



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DE UN CALENTADOR DE
AGUA SOLAR UTILIZANDO ASFALTO COMO COLECTOR TÉRMICO**

Jorge Estuardo Chavarría Barrientos

Asesorado por el Msc. Ing. Pedro Miguel Agreda Girón

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DE UN CALENTADOR DE
AGUA SOLAR UTILIZANDO ASFALTO COMO COLECTOR TÉRMICO**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE ESTUARDO CHAVARRÍA BARRIENTOS

ASESORADO POR EL MSC. ING. PEDRO MIGUEL AGREDA GIRÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, FEBRERO 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. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortíz Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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 DEL DISEÑO DE UN CALENTADOR DE AGUA SOLAR UTILIZANDO ASFALTO COMO COLECTOR TÉRMICO

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


Jorge Estuardo Chavarría Barrientos

Universidad de San Carlos
de Guatemala



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

ADSE-MEAPP-0010-2013

Guatemala, 04 de febrero de 2013.

Director:
Víctor Manuel Monzón Valdez
Escuela de Ingeniería Química
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 de la estudiante **Jorge Estuardo Chavarría Barrientos** con carné número **2006-11357**, 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,

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

"Id y enseñad a todos"



Msc. Ing. Pedro Miguel Agreda Girón
Ing. Pedro Miguel Agreda Girón
Ingeniería Mecánica
Col. No. 9176

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

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

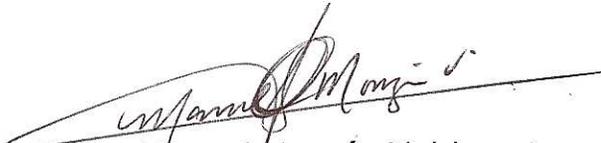
Cc: archivo
/la



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.034.2013

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **JORGE ESTUARDO CHAVARRÍA BARRIENTOS** titulado: "**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DE UN CALENTADOR DE AGUA SOLAR UTILIZANDO ASFALTO COMO COLECTOR TÉRMICO**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, febrero 2013



Cc: Archivo
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala

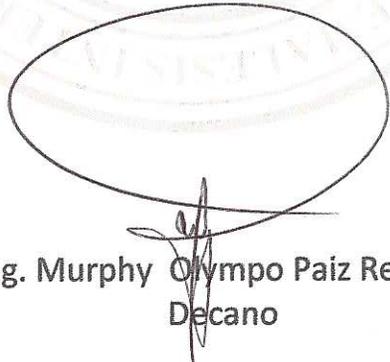


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 070.2013

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 Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO DE UN CALENTADOR DE AGUA SOLAR UTILIZANDO ASFALTO COMO COLECTOR TÉRMICO**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Estuardo Chavarría Barrientos**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 11 de febrero de 2013



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** El honor y la gloria a él, todo es posible en su nombre.
- Mis padres** Gryselda Mabell Barrientos de Chavarría y Mario Estuardo Chavarría González por su apoyo, cariño y amor. Son mi máxima inspiración, los amo.
- Mis hermanos** Mario Roberto Chavarría y Sergio Guillermo Chavarría Barrientos por los juegos y buenos momentos. Este es un triunfo nuestro, los quiero mucho.
- Mis abuelos** Hilda González, Blanca Villatoro (q.e.p.d.), Santiago Chavarría y Guillermo Barrientos por su sabiduría y consentimiento, son maravillosos.
- Mis tíos** Por los consejos, son un gran ejemplo a seguir.
- Mis primos** Los quiero mucho jóvenes. Vamos dos, si se quiere se puede y se logra, ánimo!.

Mis amigos

Wendi Tello por las porras y ánimos en este tramo final. Luis Daniel López y Alicia García de López por la bonita amistad, todo su cariño y apoyo. A mi Promoción XXX amigos de toda la vida, gracias por siempre estar en mi vida.

**Mis amigos
universitarios**

Geraldina García, Adriana Valle, Lizbet Pérez, Andrea Fong, Tania Santacruz, Luz Figueroa, Juan Girón, Marvin Estrada, Bryan Esquite, Francisco Ronquillo, Mario Velásquez, Luis Lemus, José Lira, Luis Diego Meléndez, Javier Muralles, Erick Girón por todos los buenos momentos y hacer más agradable mis años dentro de nuestra amada casa de estudios.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme las puertas de tan gloriosa institución y brindarme una excelente educación durante mis años universitarios.
Facultad de Ingeniería	Por ofrecerme los medios necesarios para mi formación como profesional.
Escuela de Estudios de Posgrado	Por ayudar en mi crecimiento humano y profesional.
Escuela de Ingeniería Química	Por las buenas experiencias y exigencias que sin duda hoy se reflejan en mi diario vivir.
Ing. Pedro Agreda	Por su experiencia y asesoramiento en el presente informe.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	3
3. OBJETIVOS	5
4. JUSTIFICACIÓN	7
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
6. ALCANCES	11
7. MARCO TERÓRICO Y CONCEPTUAL	13
7.1. La energía solar	13
7.1.1. Transformación natural de la energía solar.....	14
7.1.2. Recogida directa de energía solar	14
7.2. Transferencia de calor	16
7.2.1. Conducción	16
7.2.2. Convección	17
7.2.3. Radiación.....	17
7.3. Radiación solar	18

