



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**VIABILIDAD DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA  
CON SEGUIDOR DE TRAYECTORIA SOLAR.**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

MECÁNICA-MECATRÓNICA

P R E S E N T A :

**ALVARO NUÑEZ FLORES**

DIRECTORES:

DR. GABRIEL ASCANIO GASCA  
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO  
TECNOLOGICO

M.I. BENJAMIN VALERA OROZCO  
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO  
TECNOLOGICO

CIUDAD UNIVERSITARIA 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Kussul Ernst Mikhailovich

Secretario: Dr. González González Leopoldo Adrián

Vocal: Dr. Ascanio Gasca Gabriel

1er Suplente: M. I. Valera Orozco Benjamin

2do Suplente: Dr. Espinosa Bautista Adrián

Lugar donde se realizó la tesis:

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET)  
Universidad Nacional Autónoma de México (C.U.)

TUTOR:

DR. GABRIEL ASCANIO GASCA

---

FIRMA

## Agradecimientos

Externo mi sincero agradecimiento al Dr. Gabriel Ascanio quien me brindo desde el primer día su apoyo incondicional, le agradezco su amistad, paciencia, asesoría y dedicación para estar al pendiente de mis actividades.

Muchas gracias Dr Gabriel.

Expreso mi agradecimiento al M.I. Benjamín Valera, con su dedicación y compromiso hace que las cosas funcionen muy bien. Le agradezco que me haya transmitido sus conocimientos y entusiasmo para que las cosas se hagan siempre con tranquilidad y belleza.

Muchas gracias Benjamín.

El desarrollo y buen término de este trabajo fue posible gracias al apoyo de las siguientes instituciones:

- Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (**CCADET**) por ser la entidad encargada de la dirección del proyecto.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACyT**) por el apoyo a través de una beca con número de registro **233544** para realizar estudios de Maestría en la **Facultad de Ingeniería** de la **UNAM**.

## Dedicatoria

A Elizabeth Ortega mi linda esposa por ser la parte más importante de mi vida, bendita tu luz, TE AMO.

A mi hijo Álvaro Antonio por ser la gran bendición de mi existencia.

A mis padres Ernestina y Amador gracias por su apoyo incondicional por interesarse en mis actividades y por ser ejemplos de vida, los quiero muchísimo.

A mis hermanos Rogelio, Adriana y Ricardo, por sus consejos y convivencia.

A mis sobrinos Abel y Mateo su presencia hace los días diferentes.

A Karen, Abel y Nataly por propiciar una convivencia armónica en todo momento.

A mi tía Elena y su familia por ser grandes anfitriones siempre, la estimo mucho.

A mis amigos Jesús Luis, Dulce García y Erick Delgadillo para que sigamos frecuentándonos como hasta ahora.

A mis amigos de Ingeniería de Procesos: Jonathan, Ricardo, Antonio, Eduardo Bernal, David, Enrique, Marisol, Miguel, Flor, Servando y Javier. Por su compañía y consejos en el momento requerido.

A mis amigos del posgrado: Ariana, Hiram y Noé. Por ser excelentes personas a quienes agradezco me brindaran su amistad y compañía.



## INDICE GENERAL



### INDICE

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	v
INTRODUCCION.....	1
Objetivo.....	1
Definición del problema.....	1
Entorno actual.....	1
Descripción del problema a resolver.....	4
Relevancia y justificación.....	4
Alcances y limitaciones.....	5
Método.....	5
Resultados esperados.....	6
ANTECEDENTES.....	8
Geometría Sol-Tierra.....	14
Radiación solar sobre la Tierra.....	15
Radiación solar en México.....	18
Sistemas de captación solar.....	19
Sistemas de calentamiento solares de agua.....	24
Sistemas de seguimiento solar.....	27
METODOLOGIA.....	30
Sistema hidráulico.....	30
Captación.....	30
Circulación.....	33
Acumulación.....	37
Sistema Mecánico.....	40
Estructuras.....	41
Base móvil.....	41
Base fija.....	44
Sistema de transmisión de movimiento.....	46
Sistema electrónico.....	52
Tarjeta electrónica.....	53
Programación y control.....	56
Programa controlador del sistema hidráulico.....	56
Programa seguidor de trayectoria solar.....	59
RESULTADOS.....	64
CONCLUSIONES.....	73



## INDICE GENERAL

TRABAJO A FUTURO .....	74
Bibliografía.....	75
ANEXOS.....	76



## RESUMEN

En el presente trabajo se encuentra documentado el desarrollo de un prototipo funcional de un calentador solar de agua de placa plana con intercambiador de calor y seguidor de trayectoria solar. El prototipo pretende dar un enfoque distinto a los calentadores solares que se comercializan actualmente en nuestro país, añadiéndole un accesorio que es el seguidor solar acimutal, como se trata de un calentador solar activo es necesario instalar una bomba hidráulica para su funcionamiento, buscando que el prototipo sea autónomo de energía eléctrica se integran dos paneles fotovoltaicos que alimenten a la electrónica.

El trabajo está organizado de la siguiente manera:

En la introducción se presenta de manera general el desarrollo del proyecto, el objetivo, la problemática energética mundial, el entorno actual de los calentadores solares, una descripción del problema a resolver, los alcances y justificación, el método empleado para alcanzar el objetivo y se bosquejan los resultados esperados.

En el capítulo 1 se establece un panorama general del uso actual de la energía solar en México y el mundo, así como una descripción de los sistemas de aprovechamiento para la energía solar, se dan a conocer las tecnologías existentes de calentadores solares y de seguidores solares, se presentan datos de radiación global y datos de la radiación solar en México.

En el capítulo 2 se explica detalladamente la metodología utilizada para cada una de las etapas en la cual se subdividió el proyecto. En la parte hidráulica se encuentra concentrado el diseño y fabricación del colector solar plano, termotanque e intercambiador de calor. En la parte mecánica se reporta la conformación de la estructura móvil, la reducción cadena catalina para la transmisión de potencia y el montaje del actuador. En la electrónica se da a conocer la tarjeta que controla a todo el sistema. En la parte de programación se explica el algoritmo de control para la bomba hidráulica y de seguimiento.

En el capítulo 3 se dan a conocer los resultados obtenidos, una discusión de los mismos y trabajos futuros.



## ABSTRACT

In the present work is documented the development of a functional prototype of a solar water heater with flat plate collector, heat exchanger and solar path follower. The prototype aims to take a different approach to solar heaters currently marketed in our country, adding an accessory that is the azimuthal solar tracker system, as it is an active solar water heater is necessary to install a water pump for operated, looking for the prototype power is autonomous of electric energy two photovoltaic panels were integrated to feed the electronics system.

The paper is organized as follows:

The introduction provides an overview of the project, the objective, global energy issues, the current environment of solar heaters, a description of the problem to be solved, the scope and rationale of the method used to achieve the objective and outline the expected results.

Chapter 1 provides an overview of the current use of solar energy in Mexico and the world, and a description of systems for solar energy utilization, disclosed the existing technologies of solar heaters and solar trackers, we present data on global radiation and solar radiation data in Mexico.

Chapter 2 explains in detail the methodology used for each of the stages in which the project was subdivided. In the hydraulic part is concentrated on design and manufacture of flat plate collector, termotank and heat exchanger. In the mechanical part is reported the formation of the mobile structure, reducing chain sprocket for transmitting power and the actuator assembly. In the disclosed electronic board that controls the entire system. In the programming part explains the algorithm control and monitoring.

In Chapter 3 disclosed the results, a discussion of these and future work.



## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1: Esquema general del sistema .....	5
Figura 2: Resultados esperados.....	7
Figura 3: Sistema energético.....	8
Figura 4 Predicción de la producción mundial del petróleo Jean Laherrere (2003).....	10
Figura 5: Cociente de las reservas probadas entre la producción mundial de petróleo .....	11
Figura 6: Reducción de la producción de petróleo en México .....	12
Figura 7: Porcentajes de la contribución de las energías renovables en el país (SENER 2010). .....	13
Figura 8: Movimiento de rotación y traslación de la Tierra.....	14
Figura 9: Trayectoria Solar Anual.....	15
Figura 10: Irradiación solar anual en la superficie terrestre frente a los recursos de energía disponibles en forma de carbón, petróleo, gas natural y uranio, así como comparación a escala mundial de la demanda de energía.....	16
Figura 11: Valores de irradiación anual a escala mundial.....	17
Figura 12: La irradiación solar anual por m2 equivale a un contenido energético de 100 a 230 litros de petróleo. ....	17
Figura 13: Niveles de radiación promedio en México y el Caribe. ....	19
Figura 14: Los sistemas pasivos se utilizan en arquitectura para el acondicionamiento climático de las construcciones.....	20
Figura 15: Los sistemas fototérmicos activos permiten el bombeo de fluidos para el mejor aprovechamiento de la energía solar. ....	20
Figura 16: esquema simplificado de funcionamiento de una celda fotovoltaica. ....	21
Figura 17: Esquema simplificado del funcionamiento de un sistema termoiónico .....	22
Figura 18: Tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar directa.....	23
Figura 19: Colector solar de concentración .....	24
Figura 20: Concentrador parabólico compuesto CPC.....	25
Figura 21: Esquema de funcionamiento de un colector solar termosifónico en una casa habitación.....	26
Figura 22: Detalle de los tubos de vacío del captador solar "Heat pipe". ....	27
Figura 23: Configuraciones comunes de seguidores en dos ejes.....	28
Figura 24: Absorbedor de cobre tipo parrilla.....	31
Figura 25: Aleta de aluminio con anodizado negro mate.....	31
Figura 26: Parrilla con aletas y recubrimiento.....	31
Figura 27: Carcasa de aluminio con lámina galvanizada .....	32
Figura 28: Diseño final del captador solar plano.....	33
Figura 29: Instalación típica de un sistema de circulación forzada. ....	34
Figura 30. Circuito primario y sus componentes. ....	35
Figura 31: Posición de los purgadores. ....	37
Figura 32: Estratificación y aislamiento en el acumulador o termotanque.....	39
Figura 33: Diseño y construcción del termotanque. ....	40
Figura 34: Diseño final del sistema mecánico. ....	41
Figura 35: Base móvil. ....	42
Figura 36: Triangulo para el cálculo en el tubo de inclinación. ....	42
Figura 37: Posición del centro de masa de la estructura móvil. ....	43
Figura 38: Parámetros para garantizar el equilibrio en la estructura móvil. ....	44
Figura 39: Estructura de soporte. ....	45
Figura 40: Base giratoria .....	45
Figura 41: rodamiento de bolas axiales.....	45
Figura 42: rodamiento cónico.....	45



## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

<i>Figura 43: Rodamiento cónico y sus elementos.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 44: Composición de la transmisión catalina-cadena. ....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 45: Análisis de par y de fuerzas en los ejes. ....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 46: Estructura móvil instalada en el techo del CCADET.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 47: Sistema fabricado para la transmisión de movimiento.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 48: Diagrama de bloques de la tarjeta electrónica. ....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 49: Tarjeta electrónica con actuadores. ....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 50: Esquema de control del circuito primario.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 51: Posición vs Hora del día.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 52: Forma de Visual Basic del Sistema ..... </i>	<i>63</i>
<i>Figura 53: Integración de los subsistemas y pruebas del prototipo. ....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 54: Colector solar encapsulado de placa plana con vista al sur ..... </i>	<i>65</i>
<i>Figura 55: Resultados de las pruebas del sistema sin seguimiento. ....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 56: Radiación solar 24 Octubre 2012 ..... </i>	<i>66</i>
<i>Figura 57: Resultados de las pruebas con seguimiento solar.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 58: Radiación Solar 25 Octubre 2012 ..... </i>	<i>68</i>
<i>Figura 59: Comparativo de la Radiación solar.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 60: Comparativo de Temperatura de Salida.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 61: Temperatura ambiente. ....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 62: Resultados del Seguimiento solar.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 63: Termotanque y conexiones.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 64: Tarjeta de control, display, controlador de carga de batería, bomba y PC para la descarga de datos ..... </i>	<i>73</i>
<i>Tabla 1: Clasificación de colectores solares.....</i>	<i>2</i>
<i>Tabla 2: Parámetros de equilibrio para diferentes latitudes.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 3: Propiedades del motor a pasos. ....</i>	<i>49</i>



## INTRODUCCION

### **Objetivo**

Desarrollar un prototipo funcional de un colector solar plano con seguidor de trayectoria solar e intercambiador de calor.

### **Definición del problema**

El sistema energético actual requiere de un cambio fundamental en su estructura ya que los productos que actualmente se comercializan tienen una vida útil muy corta y prácticamente se han vuelto desechables. El costo energético de producción de productos es muy alto y su rendimiento muy bajo, pero como se producen en serie el precio de esos productos se reduce así pues en el momento en que fallan es más cómodo comprar otro que repararlo, con esto se ha generado un grave problema medioambiental.

El precio de los combustibles para producir productos se eleva cada vez más debido a que los hidrocarburos se están escaseando, y como son clasificados como energías no renovables una vez que son utilizadas regresan a la naturaleza como productos de desecho, gases de efecto invernadero que cambian la composición química de la atmósfera y calor.

El uso generalizado de hidrocarburos ha provocado en gran medida el calentamiento global de la Tierra lo que está produciendo desequilibrios naturales importantes como los deshielos de los polos terrestres, aumento en el nivel del mar, escases de lluvias en ciertas partes de la Tierra y en otras grandes inundaciones.

La inversión en el desarrollo de tecnologías que utilicen las energías renovables debe de ser de gran relevancia para los Gobiernos, Universidades e Institutos de Investigación.

El presente trabajo tiene la finalidad de contribuir al desarrollo de tecnologías que utilicen las energías renovables con el fin de disminuir la utilización de combustibles fósiles.

### **Entorno actual**

En México cada año decrece la producción nacional del petróleo y con ello el precio de los combustibles derivados de este se encuentran a la alza, esta situación es un indicativo de buscar alternativas en las fuentes renovables de energía, por ejemplo: solar, viento, geotermia, eólica, etc. El uso de la energía solar se está volviendo cada vez más popular para aplicaciones en la industria y los hogares, en ese sentido los seguidores solares representan una opción atractiva para explorar debido a las condiciones climáticas de nuestro país.

Los colectores ó captadores solares son una clase especial de intercambiadores de calor que transforman la radiación solar en energía térmica que es cedida a un medio de transporte. El principal componente de cualquier sistema solar es el colector. Este componente absorbe la radiación solar la convierte en energía térmica y la transfiere a un fluido de trabajo que se



## INTRODUCCION

encuentra dentro del colector usualmente este fluido es aire, agua ó aceite. La energía solar captada es transportada directamente para su uso final o a un tanque aislado donde es almacenada para ser usada durante la noche ó días nublados.

En el trabajo publicado por (Kalogirou, Solar Thermal Collector and Applications, 2004) se clasifica a los colectores principalmente por su cinemática de movimiento, tipo de colector, tipo de absorbedor, si son concentradores solares y por el rango de temperaturas que logran alcanzar.

Tabla 1: Clasificación de colectores solares

Movimiento	Tipo de colector	Tipo de absorbedor	Rango de temperatura (°C)
Estacionario	Colector solar de placa plana (FPC).	Plano	30-80
	Colector de tubos evacuados (ETC).	Plano	50-200
	Colector parabólico compuesto (CPC)	Tubo	60-240
Seguidor solar de un eje	Reflector lineal del Fresnel (LFR).	Tubo	60-300
	Colector cilindro parabólico (PTC).	Tubo	60-250
	Colector cilíndrico (CTC).	Tubo	60-300
Seguidor solar de dos ejes.	Reflector parabólico (PDR).	Punto	100-500
	Colector de campo de heliostatos (HFC).	Punto	150-2000

Un referente obligado en el estudio de los colectores solares es sin duda el trabajo aportado por (Duffie & Beckman, 1991) en su obra estudian la cinemática del sol y un exhaustivo tratamiento termodinámico y de transferencia de calor de los colectores solares planos y concentradores solares.



## INTRODUCCION

Diversos trabajos han surgido por la necesidad de mantener a los colectores solares siempre perpendiculares a los rayos del sol de tal manera que sea posible captar la mayor cantidad de radiación que emite este astro a la tierra.

El investigador (Kalogirou, Design and construction of a one-axis sun tracking, 1996) diseñó y fabricó un seguidor solar de un solo eje, la posición del sol fue determinada por tres resistencias que dependen de la luz (LDRs), una resistencia determinaba si el colector está completamente enfocado al sol, la segunda si existía nubosidad y la tercera si es de día o de noche, las tres señales alimentan al sistema de control que operaba un motor de corriente directa a 12V acoplado a reductor de velocidad, finalmente en su trabajo reporta un precisión de seguimiento de  $0.5^\circ$  y puede tener aplicación en un colector parabólico.

La implementación de algoritmos de control para el seguimiento solar es presentado por (Zhao, Li, Ma, & Zhang, 2012), su labor consistió en el diseño e implementación de un algoritmo de control Proporcional, Integral y Derivativo (PID) para un nuevo tipo de calentador solar de agua, el control cambia la orientación del colector en tiempo real para seguir automáticamente la dirección donde la luz es más fuerte, con la finalidad de sensar el ángulo de incidencia de el sol. Sus pruebas muestran que su sistema tiene éxito en mantener un seguimiento en tiempo real de la fuente de luz.

Un algoritmo de control de modo deslizante es presentado por (Rhif, 2011) en el cual modela un seguidor solar en dos ejes para controlar dos motores utilizando un microcontrolador con el propósito de hacer un seguimiento solar haciendo uso de los datos de localización del Sol.

El trabajo de (Prakash, Garg, & Hrishikesan, 1988) consistió en la elaboración de un modelo matemático para predecir el comportamiento de un calentador solar de agua bajo diferentes patrones de flujo dentro del colector como flujo continuo, flujo intermitente, retiro instantáneo, temperatura mínima de retiro de flujo. Todo bajo tres tipos de orientación, superficie fija, seguidor en un solo eje y seguidor en dos ejes. Los resultados de su estudio arrojaron que el rendimiento del sistema es mejor en un solo eje comparado con la superficie fija, pero la mejora del rendimiento entre un solo eje y dos ejes es mínimo.

En una conferencia se dio a conocer el trabajo de (Ali & Ibrahim, 2004) en el cual presentan la simplificación de un seguidor solar para aplicaciones en la vivienda. El seguidor está compuesto por un motor de 50W que tiene acoplado un decodificador para conocer su posición, el motor cuenta con un freno que en paro produce un torque superior a los 500 N-m, el sistema cuenta con un circuito electrónico de control, y es probado con un concentrador solar para el calentamiento de agua residencial, concluyen que los máximos beneficios de su sistema los obtendrán con la incorporación de paneles fotovoltaicos generando un sistema híbrido.

