la cantidad requerida de agua caliente es elevada y debe estar disponible siempre.

Por su parte, en los sistemas termosifones los tanques tienen mucho peso, lo cual puede presentar un problema para la estabilidad de la estructura.

Económicamente, los sistemas solares para hoteles presentan un tiempo de amortización más corto que los de tipo residencial, dado que se requieren los mismos componentes, como regulador o bomba de recirculación, para un mayor número de colectores.

El costo de un tanque de almacenamiento de agua caliente grande también es proporcionalmente más económico que el de sistemas para viviendas (Energy Spain, 2012).

#### **7.5.1. Calentador de agua solar**

Un calentador de agua solar típico reduce unos dos tercios la necesidad de utilizar el calentador convencional, minimiza el coste de la electricidad o del combustible fósil para calentar el agua y reduce las consecuencias asociadas para el medio ambiente.

Aunque los calentadores de agua solar inicialmente cuestan más que los calentadores de agua convencionales, al poco tiempo resulta un ahorro porque el combustible que utiliza el sol, es gratis.

El coste anual producido por los calentadores de agua solares es un 50% a un 85% más bajo que el producido por los calentadores de agua eléctricos. (Energy Spain, 2012).

### **7.5.2. Calentamiento de agua**

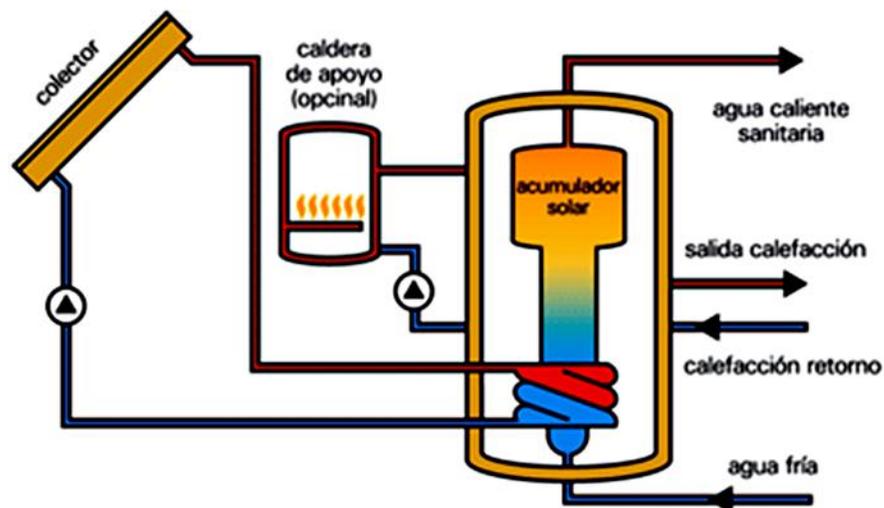
Dentro de una caja aislada por sus costados, y en su parte inferior, se instala un cilindro metálico negro que debe recibir la radiación directa del sol, y la reflejada por los lados, los cuales cuentan con papel aluminio reflejante. De esta manera se calienta el agua dentro del recipiente durante las horas de sol y el cobertor térmico transparente reduce las pérdidas caloríficas al mínimo, durante las horas sin sol. (Energy Spain, 2012)

### **7.5.3. Elementos que constituyen un sistema de ACS (agua caliente sanitaria)**

- Acometida de agua fría de consumo humano (AFCH).
- Generador de calor: es el elemento o grupo de elementos destinados a elevar la temperatura del agua fría. Existe multitud de posibilidades para elevar la temperatura del agua. En algunas instalaciones, típicamente las de menor tamaño, se utilizan calderas o calentadores que actúan calentando directamente el AFCH. En las instalaciones de mayor tamaño se usan intercambiadores de calor, diferenciándose el circuito de ACS del circuito de agua de caldera.
- Red de suministro: conjunto de tuberías que transportan el agua atemperada hasta elementos terminales.
- Acumulador: depósito o depósitos que almacenan el agua caliente, incrementando la inercia térmica del sistema y permitiendo la utilización de generadores de calor de potencia inferior a la demanda máxima puntual del sistema.

- Elementos terminales: grifos, duchas que permiten el uso y disfrute del ACS.
- Circuito de retorno: red de tuberías que transportan el agua de vuelta desde los puntos más alejados de la red de suministro hasta el acumulador. Su objeto es mantener un nivel aceptable de temperatura del agua caliente en toda la red de suministro, aun cuando los elementos terminales no demanden consumo durante largos periodos de tiempo. (MSSI España, 2012)

Figura 4. Esquema de un sistema de agua caliente sanitaria



Fuente: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, España.  
<http://www.msc.es/>. Consulta: 26 de octubre de 2012.