7.4.	Cuerpos negros	18
7.5.	Generalidades del asfalto	19
7.5.1.	¿Qué es un asfalto?	19
7.5.2.	Composición del asfalto.....	22
7.5.3.	Características del asfalto	23
7.5.4.	Procesos del asfalto	24
7.5.4.1.	Proceso químico.....	24
7.5.4.2.	Proceso fisicoquímico.....	24
7.5.4.3.	Proceso físico	25
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	27
8.1.	Hipótesis científica.....	27
8.2.	Hipótesis estadística.....	27
9.	CONTENIDO.....	29
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	33
10.1.	Fase I: investigativa y de diseño.....	33
10.2.	Fase II: evaluación	34
10.3.	Fase III: análisis comparativo	35
11.	RESULTADOS ESPERADOS.....	37
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	39
13.	RECURSOS NECESARIOS	41
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Productos bituminosos.....	20
2.	El asfalto.....	21
3.	Productos y temperaturas típicas de destilación.....	22

TABLAS

I.	Cronograma de actividades	39
II.	Recurso a utilizar.....	41

GLOSARIO

Colector solar	Son dispositivos diseñados para captar la radiación solar, transformarla en energía térmica y así elevar la temperatura de un fluido.
IDC	Intercambiador de calor.
Radiación solar	Es el conjunto de radiaciones emitidas por el Sol, radiaciones de tipo electromagnético.
ER	Energía Renovable.
Capacidad calórica	Es la cantidad de calor que dicho cuerpo absorbe cuando su temperatura aumenta un grado.
IDEA	Instituto para Diversificación y Ahorro de la Energía de España.

RESUMEN

Dentro de los hogares guatemaltecos cada vez se está haciendo más común el uso de calentadores para poder climatizar el agua de consumo diario, principalmente para las actividades de higiene personal. Este tipo de confort requiere ciertos gastos como cualquier otra necesidad que el hogar se plantee. Por medio de esta investigación se pretende dar una nueva alternativa para el calentamiento del agua, utilizando al asfalto como colector solar y por medio de un IDC lograr el calentamiento del agua.

El sistema propuesto plantea aprovechar la capacidad del asfalto para almacenar la radiación solar en forma de calor y con ello poder calentar el agua. El asfalto es un recurso altamente utilizado para la construcción de carreteras, sin embargo, su capacidad calórica no es aprovechada y al momento sacar provecho de la energía solar puede presentarse como una ER. El calor es utilizado para calentar el agua que luego es almacenada para su posterior dentro de la vivienda, de esta manera se reduce el consumo eléctrico ayudando a la economía familiar y al ambiente pues en Guatemala se consume derivados de petróleo.

Del diseño se obtendrá datos para poder comparar el rendimiento del sistema propuesto versus los medios convencionales de calentamiento de agua como el calentador eléctrico y el calentador de gas. De esta manera se verifica la viabilidad del producto junto con la temperatura de trabajo que el sistema puede alcanzar.

1. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de la propiedad del asfalto para retener calor y luego utilizarlo como medio de calentamiento es una forma para obtener provecho de un recurso amplio, carreteras asfaltadas, dedicado exclusivamente como vía para la movilización de los transportes terrestres. Un colector de asfalto, en funcionamiento análogo a los paneles termo solares, retiene la radiación solar en forma de calor; condición que en el presente trabajo se plantea aprovechar para el calentamiento de agua.

En el primer capítulo se contemplan los antecedentes del tema a desarrollar, marco teórico y metodología necesaria para llevar a cabo el proceso investigativo analizando e investigando las propiedades del asfalto y su capacidad calórica. El segundo capítulo abarca los principios básicos y de diseño del sistema de calentamiento, enfocándose en los materiales a utilizar el dimensionamiento estimado del sistema.

Según las bases científicas se plantea la fase experimental en el tercer capítulo, contemplándose en ella la elaboración de 4 planchas de asfalto de 1 metro cuadrado para poder determinar la temperatura máxima que alcanza el asfalto como colector. Además se verificará la conveniencia de utilizar el sistema como un calentador indirecto, es decir, utilizar otro líquido para introducir en las planchas o como un sistema de calentamiento directo del agua.

En el cuarto capítulo se hará un análisis económico entre el sistema propuesto y los sistemas convencionales para el calentamiento del agua. Dicho análisis envuelve los costos de instalación y de operación en comparación a los

calentadores de agua eléctricos y de gas propano, a manera de determinar la viabilidad económica del sistema propuesto en el trabajo. Los resultados obtenidos y recomendaciones se contienen en el quinto capítulo.

2. ANTECEDENTES

La idea de utilizar asfalto como colector solar es una alternativa que ha venido tomando auge durante la década del 2000 al 2010. La mayoría de carreteras vehiculares en todo el planeta se encuentran fabricadas de asfalto y este seguirá siendo la materia prima principal para la construcción de muchas más, hasta que se encuentre un sustituto o ya no sea viable su utilización. Dado que se sigue utilizando, se debe aprovechar al máximo cada una de sus propiedades y su capacidad de absorción de calor es una de ellas.

Cortés, Cadenas, García, Castro, Pasqual, Vega, & Potti (2010, página 4) mencionan que “desde 1994, la planta piloto SERSO, ubicada en Suiza, previene la formación de hielo en un puente de autopista. Este sistema capta el calor absorbido por el pavimento en verano mediante unas tuberías de metal embebidas en él y lo almacena en tubos taladrados en la montaña a una cierta profundidad. Durante el invierno, ese calor mantiene la temperatura del puente por encima del punto de congelación.”

Siebert, N. & Zacharakis, E. (2010), presentan una tesis de Maestría en la proponen el diseño de un colector de asfalto y el pozo de almacenamiento de calor para una vivienda residencial, a manera de ofrecer una forma de climatización amigable en un país como Suecia.

Sullivan, C. (2006), menciona las propiedades del asfalto y los beneficios que se pueden obtener de la energía que se almacena en los pavimentos. De igual manera proporciona datos de proyectos exitosos realizados en Holanda como el “*Road Energy Sistem*”.