En el país de la India están trabajando con colectores solares de placa plana con seguidores solares, el desarrollo de (Rhushi Prasad, Byregowda, & Gangavati, 2010) está basado en la instrumentación de un colector solar de placa plana comercial que fue probado experimentalmente de manera estática y con seguidor, el resumen de este trabajo no



## INTRODUCCION

especifica si es un sistema termosifonico o activo pero su tanque tiene un capacidad de 100 litros. El sistema fue probado por una semana tanto fijo como móvil con condiciones atmosféricas similares en las pruebas, el resultado de su trabajo fue el incremento en la temperatura del tanque de 4°C y un aumento en la eficiencia de 20%.

La publicación de (Prasad, Gangavati, & Byregowda, 2011) trata el desarrollo de un seguidor solar en un eje utilizando un microcontrolador con reloj en tiempo real digital (RTC) para encontrar el rendimiento de un colector de placa plana y comparar el (FPC) con seguidor y sin seguidor en su localidad. Un detallado análisis térmico del FPC fue elaborado para predecir el comportamiento del sistema sin seguidor y con seguidor solar, el sistema con el que se trabajo es un sistema termosifonico para aplicaciones domesticas. El análisis se basa en la teoría de los colectores solares de placa plana, la absorción de la radiación, perdidas de calor del colector, la temperatura distribuida en el colector así como en modelos y consideraciones de transferencia de calor. Después de las pruebas con los datos del prototipo se realizo una comparación de resultados que resultaron satisfactorios. El resultado de este estudio fue el incremento de la eficiencia en 30% entre el sistema fijo y el sistema con seguimiento, el resultado se muestra con el promedio de dos meses de pruebas.

### **Descripción del problema a resolver**

El presente trabajo tiene la finalidad de contar con un prototipo funcional de calentador solar de agua encapsulado de placa plana con intercambiador de calor y con un sistema de seguimiento solar en un solo eje, el sistema debe tener la particularidad de que sea autónomo energéticamente ya que contara con paneles fotovoltaicos para el suministro de la energía utilizada para el funcionamiento del sistema.

Los retos a resolver son diversos:

- \*Fabricación del colector solar plano.
- \*Fabricación del termotanque con el intercambiador de calor.
- \*Diseño de la estructura móvil.
- \*Diseño de la transmisión para la estructura móvil.
- \*Instrumentación del sistema.
- \*Elaboración de la tarjeta electrónica para el control y adquisición de señales.
- \*Elaboración de los programas de control.

### **Relevancia y justificación**

La inversión en el desarrollo tecnológico de equipo que utilice energías renovables es de fundamental importancia ya que hoy en día representan una opción viable para reducir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera.

La necesidad de captar la mayor cantidad posible de la energía incidente en un determinado lugar, debe de ser, una exigencia común a todos los sistemas de aprovechamiento de la energía solar.

## INTRODUCCION

El presente proyecto propone un seguimiento solar en un colector solar de placa plana, lo cual permitirá estudiar estos sistemas con la variante del seguidor.

Es de sobresaltar que se busca un sistema autónomo energéticamente a pesar de ser un sistema activo.

### Alcances y limitaciones

El presente trabajo tiene la finalidad de documentar el proceso de diseño, fabricación y puesta en marcha del sistema por lo tanto no se pondrá a prueba ningún procedimiento para evaluar el comportamiento térmico del colector solar, pero si se presentarán los resultados de las temperaturas alcanzadas en el termotanque.

Este primer prototipo tiene como limitante seguir la trayectoria solar a lo largo del día (acimutal) y no ofrecerá corrección automatizada del periodo estacional del sol (altura).

### Método

Se propone diseñar y construir un prototipo electromecánico de calentador solar de acuerdo al esquema mostrado en la Figura 1.

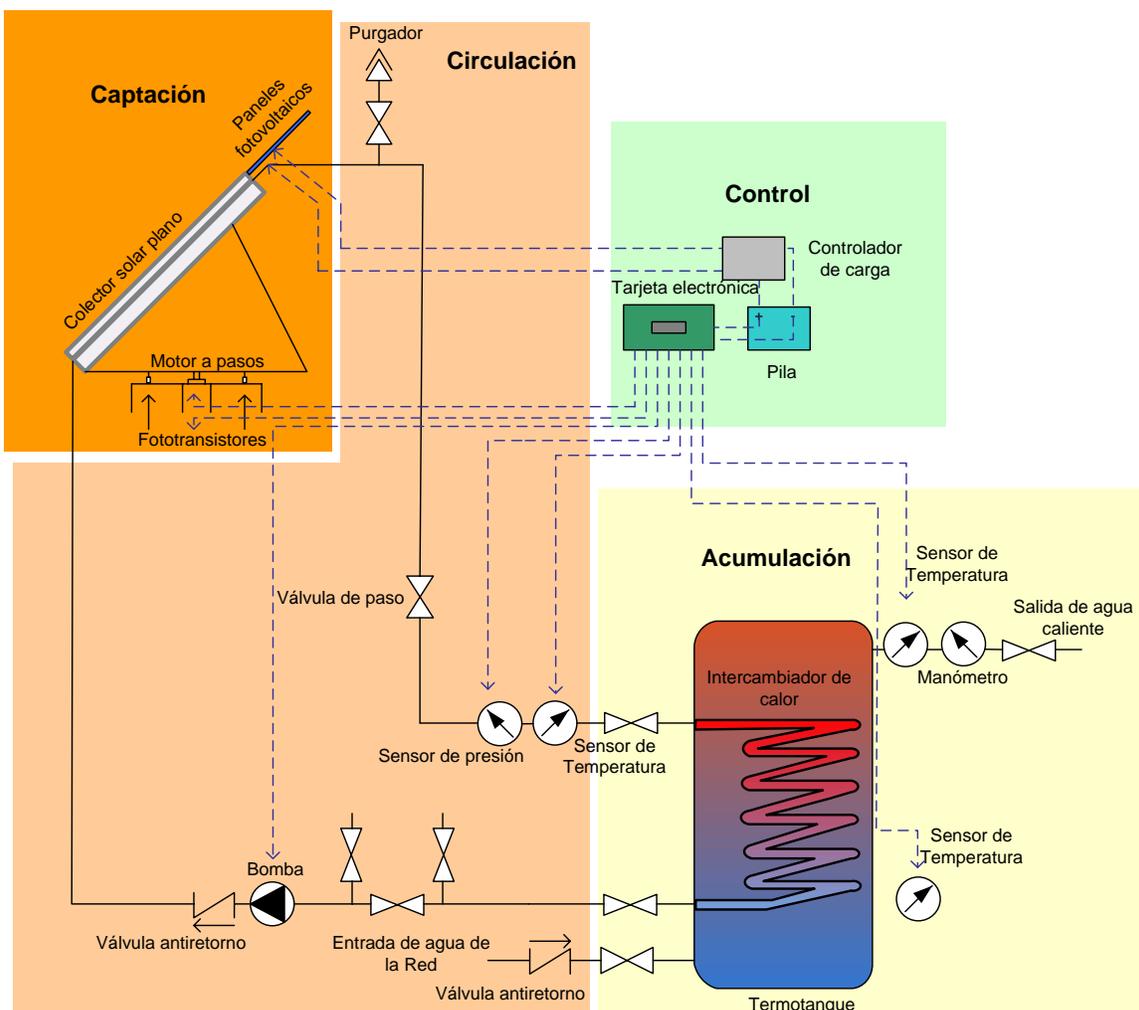


Figura 1: Esquema general del sistema



En la Figura 1 se muestran las siguientes etapas 4 etapas:

**Acumulación:** Consiste de un tanque en donde se deposita y se dispone del agua para consumo. El agua es calentada mediante un intercambiador de calor en donde el fluido de trabajo, previamente calentado, es recirculado como parte de las siguientes etapas.

**Circulación:** La etapa está formada por un circuito hidráulico que permite la circulación del fluido de trabajo desde la etapa de captación hasta la etapa de acumulación. El circuito incluye sensores de temperatura que permiten el control de la bomba y con esto alimentar eficientemente al intercambiador de calor. El circuito hidráulico contempla diversas válvulas de operación manual para su funcionamiento y mantenimiento.

**Captación:** Consiste de una estructura metálica que contiene una malla de tubería de cobre por donde circula el fluido de trabajo. La tubería de cobre se calienta conforme al principio de “el efecto invernadero” en donde la energía solar incide sobre las placas metálicas que conforman el arreglo. La estructura completa es orientada manualmente de acuerdo a la latitud del lugar. Con el objeto de maximizar la captación de energía solar, la estructura cuenta con un sistema de seguimiento en acimut durante el periodo de insolación diario. Esta etapa cuenta con dos paneles fotovoltaicos incluidos en la estructura, su función es la de recargar una batería para energizar al sistema.

**Control:** El sistema electrónico de control se desarrolla con base en un microcontrolador y reloj con operación en tiempo real que permiten la generación óptima de las diversas trayectorias del sol sobre la ubicación de la montura del sistema de seguimiento en acimut. En este sentido, el microcontrolador gobierna un motor que permite ajustar la posición del captador. El sistema electrónico registra las temperaturas y la presión en la etapa de circulación para activar o desactivar la bomba.

### Resultados esperados

Con el fin de dar claridad a los alcances que debe tener el proyecto nos dimos a la tarea de proponer una prueba final con la cual queda cubierto en su totalidad el objetivo que es el de tener un prototipo funcional.