## 7.6. Aspectos ambientales

Si se quiere reducir el consumo de los recursos no renovables y preservar el ambiente, es necesario incorporar las energías renovables en el nivel urbano.

La energía solar tiene como ventajas respecto de otras fuentes, una elevada calidad energética, un impacto ambiental prácticamente nulo y ser un recurso inagotable. El generar energía térmica sin que exista un proceso de combustión, supone, desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio y no producir contaminación.

La instalación solar térmica para calentamiento de agua con un colector de aproximadamente 2 m para una familia de cuatro personas, evita, por año, la emisión de más de una tonelada de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y, además, no contribuye al efecto de calentamiento global, por no utilizar combustibles fósiles.

Por su parte, para la construcción de los sistemas solares térmicos hay que usar materiales de cobre, aluminio, hierro, vidrio y aislantes que pueden producir efectos ambientales negativos durante su fabricación; sin embargo, todos esos procesos son mucho menos contaminantes y peligrosos que las fuentes energéticas “convencionales”, a saber, aquellas cuya base son combustibles fósiles. (Energías renovables hoy, 2012)

## **8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

El diseño de un sistema que emplee calentadores solares-térmicos puede suministrar el agua caliente necesaria a instalaciones hospitalarias con efectividad y con un significativo ahorro en la factura energética.



## 9. CONTENIDO

El contenido de la presente investigación se centra en el análisis y determinación de las ventajas de un sistema solar térmico diseñado para instalaciones hospitalarias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTADO DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS (general y específico)

PROBLEMA

HIPÓTESIS

INTRODUCCIÓN

### 1. ANTECEDENTES

1.1. Instalaciones domésticas

1.2. Instalaciones industriales

1.3. Caracterización de instalaciones hospitalarias

1.3.1. Situación actual

1.4. Evolución del mercado de las instalaciones solares térmicas

1.4.1. Desarrollo de proyectos equiparables en Latinoamérica

1.5. Argumentos a favor de las instalaciones solares térmicas

1.6. Radiación solar

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Energías limpias

### 2.2. Qué es la energía solar

#### 2.2.1. Energía solar térmica

#### 2.2.2. Calentamiento de agua

### 2.3. Elementos de una instalación solar térmica

#### 2.3.1. Fluido

#### 2.3.2. Intercambiador de calor

#### 2.3.3. Acumuladores

#### 2.3.4. Bombas de recirculación

#### 2.3.5. Elementos del circuito hidráulico

#### 2.3.6. Sistema de control

#### 2.3.7. Circuito primario

##### 2.3.7.1. Tuberías

##### 2.3.7.2. Aislamiento

##### 2.3.7.3. Accesorios

#### 2.3.8. Circuito secundario

### 2.4. Aspectos ambientales

#### 2.4.1. Ventajas

#### 2.4.2. Desventajas

## 3. DIAGNÓSTICO HOSPITALARIO

### 3.1. Distribución del consumo energético

### 3.2. Uso del agua

#### 3.2.1. Consumo de agua

#### 3.2.2. Dispositivos empleados para generar agua caliente sanitaria

### 3.3. Sistema de distribución de agua caliente sanitaria

### 3.4. Supervisión y control de agua caliente sanitaria

- 3.4.1. Sistema de abastecimiento
    - 3.4.2. Temperatura del agua
  - 3.5. Diagnóstico energético
    - 3.5.1. Proceso de producción de agua caliente sanitaria
    - 3.5.2. Eficiencia económica en sistemas para calentar agua
  - 3.6. Problemas ambientales asociados a la producción de agua caliente sanitaria
- 4. METODOLOGÍA
  - 4.1. Procedimiento para realizar un análisis de un sistema para calentar agua por medio de calentadores solares
    - 4.1.1. Etapa 1: Definición de los objetivos y el alcance del diseño
    - 4.1.2. Etapa 2: Análisis del equipo
    - 4.1.3. Etapa 3: Análisis del impacto
    - 4.1.4. Etapa 4: Análisis de mejora
- 5. DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO PARA PRODUCIR AGUA CALIENTE SANITARIA
  - 5.1. Soluciones para ahorrar energía al producir agua caliente sanitaria
  - 5.2. Empleo de un sistema solar térmico para generar agua caliente sanitaria
    - 5.2.1. Características
    - 5.2.2. Funcionamiento
    - 5.2.3. Ventajas
  - 5.3. Dimensionado de la instalación solar térmica
    - 5.3.1. Diferencia entre el dimensionado de una instalación convencional y una solar
  - 5.4. Fase de dimensionado
    - 5.4.1. Demanda de energía térmica