En el Reino Unido ha tomado auge tecnología denominada como “*Interseasonal Heat Transfer*”. Este sistema es capaz de retener la energía calórica del sol en un cuerpo como el asfalto durante el verano, para luego redistribuirlo en un edificio en la estación de invierno. (Cortés et al., 2010).

En los ejemplos mencionados anteriormente se habla del uso del colector solar de asfalto como un sistema de calefacción, sin embargo la idea propuesta es para utilizarlo como calentador de agua. En Guatemala no existen proyectos con colectores de asfalto para sistemas de calefacción ni para calentadores de agua, solamente existen instituciones que promueven e incentivan a la utilización de energías renovables en los proyectos de habitación como es el caso de *Guatemala Green Building Council* y la Municipalidad de Guatemala (Guatemala Green Building Council, 2012).

3. OBJETIVOS

General

Diseñar un calentador solar de agua doméstica, utilizando como colector de energía térmica Cemento Asfáltico (asfalto para pavimentación).

Específicos

1. Determinar las temperaturas máximas de calentamiento que el sistema puede proporcionar.
2. Evaluar el sistema utilizando el asfalto como medio de calentamiento directo del agua y como medio indirecto.
3. Realizar un análisis económico comparativo entre la propuesta planteada y los medios convencionales de calentamiento de agua.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente tema de graduación surge de la necesidad de utilizar nuevas fuentes de energía, de diversificar nuestra matriz energética y poco a poco reducir de la dependencia de quema de combustible para la generación eléctrica.

Dado el posicionamiento de Guatemala hace que sea un país que goce de condiciones favorables para la utilización de la energía solar como medio alternativo para la satisfacción de las necesidades energéticas locales. Dado lo anterior surge la idea de aprovechar dichas condiciones favorables de irradiación solar y por medio de un sistema de calentamiento de agua que utilice el asfalto como colector sacar toda la ventaja posible de dichas condiciones.

La búsqueda del confort o las comodidades de cada día ha llevado al hombre a satisfacerla de una manera ambientalmente inconsciente, sin embargo esta tendencia la está cambiando y ha desarrollado nuevas maneras de hacerlo siendo eficiente y consciente en el cuidado medioambiental. El calentamiento del agua por medio de un colector de asfalto es una de estas nuevas maneras, ya que compite contra las formas tradicionales de calentamiento en donde la eficiencia es una gran carencia y que consume grandes cantidades de energía como sucede en el caso de los calentadores de agua por resistencia eléctrica.

Surge como una opción ambientalmente amigable y que aprovecha una energía renovable como es la solar, buscando una forma alternativa que proporcione al mismo tiempo un menor gasto económico al usuario.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cada día son más los hogares que, en busca de su confort relacionado a la utilización de agua, prefieren el uso de agua climatizada para los distintos usos que les son necesarios. A manera de adecuar la temperatura del agua a su gusto se utilizan calentadores de agua que utilizan resistencias eléctricas para lograr dicho objetivo; sin embargo, en el proceso se tiene un consumo alto de energía eléctrica y siendo ineficiente el sistema. IDEA (2011, página 32) sostiene que “las instalaciones fijas (calefacción y agua caliente sanitaria) suponen del orden del 67 por ciento del consumo energético de los hogares españoles”, por lo que la eliminación de los dispositivos que las usen ayudará a reducir el consumo eléctrico.

A partir del siglo 21 una forma alternativa que ha dado auge para calentar agua es por medio de calentadores con paneles solares, a pesar de ser una alternativa de energía renovable es costosa y muchas personas no pueden hacer la inversión inicial, algo que junto con la desinformación ha evitado la generalización de su uso.

Por lo anterior surge la pregunta: ¿Es factible aprovechar el calor retenido por el asfalto para el calentamiento de agua?. Esta pregunta da origen a la idea de diseñar un sistema de calentamiento de agua que utilice como colector solar el asfalto. El asfalto a utilizar es aquel que de acceso a la vivienda, calles, parqueos y proyectos nuevos de infraestructura (vivienda, edificios, oficinas, centros comerciales) y que les transmita el sentido sostenible por utilizar la energía solar.

Una vez diseñado el sistema se deben determinar sus condiciones de operación: ¿cuál es la temperatura máxima a la que se puede calentar el agua?, ¿qué diferencia se presentaría en el sistema si el calentamiento fuera directo versus un calentamiento indirecto?, ¿qué viabilidad económica tendría el sistema propuesto versus las formas convencionales para calentar agua?. Encontrar la respuesta a estas interrogantes es lo que da origen a la presente investigación.

6. ALCANCES

Los alcances para el presente se limitan a nivel urbano y de aplicación domiciliar, a manera que pueda ser aplicado como una nueva tendencia para las futuras construcciones debido a lo complicado que podría resultar instalarlo en un domicilio ya construido.

- Nueva tecnología que se desarrolla como una alternativa eficiente y sostenible para el calentamiento del agua en un domicilio.
- Delimitado al perímetro urbano de la ciudad de Guatemala.
- Implementación a nivel domiciliar, en el asfalto que conduce hacia la vivienda y que se encuentra frente a la misma.
- Proyectos nuevos de construcción que busquen la implementación de hogares energéticamente sostenibles.
- Establecer un modelo a seguir para la utilización de asfalto como colector, sentando las bases del marco legal para fomentar la implementación de proyectos similares.

7. MARCO TERÓRICO Y CONCEPTUAL

El Sol aporta energía directamente sobre la Tierra, sin embargo, mucha de esta energía puede ser aprovechada y puede llegar a ser una fuente inagotable para las actividades humanas como energía renovable.