La prueba se realiza al registrar la temperatura del agua en la salida del termotanque la cual es para consumo humano, para cada prueba se considera una descarga equivalente a tres duchas por la mañana. Las pruebas se realizan para un día soleado con y sin sistema de seguimiento, esperando observar el comportamiento de la curva siguiente.



## INTRODUCCION

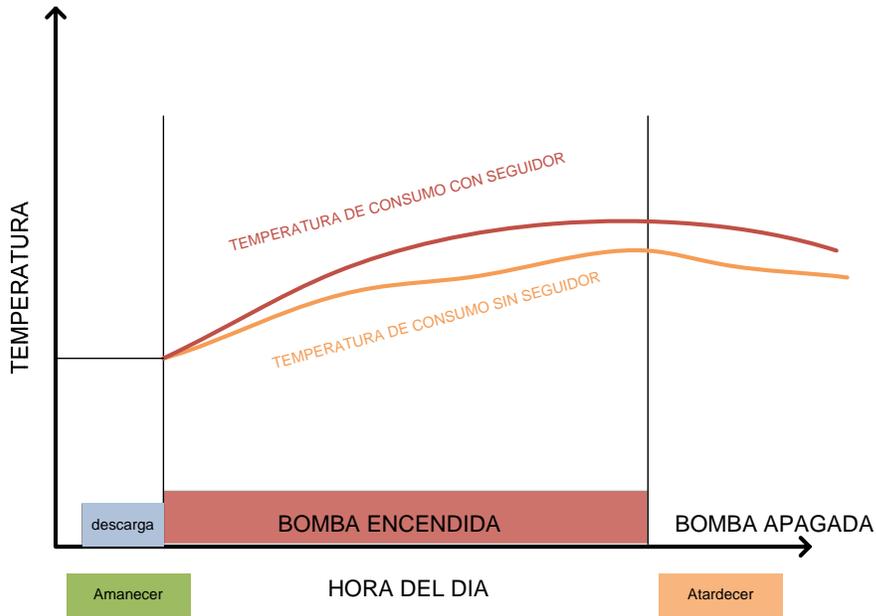


Figura 2: Resultados esperados.

## ANTECEDENTES

El sistema energético está inmerso en la naturaleza, en ella empieza y en ella termina.

El “el camino” de la energía empieza en la naturaleza, en la Tierra, en el Sol y en la interacción entre ellos, aquí es donde se encuentran las fuentes primarias de energía, las renovables y las no renovables (Figura 3).

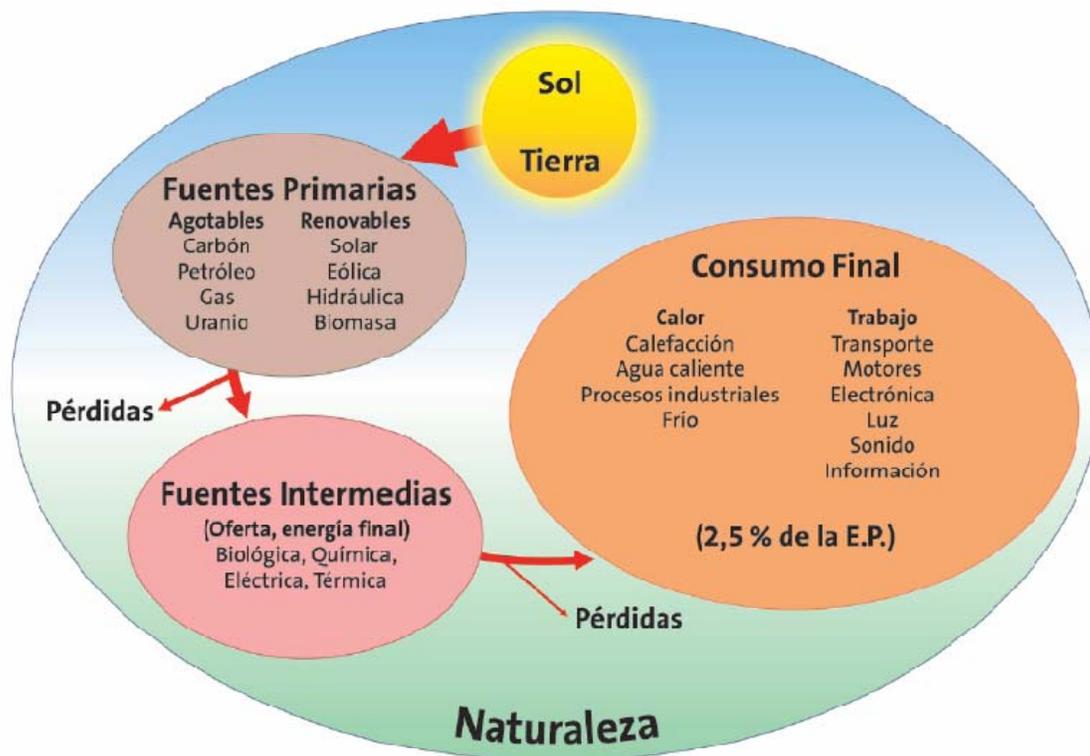


Figura 3: Sistema energético

Las fuentes primarias de energía no renovables son aquellas de las cuales existe una cantidad limitada se conozca o no esa cantidad, y las fuentes renovables son las que están a nuestra disposición siempre con periodos de tiempo fijos o variables.

Las fuentes primarias no renovables que se encuentran almacenadas en la Tierra son difícilmente evaluables y, consecuentemente, existe gran disparidad en las cifras de reservas que se dan, sobre todo cuando se toman en cuenta criterios económicos.

El sistema energético implica la transformación de estas fuentes primarias de energía en otras que se pueden llamar fuentes intermedias de energía algunos expertos les llaman energía final. En realidad se trata de los productos intermedios del sistema, combustibles y



## ANTECEDENTES

electricidad principalmente, que se emplean para conseguir lo que necesitamos y que es posible llamarlos consumo final:

- Movimiento de automóviles y maquinaria en general.
- Agua caliente.
- Calefacción y aire acondicionado.
- Calor para cocinar.
- Frio para conservar los alimentos
- Luz artificial.
- Sonido.
- Etc, etc.

El rendimiento global de todo este sistema es muy bajo del orden del 2.5% según la información aportada por Ayres (Congreso Mundial de la Energía), esto significa que el 97.5% de las energías primarias que se usan para el consumo humano no es empleado para satisfacer sus necesidades y se tira a la naturaleza.

Uno de los resultados del sistema energético mundial es la producción de gases en las combustiones de sustancias químicas (carbón, petróleo, gas natural), que son las materias primas de entrada más significativas del sistema energético actual.

Estos combustibles fósiles producidos por seres vivos por cientos de millones de años, están siendo consumidos en un intervalo de tiempo muy pequeño (unos pocos cientos de años). El transporte de las materias primas a los lugares donde serán tratados, la movilidad de los productos intermedios así como su transformación en productos finales supone gran cantidad de pérdidas de energía e introduciendo a la atmósfera grandes cantidades de gases, cambiando con ello su composición química.

De acuerdo con la información de la *Energy Information Administration* (AIE), el sector energético contribuye con aproximadamente el 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el mundo. En su mayoría, estas emisiones se derivan de la combustión al liberarse el CO<sub>2</sub> como resultado de la oxidación de carbono en los combustibles, aunque también se dan emisiones fugitivas producidas por liberación de gases como el metano (CH<sub>4</sub>).

Es inminente que el efecto térmico que estos cambios ocasionan está dando lugar a numerosas manifestaciones del cambio en el clima del planeta Tierra.

No se debe esperar a tener pruebas concluyentes sobre la responsabilidad de la contaminación del aire en el cambio climático. Si se espera a verificar dicha responsabilidad cuando se quiera revertir los daños tal vez sea demasiado tarde.

Por otro lado gran la dependencia que se tiene actualmente del petróleo hace posible comprender la preocupación de todo el mundo por su eventual escasez.



### ANTECEDENTES

Se espera que durante el presente siglo, el consumo del petróleo deje de ser una opción rentable para la generación de energía, es decir, que conforme las reservas probadas del petróleo disminuyan, el precio del petróleo se incrementará gradualmente. Diversos analistas como Jean Laherrere Figura 4 esperan que la producción mundial del petróleo alcance su máximo en 2010 para después comenzar a disminuir conforme se vayan agotando los principales yacimientos del mundo.

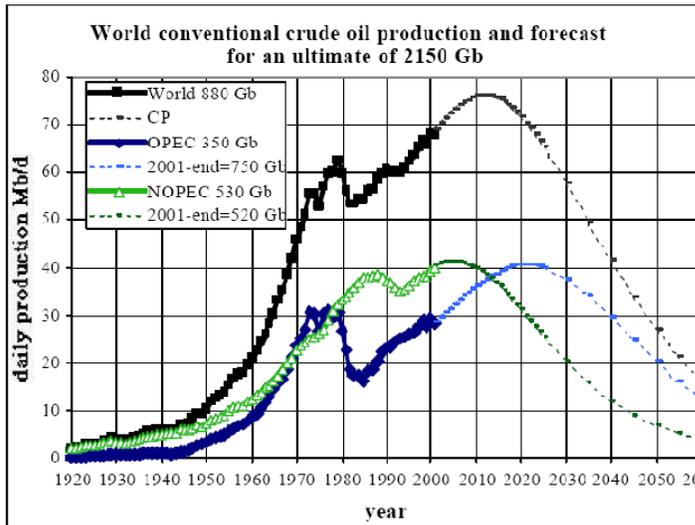


Figura 4 Predicción de la producción mundial del petróleo Jean Laherrere (2003).