- 5.4.2. Volumen de acumulación solar y área de captación
- 5.4.3. Selección de configuración básica
- 5.4.4. Diseño del sistema de acumulación
- 5.4.5. Ubicación, orientación e inclinación de los captadores
- 5.4.6. Selección de captadores y conexionado
- 5.4.7. Diseño del sistema de intercambio
- 5.4.8. Aporte solar de la instalación
- 5.4.9. Diseño del circuito primario
  - 5.4.9.1. Principales características de la bomba de circulación
  - 5.4.9.2. Diseño del circuito eléctrico
  - 5.4.9.3. Estructura soporte de los captadores y anclajes
  - 5.4.9.4. Diseño del sistema de control
- 5.5. Plan de mantenimiento
  - 5.5.1. Monitorización del consumo energético
  - 5.5.2. Ahorro energético
  - 5.5.3. Optimización y reducción de pérdidas
- 5.6. Análisis financiero y rentabilidad
  - 5.6.1. Tasa de retorno
  - 5.6.2. Valor presente
  - 5.6.3. Tasa interna de retorno
  - 5.6.4. Tiempo de repago
- 5.7. Recomendaciones operacionales

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## **10. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

Para desarrollar el trabajo de investigación, se utilizará la siguiente metodología y técnica:

### **10.1. Fase 1: investigación preliminar**

Se recaba información para conformar los conceptos teóricos del estudio, haciendo uso de:

- Revistas
- Artículos científicos
- Artículos tecnológicos
- Páginas web de aplicación de tecnología
- Consultas bibliográficas
- Otros

### **10.2. Fase 2: análisis de datos**

Se recaba información actualizada de revistas, libros y de publicaciones científicas y de internet de los equipos y sistemas disponibles para proyectos de generación de agua caliente sanitaria. Se comparan y evalúan las diferentes alternativas y se determinan las ventajas y desventajas de cada uno los equipos considerados.

Se realizarán los siguientes análisis:

- Análisis de equipos disponibles
- Mediciones de consumo de:
  - Energía eléctrica
  - Agua potable
- Análisis estadístico descriptivo (media, moda, coeficiente de variación) de los consumos de: agua, energía eléctrica utilizada y otras variables
- Demanda actual KW/h
- Radiación disponible  $\text{Cal}/(\text{cm}^2 \times \text{minuto})$
- Superficie necesaria  $\text{m}^2$  para campo de captadores
- Superficie disponible  $\text{m}^2$  para campo de captadores
- Eficiencia de la tecnología KW/h
- Análisis de costos
- Retorno de la inversión (años)
- Reducción de la factura eléctrica

### **10.3. Fase 3: evaluación técnica y diseño de un sistema para generar agua caliente sanitaria**

- Evaluación de alternativas
- Posibilidad de optar a tecnologías de punta
- Estimación de las necesidades de espacio físico para el proyecto
- Evaluación de costos de equipos
- Materiales de construcción
- Diseño del sistema
- Procedimientos
- Limitaciones del diseño

#### **10.4. Fase 4: análisis económico**

Se hará un análisis económico empleando herramientas de análisis financiero para evaluar la opción de configuración de equipos que presentan las mayores ventajas económicas para el diseño del sistema proyectado.

- Relación beneficio – costo del proyecto.
- Cálculo de VPN
- TIR
- Selección de diseño apropiado
  - Verificación de capacidad
  - Análisis del nivel de impacto de la mejora
- Análisis de las ventajas económicas y ambientales entre los sistemas tradicionales y sistemas de última generación para generar agua caliente sanitaria
- Recomendaciones



## 11. CRONOGRAMA

Actividades programadas para la recolección, aplicación de metodología y análisis de resultados.

Tabla I. **Cronograma de actividades de investigación**

Tiempo en meses	ene-13				feb-13				mar-13				abr-13				may-13				jun-13			
Actividad por semana																								
Fase 1: Investigación																								
Fase 2: Análisis de datos																								
Fase 3: Evaluación técnica																								
Fase 4: Propuesta																								
Informe final																								

Fuente: elaboración propia, programa de Microsoft Excel.