7.1. La energía solar

La energía solar es la que se obtiene producto de las reacciones de fusión que se producen en el Sol, llegan a la Tierra en forma de fotones que recorren el espacio hasta llegar a la atmósfera, para luego interactuar con la superficie terrestre. Formaselect España S.L. (2006, página única) afirma que “la intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a su distancia promedio del Sol, se llama constante solar, y su valor medio es $1,37 \times 10^6$ ergio/segundo/centímetro cuadrado, o unas 2 calorías/minuto/segundo cuadrado. Sin embargo, esta cantidad no es constante, ya que parece ser que varía un 0,2 por ciento en un período de 30 años.”

La intensidad de energía solar depende del punto en donde en que se mida en la Tierra, además de la latitud, hora y el día del año en que se hace la medición. Otra variable que puede condicionar la cantidad de energía solar que se obtiene es la orientación del colector. (Formaselect España S.L., 2006).

7.1.1. Transformación natural de la energía solar

La recopilación natural de la energía solar se produce en la atmósfera, los océanos y las plantas de la Tierra. Dichas interacciones, por ejemplo, dan origen a los vientos, utilizados durante siglos para hacer girar los molinos. (FE S.L., 2006).

Casi el 30 por ciento de la energía solar que alcanza el borde exterior de la atmósfera se consume en el ciclo del agua, que produce la lluvia y la energía potencial de las corrientes de montaña y de los ríos. Gracias al proceso de fotosíntesis, la energía solar contribuye al crecimiento de la vida vegetal (biomasa) que, junto con la madera y los combustibles fósiles que desde el punto de vista geológico derivan de plantas antiguas, puede ser utilizada como combustible. Otros combustibles como el alcohol y el metano también pueden extraerse de la biomasa. (FE S.L., 2006).

Asimismo, los océanos representan un tipo natural de recogida de energía solar. Como resultado de su absorción por los océanos y por las corrientes oceánicas, se producen gradientes de temperatura. En algunos lugares, estas variaciones verticales alcanzan 20 grados Celsius en distancias de algunos cientos de metros. (FE S.L., 2006).

7.1.2. Recogida directa de energía solar

La obtención de la energía solar se da por la utilización de dispositivos artificiales, denominados colectores solares. Estos colectores pueden ser térmicos o fotovoltaicos. Los primeros aprovechan la energía solar para calentar un líquido que es almacenado para su posterior utilización, mientras que los fotovoltaicos convierten la energía solar en energía eléctrica. En este

trabajo se abarcará con especial atención los colectores térmicos, debido a que el sistema que se propone es un colector solar térmico. Por lo tanto, los colectores solares térmicos pueden ser: de placa plana o de concentración.

Colectores de placa plana: en los procesos térmicos los colectores de placa plana interceptan la radiación solar en una placa de absorción por la que pasa el llamado fluido portador. Éste, en estado líquido o gaseoso, se calienta al atravesar los canales por transferencia de calor desde la placa de absorción. La energía transferida por el fluido portador, dividida entre la energía solar que incide sobre el colector y expresada en porcentaje, se llama eficiencia instantánea del colector.

Los colectores de placa plana tienen, en general, una o más placas cobertoras transparentes para intentar minimizar las pérdidas de calor de la placa de absorción en un esfuerzo para maximizar la eficiencia. Son capaces de calentar fluidos portadores hasta 82 grados Celsius y obtener entre el 40 y el 80 por ciento de eficiencia. (FE S.L., 2006).

Los colectores de placa plana se han usado de forma eficaz para calentar agua y para calefacción. Los sistemas típicos para casa-habitación emplean colectores fijos, montados sobre el tejado. En el hemisferio norte se orientan hacia el sur y en el hemisferio sur hacia el norte. El ángulo de inclinación óptimo para montar los colectores depende de la latitud. En general, para sistemas que se usan durante todo el año, como los que producen agua caliente, los colectores se inclinan (respecto al plano horizontal) un ángulo igual a los 15 grados de latitud y se orientan unos 20 grados latitud sur o 20 grados de latitud norte. (FE S.L., 2006).

Colectores de concentración: para aplicaciones como el aire acondicionado y la generación central de energía y de calor para cubrir las grandes necesidades industriales, los colectores de placa plana no suministran, en términos generales, fluidos con temperaturas bastante elevadas como para ser eficaces. Se pueden usar en una primera fase, y después el fluido se trata con medios convencionales de calentamiento. Como alternativa, se pueden utilizar colectores de concentración más complejos y costosos. Son dispositivos que reflejan y concentran la energía solar incidente sobre una zona receptora pequeña.

Como resultado de esta concentración, la intensidad de la energía solar se incrementa y las temperaturas del receptor (llamado blanco) pueden acercarse a varios cientos, o incluso miles, de grados Celsius. Los concentradores deben moverse para seguir al Sol si se quiere que actúen con eficacia; los dispositivos utilizados para ello se llaman heliostatos. (FE S.L., 2006).

7.2. Transferencia de calor

Calor es la energía en tránsito desde un cuerpo con de mayor temperatura hacia otro de menor. El calor es asociado a la energía cinética de un sistema, debido al movimiento molecular presente en el mismo. El tránsito del calor puede darse por tres formas.

7.2.1. Conducción

Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los

sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una red y al transporte de energía por parte de los electrones libres. La rapidez con que se manifieste la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material del que está hecho, así como el gradiente de temperatura a través de él. (Cengel, 2007).

7.2.2. Convección

Es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. Si el fluido no se mueve la transferencia de calor entre el sólido y el fluido adyacente es íntegramente por conducción. (Cengel, 2007, página 25).