Una manera de comprender las reservas actuales de petróleo en términos del tiempo que va a durar, es a través del cociente: volumen de reservas sobre producción anual (R/P), el resultado representa el número de años que duraría el petróleo de mantenerse la producción constante hasta agotarse. Este cociente aplicado a las reservas probadas de petróleo a nivel mundial, indica que el petróleo se agotaría aproximadamente en el 2030 ver Figura 5 Jean Laherrere 2003. Para nuestro país la situación es aún más desalentadora pues las reservas mexicanas solo representan una pequeña fracción del volumen mundial.

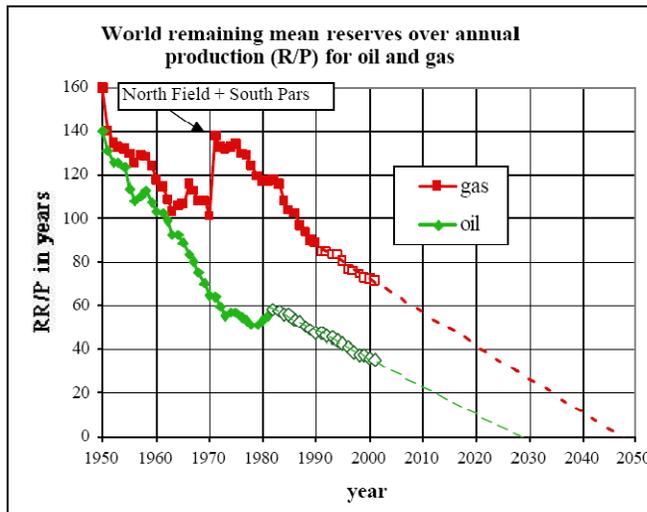


Figura 5: Cociente de las reservas probadas entre la producción mundial de petróleo

El resultado del cociente R/P, aunque es indicativo de la situación no representa una proyección realista de la duración del petróleo. El cálculo no considera las reservas probables que suponen la existencia de nuevos yacimientos aun no descubiertos. Además se debe considerar que a nivel mundial, la demanda del petróleo tenderá a disminuir conforme los precios del petróleo se incrementen por la creciente demanda de energía y de todos sus productos derivados, esta situación puede contribuir a que el petróleo dure más años de los que podrían esperarse con una simple proyección del cociente R/P.

Según la revista *Oil and Gas Journal* (OGJ), en México hay 10.5 mil millones de barriles de reservas de petróleo (al 1° de enero del 2009). México fue el sexto mayor productor de petróleo en el mundo en el 2006, con una producción de 3.71 millones de barriles por día, de los cuales 3.25 millones de barriles por día fueron de petróleo crudo. En un comunicado en marzo del 2010, Pemex informo que, si continúa la tasa de producción actual, las reservas probadas de petróleo alcanzarían solo 10 años más de producción.

La producción de petróleo mexicano ha comenzado a descender rápidamente desde entonces. La *Energy Information Administration* (EIA) del gobierno de Estados Unidos ha calculado que la producción mexicana de productos derivados del petróleo disminuirá a 3,52 millones de barriles por día en 2007 a 3,32 millones de barriles por día en el 2008. La producción de petróleo crudo de México cayó en 2007, y se situó por debajo de 3,0 millones de barriles por día para el inicio de 2008. A mediados de 2008, Pemex dijo que trataría de mantener la producción de petróleo crudo por encima de 2,8 millones de barriles por día para el resto de ese año. Las autoridades mexicanas esperan que continúe la disminución en el futuro, pero son pesimistas en que podría llegar de nuevo a los niveles anteriores, incluso con la inversión extranjera.

La mayor parte del decline en la producción de México viene de un descenso del enorme campo petrolero en el Golfo de México. De 1979 a 2007, México produjo la mayor parte



## ANTECEDENTES

del petróleo del campo Cantarell, que solía ser el segundo campo petrolero más grande del mundo en producción.

Debido a la caída de la producción, en 1997 Pemex inició un proyecto masivo de inyección de nitrógeno para mantener el flujo de petróleo, que en la actualidad consume la mitad del nitrógeno que se produce en el mundo. Como resultado de la inyección de nitrógeno, la producción en Cantarell, pasó de 1,1 millones de barriles por día en 1996 a un máximo de 2,1 millones de barriles por día en 2004. Sin embargo, durante 2006 la producción de Cantarell cayó un 25% de 2,0 millones de barriles por día en enero a 1,5 millones de barriles por día en diciembre, con la continua disminución a través de 2007.

A mediados de 2008, Pemex anunció que tratara de terminar el año con una producción en Cantarell de al menos 1,0 millones de barriles por día. Sin embargo, en enero de 2008, Pemex dijo que la tasa de producción de petróleo en Cantarell se había reducido a 811.000 barriles por día en diciembre de 2008, una disminución del 36% un año antes. Ello se tradujo en una disminución total de la producción mexicana de petróleo en un 9.2% de 3.1 millones de barriles por día en 2007 a 2.8 millones de barriles por día en 2008, la tasa más baja de producción de petróleo desde 1995.

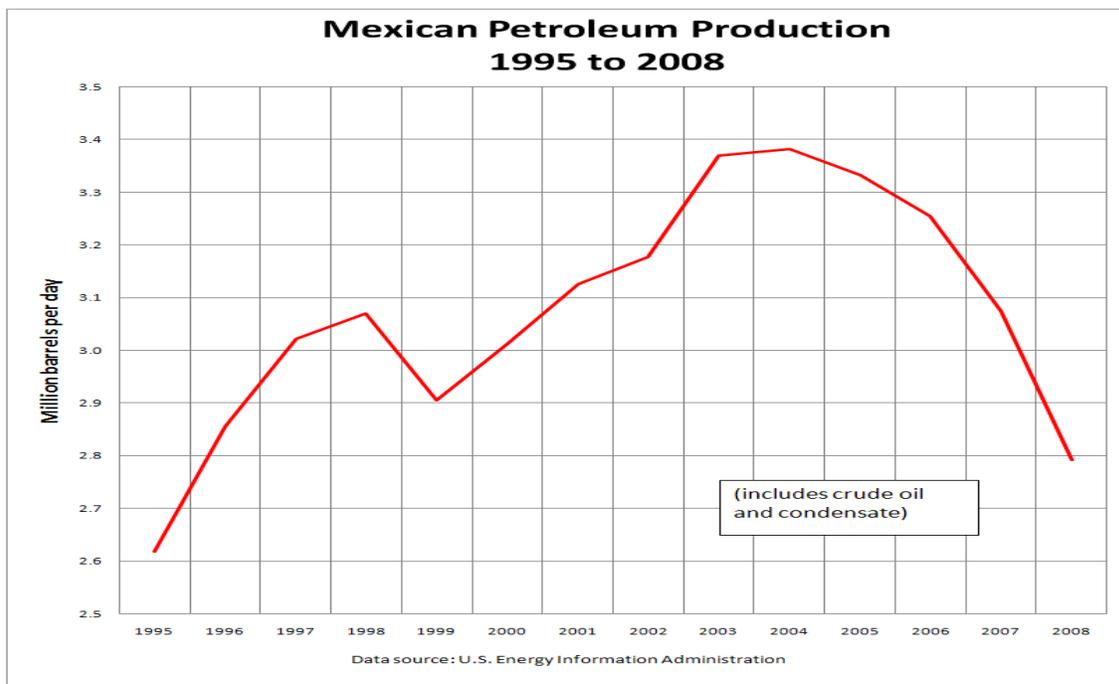


Figura 6: Reducción de la producción de petróleo en México

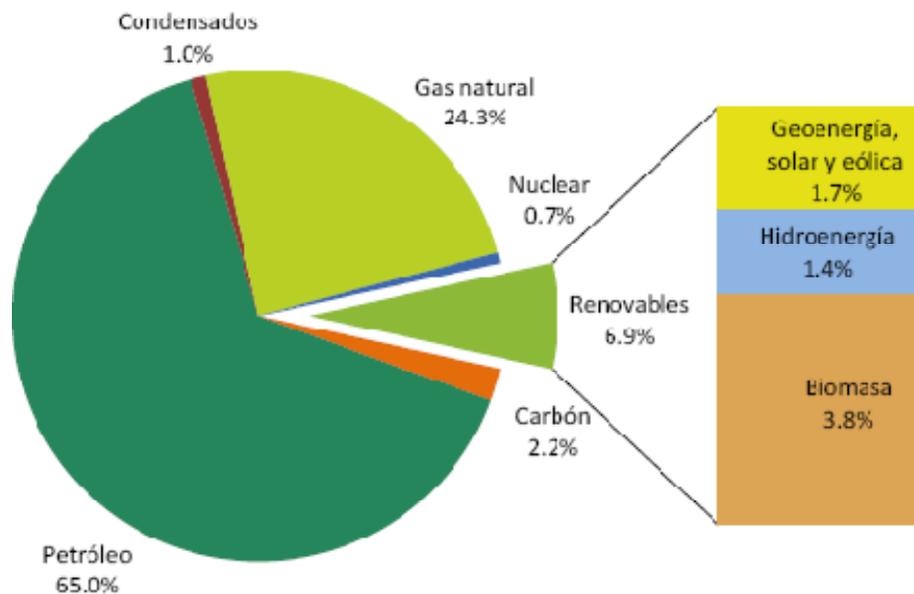
En junio de 2007, el ex presidente de la Reserva Federal de los Estados Unidos Alan Greenspan, advirtió que la disminución en la producción de petróleo en México podría causar una importante crisis fiscal, y que México necesita aumentar la inversión en el sector de la energía para evitarlo.