## 12. RECURSOS

Recursos necesarios:

Tabla II. Costo de los recursos a utilizar

Recurso humano	Costos (Q)			
	Por hora	Por mes	Total de meses	Por 6 meses
Asesor	200,00	4 000,00	6	24 000,00
Estudiante	100,00	2 000,00	6	12 000,00
Imprevistos		500,00	6	3 000,00
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>39 000,00</b>
<b>Materiales e insumos</b>				
Transporte		800,00	6	4 800,00
Acceso a Internet		200,00	6	1 200,00
Fotocopias		30,00	6	180,00
Impresiones		50,00	6	300,00
Fotos		20,00	6	120,00
Cámara fotográfica		400,00	1	400,00
Computadora		3 000,00	1	3 000,00
Impresora		200,00	1	200,00
Alimentación		200,00	6	1 200,00
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>11 400,00</b>
			<b>GRAN TOTAL</b>	<b>50 400,00</b>

Fuente: elaboración propia. Costo de análisis de investigación.



### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR, Carlos Humberto. (2010). *Utilización de aguas grises tratadas y aprovechamiento de aguas pluviales en edificaciones. Un enfoque eco energético*. Tesis magistral pública. USAC. Guatemala.
2. ÁLVAREZ, Fernando José. (2010). *Determinar los retos y las oportunidades que ofrece el mercado eléctrico regional al mercado eléctrico de Guatemala*. Tesis magistral pública. USAC. Guatemala.
3. ASIT. *La guía ASIT de la energía solar térmica* [en línea] [ref. de 10 de octubre de 2012]. Disponible en Web: <http://www.cni-instaladores.com/volcado/normativa/RITE-ASITsolartermica.pdf>
4. COMPAÑÍA REGIONAL DE ENERGÍA SOLAR. Usos de la energía solar térmica. *Catálogo* [en línea]. <<http://cres.es/?portfolio=solar-termica>> [Consulta: 16 de noviembre de 2012]
5. ENERGÍAS RENOVABLES HOY. *Catálogo* [en línea]: *Ventajas y desventajas del uso de la energía solar*. Disponible en Web: <<http://www.energiasrenovables hoy.net>> [Consulta: 10 de julio de 2012]
6. ENERGY SPAIN ALICANTE. *Energía solar térmica para calentar agua y calentadores de agua solares*. España. [en línea] [ref: 5 de agosto de 2012] Disponible en Web: <http://www.energy-spain.com/energia-solar/calentar-agua-solar>.

7. GARCÍA, Romel. (2008) *Caracterización energética de Guatemala*. Tesis magistral pública. USAC. Guatemala.
8. INSIVUMEH. *Instituto nacional de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología*. [en línea] [ref. de 15 de agosto de 2012]. Disponible en Web: <http://www.insivumeh.gob.gt>
9. JUTGLAR, Lluís. (2004). *Energía solar. Energías alternativas y medio ambiente*. Barcelona, España: Ceac Ediciones.
10. MEJÍA, Isis. (2008) *Propuesta para la implementación de un sistema de gestión ambiental bajo la Norma ISO 14,001:2004 para la pequeña y mediana empresa (pymes) en Guatemala*. Tesis magistral pública. USAC. Guatemala.
11. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. *Elementos que constituyen un sistema de ACS* [en línea]. España. [ref. de 10 de octubre de 2012]. Disponible en Web: [http://www.msc.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/3\\_Ieg.pdf](http://www.msc.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/3_Ieg.pdf)
12. MOLINA, Fernando y Walfred Taracena (2011). *Propuesta para el mejoramiento del sistema de energía, vapor y agua (EVA) del hospital de accidentes 7-19, área de quirófanos*. Tesis magistral pública. USAC. Guatemala.
13. ROMERO, Marcelo. (2009) *Energía solar térmica*. Madrid, España: Ceac Ediciones.

14. SOLARGE. *Energía solar térmica para grandes edificios* [en línea]. España. [ref. 15 de agosto de 2012]. Disponible en Web: [http://www.Solarge.org/uploads/media/SOLARGE\\_Best\\_Practice\\_Catalogue\\_es.pdf.pdf](http://www.Solarge.org/uploads/media/SOLARGE_Best_Practice_Catalogue_es.pdf.pdf)
  
15. SOLOSTOCKS. *Aplicaciones de las energías renovables: hospitales con energía solar térmica* [en línea]. España. [ref. 15 de agosto de 2012]. Disponible en Web: <http://blog.solostocks.com/situacion-de-las-energias-renovables-en-espana/>
  
16. UNED BIBLIOTECA. *Energía y desarrollo sostenible. Sistemas de producción* [en línea]. España. [ref. 10 de octubre de 2012]. Disponible en Web: <http://www.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/sistemas.htm>.
  
17. XTEC Xarxa. Telemática Educativa de Catalunya. *Agua caliente sanitaria y su aplicación en hospitales y sanatorios* [en línea] Cataluña España. [ref. 15 de agosto de 2012] Disponible en Web: <http://www.xtec.cat>