La convección se puede manifestar de dos maneras: si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie del sólido por medios mecánicos externos, como un ventilador, se denomina convección forzada. Si el fluido fluye sobre la superficie del sólido debido al empuje provocado por las diferencias de densidad debidas a un gradiente de temperatura, se conoce como convección natural. (Cengel, 2007).

7.2.3. Radiación

Es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas o fotones, como resultado de los cambios de las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. (Cengel, 2007, página 27). Este tipo de mecanismo

de transferencia varía respecto al de la conducción y el de la convección en el hecho que no necesita un medio de transferencia para que se logre, la radiación puede darse en el vacío; de hecho por esa razón es que la energía proveniente del Sol llega a la Tierra en forma de radiación.

7.3. Radiación solar

Las radiaciones solares son el conjunto de radiaciones electromagnéticas que llegan a la Tierra producto de las reacciones de fusión en el Sol. Mucha de la radiación solar que llega a la Tierra es reflejada por la atmósfera y no alcanza la superficie terrestre. La magnitud solar que llega a la tierra es la irradiación, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra.

La mayor parte de la energía utilizada por los seres vivos procede del Sol, un claro ejemplo se puede observar en la cadena alimenticia; las plantas absorben la energía del Sol para su proceso de fotosíntesis, los seres herbívoros obtienen una pequeña porción de dicha energía y los seres carnívoros al consumirlos obtienen otra pequeña parte de la energía proporcionada por Sol.

7.4. Cuerpos negros

Un cuerpo negro es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él. Un cuerpo negro se distingue por una superficie mate o de color oscuro que tiene la capacidad de retener la radiación que es alcanzada por este cuerpo. Dicha propiedad le permite contener la radiación y almacenarla temporalmente como calor, manifestando un aumento en su temperatura superficial.

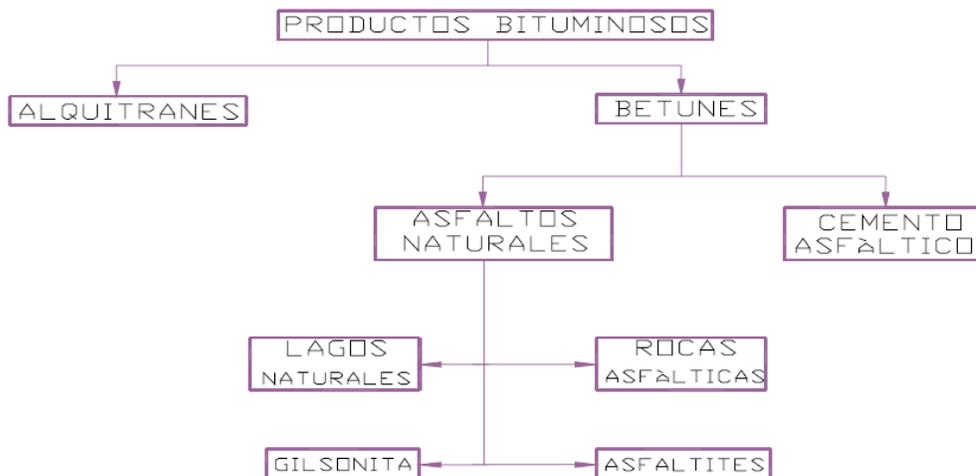
7.5. Generalidades del asfalto

El uso moderno del asfalto para carreteras y construcción de calles comenzó a finales del siglo pasado, y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces, la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos, hoy día, los equipos y los procedimientos usados para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastantes sofisticados. Este capítulo trata sobre el asfalto, desde sus antecedentes históricos hasta su composición, propiedades, características, etc. (Coyopotl, R. & Salinas, M. 2006).

7.5.1. ¿Qué es un asfalto?

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfáltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida. Estos pueden tener dos orígenes; los derivados de petróleos y los naturales. (Coyopotl et al., 2006).

Figura 1. **Productos bituminosos**

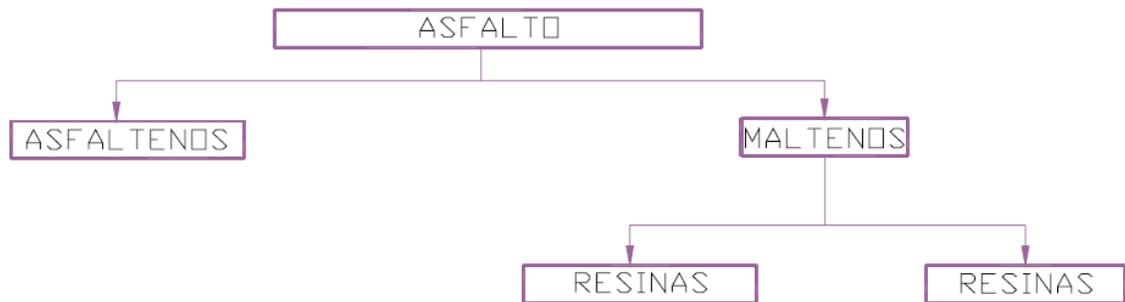


Fuente: Coyopotl y Salinas, 2006, página 5, basado en el Instituto del Asfalto, Manual del Asfalto.

Los asfaltos naturales, se han producido a partir del petróleo, pero por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas solamente. Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a los lagos de asfalto, como los de la isla de Trinidad (Meteoprog, 2012). También aparecen impregnando los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas.

Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación. En la actualidad, no es muy utilizado este tipo de asfalto por cuanto adolece de uniformidad y pureza. (Coyopotl et al., 2006).