### ANTECEDENTES

En febrero de 2009, De Goyler & McNaughton, Netherland & Sewell y Ryder Scott certificaron que el complejo de Chicontepec contiene reservas comparables a la mitad de las reservas en Arabia Saudita, lo que pondría a México en el tercer lugar de los países con más reservas de petróleo después de Arabia Saudita y Canadá. Sin embargo, México carece de la tecnología para explotar esas reservas e inclusive las compañías extranjeras carecen de dichas tecnologías.

El petróleo representa nuestra principal fuente de energía, a partir del petróleo y otros hidrocarburos se genera aproximadamente el 88% de la energía total que se consume en nuestro país (INEGI, 2006). Los esfuerzos por revertir esta situación han sido en términos prácticos nada exitosos. Si bien es cierto que se están utilizando fuentes alternativas de energía, como son la hidroenergía, geoenergía, nucleenergía, energía eólica y energía solar, su aprovechamiento en general ha sido menor al 8% de la producción nacional. Este porcentaje se ha mantenido sin cambio durante la última década por lo que dichas fuentes no han logrado disminuir la presente dependencia del petróleo.



Fuente: Sistema de Información Energética, con cálculos propios.

Figura 7: Porcentajes de la contribución de las energías renovables en el país (SENER 2010).

Entre algunos intentos por reducir la contaminación por quema de combustibles se dio en 1992 una convención en naciones unidas sobre el cambio climático. En ella todos los países se comprometieron a reducir la contaminación. Algunos países desarrollados establecieron obligaciones para reducir sus emisiones contaminantes en el protocolo de Kyoto de 1997. Una de las opciones que se dan los países industrializados para revertir el daño de la contaminación es mediante el financiamiento de proyectos de reducción de emisiones o de

## ANTECEDENTES

“secuestro de carbono” en países en desarrollo, mediante la creación de los controvertidos “bonos verdes” o créditos de carbono. Estos bonos verdes son como subsidios o créditos que se otorgan a las empresas que implican reducir sus emisiones o usar energías alternas o bien financiar la creación de regiones forestales que funcionen a nivel planetario como sumideros de CO<sub>2</sub>. Sin embargo la viabilidad de los bonos verdes ha generado grandes polémicas y el protocolo de Kyoto nunca ha entrado en vigor.

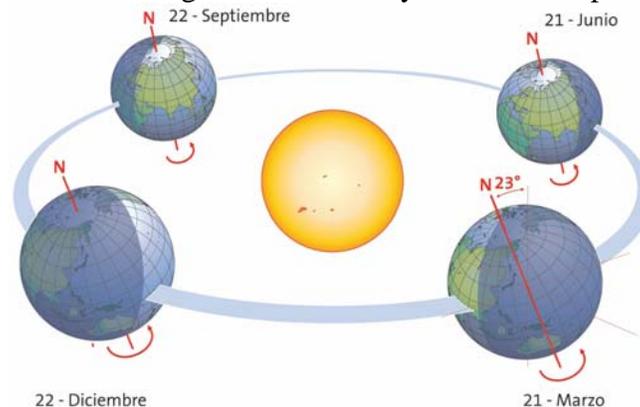
Para finalizar esta parte es preciso mencionar que el sistema energético actual necesita una transformación de fondo ya que se están suscitando crisis económicas por la escasez de los hidrocarburos y su alza de precios.

Es necesario inculcar en las futuras generaciones poblacionales el uso y desarrollo de tecnologías que permitan la utilización de las energías renovables.

## Geometría Sol-Tierra

El movimiento relativo de la tierra respecto del Sol y respecto a sí misma justifica las posiciones del sol respecto de un determinado observador en un lugar de la Tierra en la que se quiera hacer aprovechamiento de la energía solar. Los movimientos principales son:

- Traslación alrededor del sol. Es bien conocido que la Tierra gira alrededor del Sol con una velocidad aerolar constante (2da ley de Kepler) por lo que la velocidad lineal no es con lo que se da lugar a que la duración del día (tiempo en que el Sol se ve en el mismo lugar en el horizonte dos veces consecutivas) no es la misma a lo largo del año. El periodo de este movimiento es de un año.
- Rotación alrededor de su eje. El periodo de este movimiento es de aproximadamente un día. Lo más significativo a los efectos que aquí nos interesan es que el eje de rotación forma un ángulo de  $23^{\circ} 27'$  respecto del plano de traslación. Esta circunstancia es la que da lugar a que el día y noche tengan duración diferente en los diversos lugares de la tierra y en distintas épocas del año.



**Figura 8: Movimiento de rotación y traslación de la Tierra.**

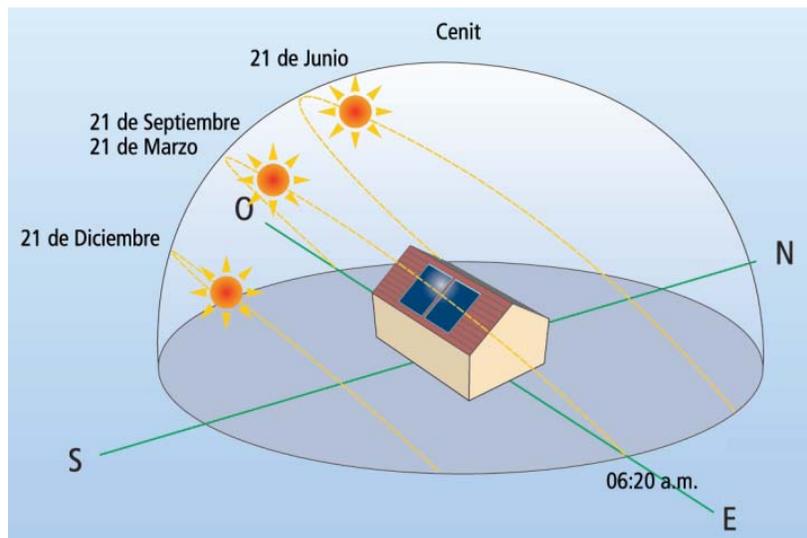
Como consecuencia de los movimientos relativos de la Tierra y el Sol, en un determinado lugar de la Tierra, el sol aparece el horizonte (amanecer) según se indica en la Figura 9, va subiendo la bóveda celeste hasta llegar a su altura máxima, para después ir bajando hasta

## ANTECEDENTES

llegar de nuevo al horizonte (ocaso). Esto ocurre todos los días del año con trayectorias diferentes entre el día de solsticio de invierno (21 de Diciembre) y el de verano (21 de Junio) pasando por los equinoccios de primavera (21 de Marzo) y otoño (21 de Septiembre). Entre esas dos trayectorias extremas se encuentra el Sol todos los días del año.

La altura máxima del sol se calcula con bastante facilidad:

- Equinoccios:  $90^\circ - \text{latitud}$ .
- Solsticios:  $(90^\circ - \text{latitud}) \pm 23^\circ 27'$
- Otros días:  $(90^\circ - \text{latitud}) \pm \text{declinación solar}$



**Figura 9: Trayectoria Solar Anual**

## Radiación solar sobre la Tierra

En el interior del Sol, los núcleos atómicos de hidrógeno se fusionan bajo una presión enorme, dando lugar a núcleos atómicos de helio. Durante este proceso, parte de la masa atómica se transforma en energía térmica, en consecuencia, provoca temperaturas en millones de grados en el interior del astro. La temperatura de la superficie del Sol es de aproximadamente  $6000^\circ\text{C}$ .

De esta manera, el Sol funciona como un reactor de fusión, que actúa de manera continua y segura desde hace 5000 millones de años y que, según las estimaciones de los astrónomos, seguirá suministrando energía otros tantos.

La potencia radiante del Sol en el límite exterior de la atmósfera terrestre, a una distancia de unos 150 millones de kilómetros, corresponde a aproximadamente  $1360 \text{ W/m}^2$ . Este valor se denomina constante solar.

La irradiancia solar extraterrestre se reduce al pasar por la atmósfera terrestre, de modo que al llegar a la superficie de la Tierra alcanza un valor máximo de unos  $1000 \text{ W/m}^2$ .

### ANTECEDENTES

Evidentemente, las nubes reducen incluso más la irradiancia. La irradiancia total que incide sobre una superficie de la Tierra se denomina irradiancia global y se compone tanto de irradiancia difusa como de irradiancia directa. Ambas componentes de la radiación solar se pueden aprovechar con la tecnología solar.

La energía solar que incide anualmente sobre toda la superficie terrestre ofrece un potencial inmenso, pues supone unas diez mil veces la demanda de la energía anual de la población mundial. Los recursos solares representan un valor considerablemente superior a todas las reservas de energía nuclear y fósil disponibles en la Tierra.