Figura 2. El asfalto



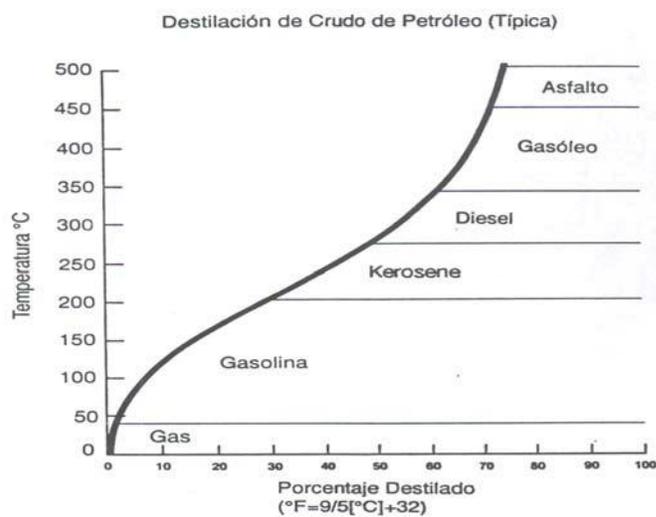
Fuente: Coyopotl et al., 2006, página 6, basado en el Instituto del Asfalto, Manual del Asfalto.

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados del petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 por ciento de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y a veces en su totalidad, sin embargo existen algunos petróleos crudos, que no contienen asfalto. Con base en la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en: petróleos crudos de base asfáltica, petróleos crudos de base parafínica y petróleos crudos de base mixta. (Coyopotl et al., 2006).

El petróleo crudo extraído de los pozos, es sometido a un proceso de destilación en el cual se separan las fracciones livianas como la nafta y keroseno de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas. En consecuencia, el asfalto es obtenido como un producto residual del proceso anterior. El asfalto es además un material bituminoso pues contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono.

El alquitrán obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún, por lo tanto también es un material bituminoso pero no debe confundirse con el asfalto, ya que sus propiedades difieren considerablemente. (Coyopotl et al., 2006).

Figura 3. **Productos y temperaturas típicas de destilación**



Fuente: Coyopotl et al., 2006, página 7, basado en el Instituto del Asfalto, Manual del Asfalto.

El asfalto de petróleo moderno, tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños. (Coyopotl et al., 2006).

7.5.2. **Composición del asfalto**

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre fase continua y

dispersa. Las primeras experiencias para descubrir su estructura, fueron desarrolladas por *Nellensteyn* en 1924, cuyo modelo fue mejorado más tarde por *Pfeiffery Saal* en 1940, en base a limitados procedimientos analíticos. (Coyopotl et al., 2006).

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por dos asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada maltenos. Las resinas contenidas en los maltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los insolubles asfáltenos. Los maltenos y asfáltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites. (Coyopotl et al., 2006).

7.5.3. Características del asfalto

El asfalto es un líquido viscoso constituido esencialmente por hidrocarburos o sus derivados, a continuación enlistamos algunas de sus características:

- **Consistencia:** se refiere a la dureza del material, la cual depende de la temperatura. A altas temperaturas se considera el concepto de viscosidad para definirla.
- **Durabilidad:** capacidad para mantener sus propiedades con el paso del tiempo y la acción de agentes envejecedores.
- **Susceptibilidad térmica:** variación de sus propiedades con la temperatura.

- Pureza: definición de su composición química y el contenido de impurezas que posee.
- Seguridad: capacidad de manejar el asfalto a altas temperaturas sin peligros de inflamación. (Coyopotl et al., 2006)

7.5.4. Procesos del asfalto

El asfalto cuenta con tres tipos de procesos de mejoramiento, tanto físicos como químicos, descritos a continuación:

7.5.4.1. Proceso químico

En este proceso se afecta la estructura natural del asfalto a nivel químico para maximizar sus propiedades.

- Polimeración: formación de moléculas más grandes, generando una estructura más rígida. Depende del tipo de asfalto y la temperatura. Proceso irreversible pero se puede atenuar.
- Oxidación: es una reacción entre el asfalto y el oxígeno, es una forma de polimeración.

7.5.4.2. Proceso fisicoquímico

Busca alterar en un mismo proceso tanto propiedades físicas como químicas a manera de mejorar la calidad del asfalto, eliminando componentes no necesarios.

- Volatilización: Evaporización de los componentes más livianos del asfalto. Depende únicamente de la temperatura, proceso reversible pero no se logra el mismo material.

7.5.4.3. Proceso físico

Solo alteraciones de forma y no de composición pero que son necesarias para mejorar su consistencia.

- Endurecimiento térmico (reversible).
- Endurecimiento en la vecindad del agregado (no reversible).
- Fatiga.
(Coyopotl et al., 2006).

8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

8.1. Hipótesis científica

El calentador solar que utiliza asfalto como colector es una opción viable económicamente y energéticamente sostenible para el calentamiento de agua con respecto a los calentadores eléctricos y de gas.

8.2. Hipótesis estadística

Hipótesis Nula (H_0): El beneficio económico y energético del sistema propuesto (τ_1) son mayores que los del calentador eléctrico (τ_2) y calentador de gas (τ_3).

Hipótesis Alterna (H_a): El beneficio económico y energético del sistema propuesto (τ_1) son menores que los del calentador eléctrico (τ_2) y calentador de gas (τ_3).

$$H_0: \tau_1 \geq \tau_2, \tau_3$$

$$H_a: \tau_1 \leq \tau_2, \tau_3$$

9. CONTENIDO

El trabajo se centrará en la determinación de las condiciones físicas que pueden ser alcanzadas por el sistema y como pueden ser utilizadas para el calentamiento del agua. Así mismo, se comparará contra los sistemas más comunes utilizado actualmente, analizando gastos de instalación, mantenimiento y funcionamiento.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. PRINCIPIOS Y CONCEPTOS GENERALES. Capítulo que da los conceptos generales y con sencillez da a conocer la teoría a manejar durante la investigación
 - 1.1. La energía solar
 - 1.1.1. Transformación natural de la energía solar
 - 1.2. Transferencia de calor
 - 1.2.1. Conducción
 - 1.2.2. Convección
 - 1.2.3. Radiación
 - 1.3. Radiación solar
 - 1.4. Cuerpos negros

2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE MATERIALES Y DISEÑO. Capítulo que describe los materiales a utilizarse sus propiedades y el diseño a utilizar para la conformación del colector
 - 2.1. Asfalto
 - 2.2. Tubería
 - 2.3. Dimensionamiento y diseño del colector

3. FASE EXPERIMENTAL. Capítulo que describe la obtención de condiciones de operación del colector y el funcionamiento del sistema de calentamiento de agua.
 - 3.1. Obtención de temperatura máxima
 - 3.2. Tiempo de operación durante el día
 - 3.2.1. Gráfica temperatura vs tiempo de operación
 - 3.3. Elección de la forma de calentamiento del agua: directa o indirecta
 - 3.4. Sistema de bombeo
 - 3.5. Almacenamiento del fluido caliente

4. ANÁLISIS COMPARATIVO. Capítulo en donde se detallan los sistema convencionales de calentamiento y los compara con respecto a los resultados obtenidos para el sistema propuesto.
 - 4.1. Sistemas convencionales de calentamiento
 - 4.1.1. Calentador eléctrico
 - 4.1.1.1. Costo de inversión y mantenimiento
 - 4.1.1.2. Temperaturas de funcionamiento
 - 4.1.1.3. Costo de operación
 - 4.1.2. Calentador a gas
 - 4.1.2.1. Costo de inversión y mantenimiento
 - 4.1.2.2. Temperaturas de funcionamiento

4.1.2.3. Costo de operación

4.2. Comparación entre el sistema propuesto y los sistemas convencionales

4.2.1. Comparación Operacional

4.2.2. Comparación Económica

4.2.3. Impacto ambiental

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

APÉNDICES

10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

El estudio a realizarse durante el trabajo de tesis es de carácter experimental y será evaluado de acuerdo con respecto al “Diseño completamente al azar” y seguirá el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{Ecuación No.1, (Delgado, 1992)}$$

Donde:

El subíndice i está asociado al tratamiento y el subíndice j está asociado a la repetición.

Y_{ij} = Valor de la variable de respuesta en la repetición j del tratamiento i .

μ = Media general del experimento.

τ_i = Efecto del tratamiento i .

ε_{ij} = Error experimental en la repetición j del tratamiento i .

El estudio se dividirá en las siguientes fases:

10.1. Fase I: investigativa y de diseño

Se construirá el colector de asfalto según los materiales seleccionados y los parámetros establecidos para el asfalto y la tubería a utilizar. Así mismo se establecerá la cantidad de tubos que es capaz de contener el asfalto en el área de trabajo y la profundidad mínima a la cual se pueden dejar las tuberías a manera de aprovechar mayormente el calor que el asfalto retenga. Existen

resultados de absorción térmica para el asfalto (Siebert et al., 2010), sin embargo, estos son obtenidos a latitudes distintas a la cual se encuentra Guatemala por lo que no son representativos dada la dependencia que existe entre la irradiación solar y la latitud en la cual se mide.

El colector se propone sea instalado en el asfalto de las calles y avenidas de futuros proyectos domiciliarios de manera que el flujo vehicular liviano será el predominante sobre el asfalto, factor clave a considerar al momento de seleccionar la profundidad de la tubería.

10.2. Fase II: evaluación

Debido a que se diseñaran 3 planchas en igualdad de condiciones (mismos materiales, dimensiones, cantidad de tubos y profundidad de los mismos) se dispondrán cada una en condiciones diferentes de operación, diferenciando en cada una de ellas:

- Altura respecto del suelo
- Grado de Inclinación

Cada una de las condiciones anteriores serán los tratamientos de diferenciación en cada una de las repeticiones a realizarse. Durante cada repetición se tomará una lectura directa a cada hora de la temperatura en el interior de los tubos, a manera de realizar una curva de Temperatura vs Hora del día en cada uno de los colectores.

El análisis estadístico a cada una de las series de datos al ser simples se hará por medio de la T de *Student*, a manera de verificar la independencia de errores y descartar posibles datos problemáticos.

Una vez obtenida la curva de temperatura y la temperatura máxima de operación, se debe determinar si la forma de calentamiento del agua se hace de forma directa o de forma indirecta. Esta decisión está estrechamente relacionada a la temperatura y el tiempo máximo de funcionamiento que el equipo puede ofrecer.

10.3. Fase III: análisis comparativo

En análisis involucrara a los sistemas de calentamiento eléctrico y de gas (los más comúnmente utilizados), verá en ellos valores de instalación (inversión) y mantenimiento a manera de hacer un análisis económico, sumando también deberá estar el costo de operación. Éste análisis se efectuará para los tres sistemas comparado su tasa interna de retorno (TIR).

$$\sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} - I = 0 \quad \text{Ecuación No.2, (Meza, 2008)}$$

Donde:

F_t = Flujo de Caja en el período t.

n = Número de períodos.

I = Valor de la inversión inicial.

Además de realizarse una comparación de carácter económico, también se analizará el impacto ambiental y energético con la utilización de cada uno de los sistemas a analizar:

- Consumo energético
- Emisiones gaseosas
- Disposición final

11. RESULTADOS ESPERADOS

De acuerdo a los procedimientos planteados y el análisis comparativo sugerido, los resultados esperados son:

- Sistema funcional para el calentamiento del agua.
- Temperatura máxima alcanzada satisface las necesidades de confort de las viviendas con requerimientos de agua climatizada.
- Beneficios económicos y ambientales superiores a los sistemas convencionales de calentamiento.
- Desarrollo de una propuesta de implementación para la construcción de viviendas energéticamente sostenibles.