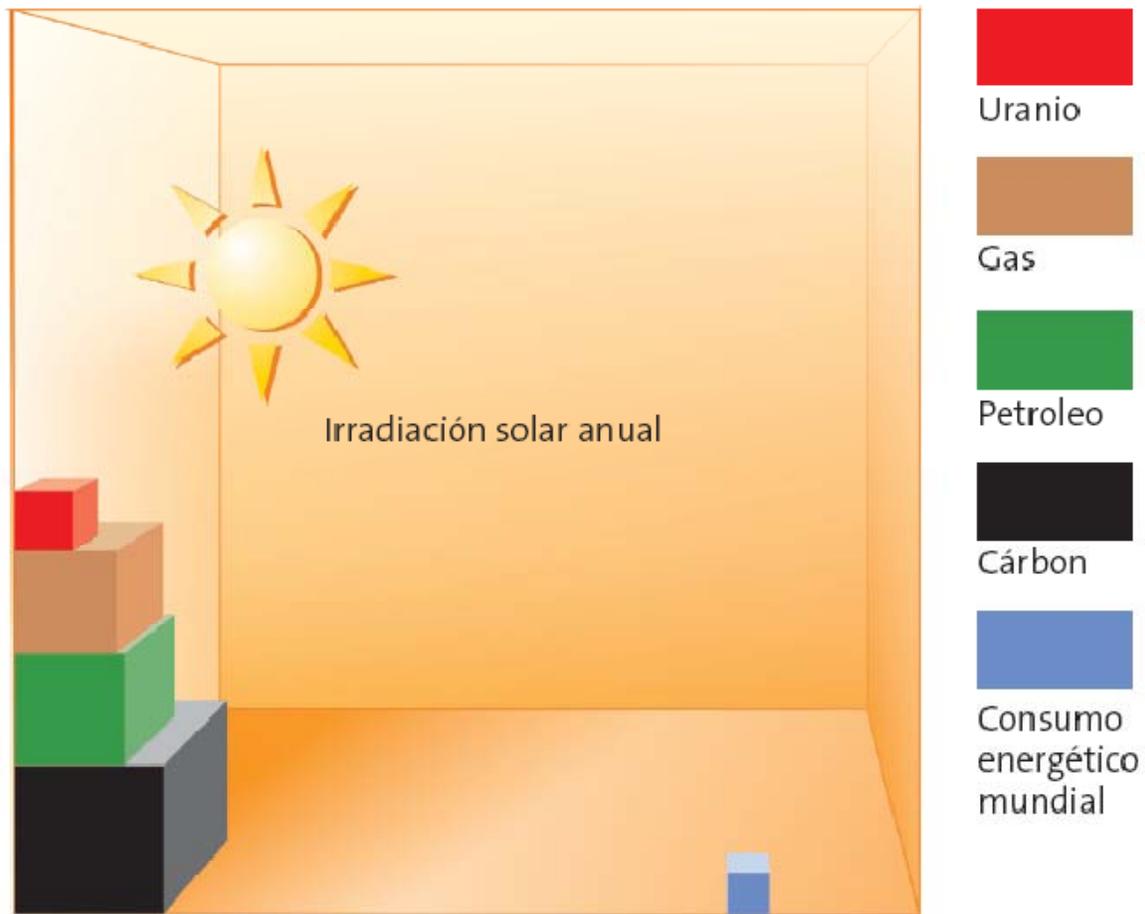


Figura 10: Irradiación solar anual en la superficie terrestre frente a los recursos de energía disponibles en forma de carbón, petróleo, gas natural y uranio, así como comparación a escala mundial de la demanda de energía.

Los recursos de energía solar disponibles en la Tierra se distribuyen desigualmente y están sujetos a variaciones estacionales. En las regiones desérticas cerca de los trópicos, la irradiación anual puede alcanzar un valor total de 2300 kWh/(m<sup>2</sup> año), equivalente al doble de la irradiación solar media típica de Europa Central, que es de unos 1100kWh/(m<sup>2</sup> año).

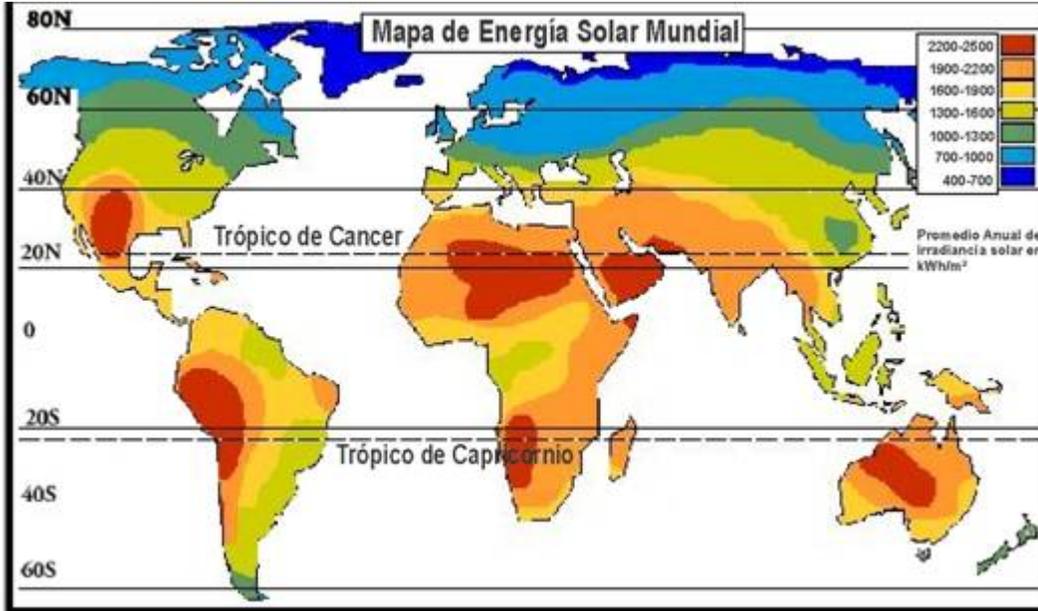


Figura 11: Valores de irradiación anual a escala mundial

El valor absoluto y la distribución de la irradiación en el transcurso de un año dependen considerablemente de la latitud. En regiones cerca del ecuador, la irradiación media mensual se distribuye de modo relativamente uniforme a lo largo del año, pero en latitudes superiores es claramente mayor durante el verano y menor en el invierno. Sin embargo, tanto el clima como la inclinación y orientación de la superficie de captación afectan en gran medida lo antes mencionado.

El suministro de la energía anual media proporcionado por el Sol sobre cada metro cuadrado equivale al contenido energético de 100 litros de petróleo en las latitudes medias y hasta 230 litros de petróleo en las zonas desérticas (Peuser, Remmers, & Schnauss, 2005).

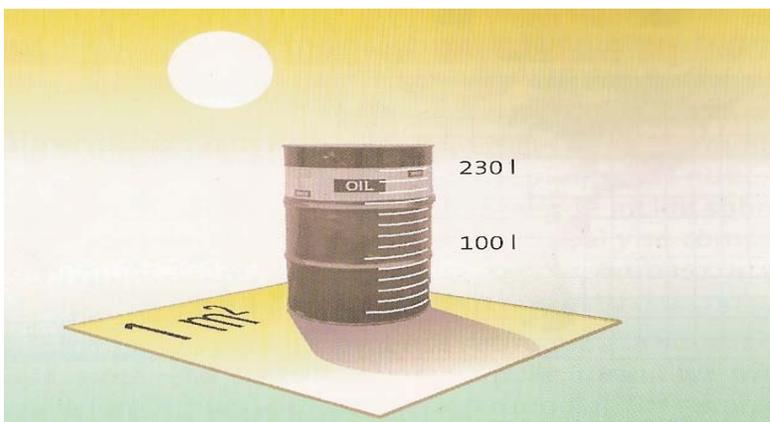


Figura 12: La irradiación solar anual por m<sup>2</sup> equivale a un contenido energético de 100 a 230 litros de petróleo.

Los sistemas solares térmicos actuales pueden aprovechar un porcentaje comprendido entre 30% y el 60% de la irradiación solar incidente sobre el captador.



## Radiación solar en México

Este recurso energético ha sido escasamente explotado en nuestro país, el cual se considera limpio y abundante en la mayor parte del territorio. Las posibles aplicaciones de la energía solar incluyen el calentamiento de agua, secado de granos, cocción de alimentos, refrigeración, aire acondicionado, calefacción, bombeo de agua y generación de energía eléctrica entre otras.

Nuestro país tiene un enorme potencial para el aprovechamiento de la energía solar, el territorio nacional está ubicado en una región geográfica privilegiada en el hemisferio norte entre las latitudes 14° 32' y 32° 43' que incluyen a la línea del trópico de cáncer, con una superficie de casi cada dos millones de kilómetros cuadrados, un poco más de dos terceras partes del territorio del país puede considerarse con clima desértico o semidesértico.

La radiación solar promedio en estos vastos territorios es en promedio 5kW/m<sup>2</sup> día (CONAE, 2010). Si se pudiera aprovechar toda la energía captada por una superficie de 2m<sup>2</sup> por habitante, en un año la captación de energía solar equivaldría a 4015kWh/hab; un casa habitación ubicada en estas regiones del país y con este nivel de captación, no necesitaría de algún tipo de suministro externo de energía eléctrica, el consumo energético podría incrementarse en las del 100% y se lograría un nivel de consumo energético similar al de los países europeos que en promedio consumen 4000kWh/hab (Rincón, 1999); cabe hacer notar que si la población total en México fuera de 100 millones de habitantes, se requeriría un área de captación inferior al .02% del territorio nacional.

En el resto de la república donde los climas no son desérticos, los niveles de radiación promedio son también prometedores, siendo superiores al 70% de la radiación promedio de los climas desérticos.