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Se describe a continuación el cronograma de las actividades a desarrollarse para el proyecto

Tabla I. Cronograma de actividades

Actividad	Tiempo en semanas													
	2012				2013									
	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.					
Fase Investigativa (materiales)	█	█	█											
Fase de Diseño		█	█	█	█									
Fase de Evaluación				█	█	█	█	█						
Fase de Comparación							█	█	█					
Informe final									█	█	█	█	█	█

Fuente: elaboración propia en el programa Microsoft Excel 2007.

13. RECURSOS NECESARIOS

Los recursos necesarios para el desarrollo del presente diseño se describen a continuación, indicándose la descripción y el monto del mismo.

Tabla II. Recursos a utilizar

RECUROS HUMANOS	DESCIPCIÓN	TOTAL POR 12 MESES
Asesor (mínimo)	Incluidas las horas de asesoría del profesional a cargo, con el costo mínimo propuesto por la Escuela de Postgrado.	Q2,500.00
Estudiante	Horas dispuestas para llevar a cabo las fases de investigación, diseño, evaluación, comparación e informe final.	Q500.00
Imprevistos (5%)	En caso de cubrir cualquier eventualidad.	Q150.00
Subtotal		Q3,150.00
MATERIALES E INSUMOS	DESCIPCIÓN	TOTAL POR 12 MESES
3 Planchas de Asfalto (0,5*0,5*0,1)m	Fabricación de los colectores para la fase experimental y de la cual se obtendrán los datos de operación.	Q12,000.00
18 m de tubería de cobre		Q2,000.00
Equipo de medición	Equipo con el cual se tomarán los datos de temperatura y tiempo de cada colector.	Q500.00
Mano de obra	Por conceptos de fabricación de los colectores.	Q1,000.00
Imprevistos (5%)	En caso de cubrir cualquier eventualidad.	Q775.00
Subtotal		Q16,275.00
TOTAL		Q19,425.00

Fuente: elaboración propia en el programa Microsoft Excel 2007.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Asfalto como colector solar (2011). Obtenido el 6 de febrero de 2012. <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/el-asfalto-como-colector-solar/>
2. Carreteras de asfalto “Paneles solares” (2008). Obtenido el 8 de febrero de 2012. <http://guillermoleon.blogspot.com/2008/08/carreteras-de-asfalto-paneles-solares.html>
3. Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa*. McGraw-Hill/ Interamericana Editores, S.A. de C.V. 3ra Edición. México.
4. Cortés, C.; Cadenas, J.; García, C.; Castro, D.; Pasqual, P.; Vega, A. & Potti, J. (2010). *Pavimentos Asfálticos Sostenibles (PAS)*. Proyecto Fénix. España. Obtenido el 16 de septiembre de 2012. <http://www.proyectofenix.es/File/ViewFile.aspx?FileId=71099>
5. Coyopotl, R. & Salinas, M. (2006). *Ventajas y Desventajas del uso de polímeros en el Asfalto*. Tesis de Ingeniería Civil. Universidad de las Américas Puebla. México
6. Delgado, J. (1992). *Algunos problemas básicos de análisis de Varianza*. Ediciones Universidad de Salamanca. 1ra Edición. España.
7. Formaselect España S.L. (2006). *Artículo de Energía solar*. España. Obtenido el 3 de agosto de 2012. <http://www.formaselect.com/areas-tematicas/energias-renovables/energia-solar.htm>

8. Guatemala Green Building Council (2012). Obtenido el 3 de julio de 2012
<http://www.guatemalagbc.org/2012/03/concurso-de-anteproyectos-de-vivienda-sostenible-en-la-ciudad-de-guatemala/>
9. Instituto Nacional de Ecología, INE (2009) *Calentamiento de Agua*. México. Obtenido el 3 de septiembre de 2012.
<http://vivienda.ine.gob.mx/index.php/energia/los-usos-en-el-hogar/calentamiento-de-agua#calentaalmainpactos>
10. Instituto para Diversificación y Ahorro de la Energía, IDEA (2011). *Guía práctica de la Energía, consumo eficiente y responsable*. España. Obtenido el 11 de enero de 2013.
http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_11046_Guia_Practica_Energia_3_Ed.rev_y_actualizada_A2011_01c2c901.pdf
11. Meteoprog (2012). Obtenido el 23 de noviembre de 2012.
<http://www.meteoprog.es/es/news/24007/>
12. Meza, J. (2008). *Matemáticas financiera Aplicadas*. Ecoe Ediciones. 3ra Edición. Colombia
13. Quadri, N. (2003). *Energía solar: agua caliente, energía fotovoltaica, calefacción, energía eólica, refrigeración, biomasa*. Buenos Aires, Argentina.

14. Siebert, N. & Zacharakis, E. (2010). *Asphalt Solar Collector and Borehole Storage*. Chalmers University of Technology. Göteborg, Suecia. Obtenido el 16 de septiembre de 2012.
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/130115.pdf>
15. Sullivan, C. (2006). *Energy from asphalt pavements*. Reino Unido. Obtenido el 18 de septiembre de 2012.
http://www.claisse.info/supplementary%20papers/sullivan_full_text.pdf
16. Valldoreix Greenpower. *Energía solar térmica*. España. Obtenido el 3 de septiembre de 2012. http://www.valldoreix-gp.com/cas_termica.html