La siguiente imagen fue elaborada por *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) la cual nos permite visualizar las regiones del país con sus valores de radiación promedio.

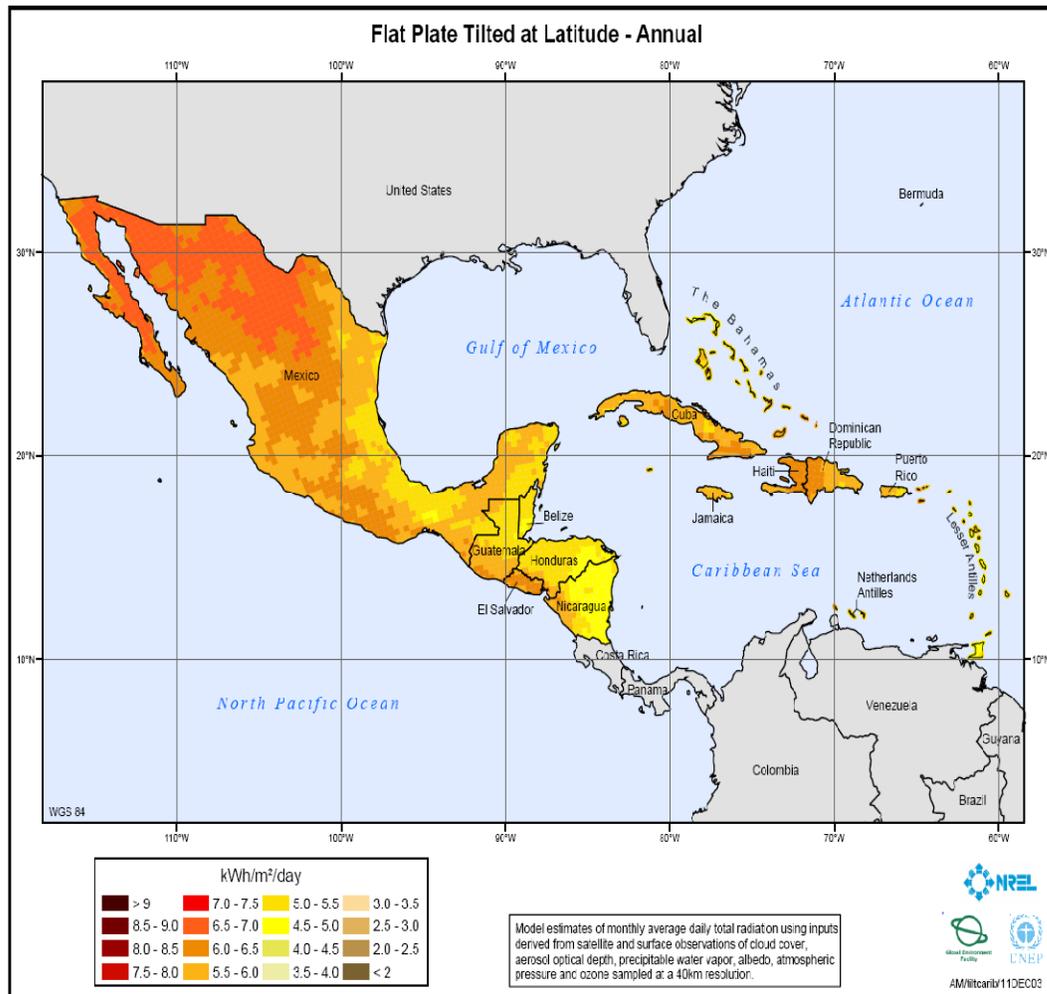


Figura 13: Niveles de radiación promedio en México y el Caribe.

### Sistemas de captación solar.

Los diversos procesos en que la energía solar es utilizada como una fuente de energía se puede dividir en 3 grandes áreas: A) Fototérmicos B) Fotovoltaicos y C) Fotoquímicos.

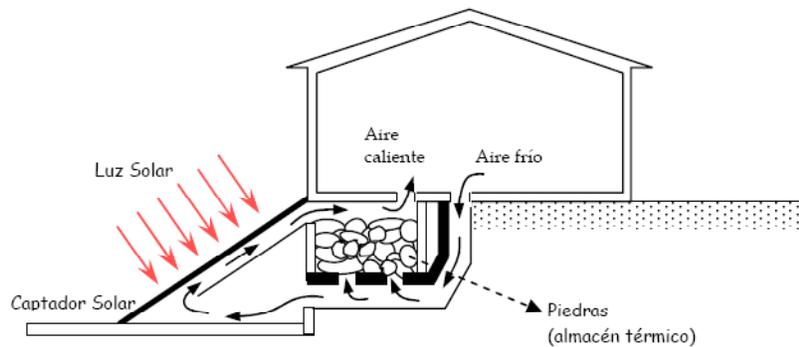
Los procesos fototérmicos capturan la energía solar a través de una superficie absorbadora, para transformarla en calor útil, que pueda aprovecharse como fuente directa de calor o para ser transformada posteriormente en energía Mecánica o energía eléctrica.

Entre las aplicaciones tecnológicas donde se utilizan los procesos fototérmicos, podemos encontrar los sistemas solares pasivos que se aplican principalmente en la arquitectura; la idea es diseñar elementos estructurales para aprovechar la radiación del Sol a fin de lograr un clima agradable u otro requerido en las edificaciones como las casas, edificios e invernaderos. Los sistemas solares pasivos no requieren de movimiento mecánico o de ningún dispositivo electromecánico, como son bombas, ventiladores, etc.

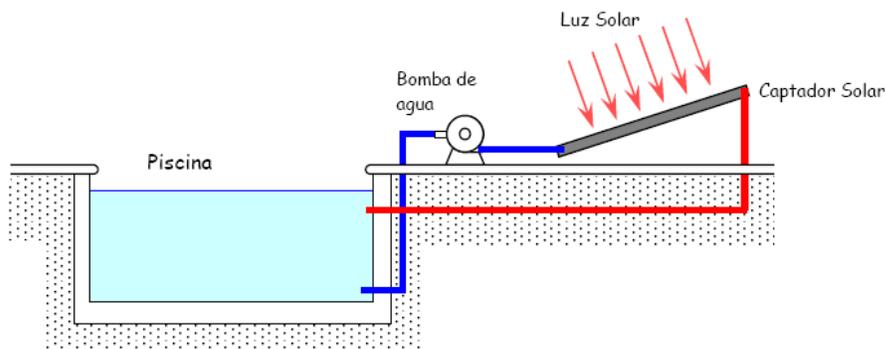
### ANTECEDENTES

Los sistemas estacionarios son aquellos que absorben la energía sin cambiar de posición, entre estos podemos encontrar los colectores planos, estos utilizan superficies oscuras (generalmente metálicas) que absorben la energía solar y la convierten en calor; esta energía se transfiere a un fluido en contacto térmico con la superficie oscura (agua, aire, aceite, etc.) para ser transportada a un almacén térmico a través de una bomba electromecánica o por convección natural. Los colectores se usan generalmente en el secado de materiales orgánicos y para el calentamiento de agua, como en el caso de piscinas, de uso doméstico y de uso industrial; un tipo especial de colector solar son los estanques solares, que convierten grandes volúmenes de agua en almacenes de energía; los estanques solares pueden utilizarse en el secado de granos, como fuentes directas de calor o incluso para la generación de energía eléctrica.

**Figura 14: Los sistemas pasivos se utilizan en arquitectura para el acondicionamiento climático de las construcciones**



Los sistemas solares activos requieren de bombas que permiten la circulación de fluidos térmicos que transporten la energía solar captada en los captadores solares a la unidad de almacenaje o de uso final de esa energía.



**Figura 15: Los sistemas fototérmicos activos permiten el bombeo de fluidos para el mejor aprovechamiento de la energía solar.**

Los procesos fotovoltaicos transforman directamente la energía solar en energía eléctrica mediante el uso de materiales semiconductores. En dichos materiales los electrones reciben la radiación del sol y pasan de los estados de energía ligados al átomo (banda valencia) a los estados de energía que les permiten moverse a lo largo del material (banda de conducción). La conversión de energía eléctrica se logra cuando se unen dos tipos de semiconductores: un semiconductor tipo p, para tener un mayor número de huecos donde

## ANTECEDENTES

alojar electrones; y un semiconductor tipo n, para tener un mayor número de electrones a la banda de conducción. En el lugar de la unión, los electrones libres del semiconductor tipo n, traspasan la frontera para ocupar los huecos del semiconductor tipo p, de esta forma en el semiconductor p se tapan los huecos y los átomos se cargan negativamente, mientras que en el tipo n hay una carencia de electrones y los átomos se cargan positivamente; de esta forma se obtiene un voltaje en ambos lados de la unión.

El papel de la radiación solar es aportar energía al sistema que permita que un mayor número de electrones puedan pasar a la banda de conducción y a su vez que estos electrones tengan la energía necesaria para llegar a la región del semiconductor tipo p.

Los semiconductores más utilizados para fabricar celdas fotovoltaicas es el silicio y el arseniuro de galio. Aunque también se pueden fabricar celdas fotovoltaicas con la unión de metales y semiconductores, recientemente se han desarrollado celdas de heterounión en base a metales calcogenuros, estas celdas mejoran la eficiencia (aproximadamente 15% comparado con un 7% a 10% de una celda de silicio) pero aun resulta muy baja para ser competitiva con la energía eléctrica obtenida de la quema de combustibles.

Las ventajas de esta tecnología es que las celdas son modulares, no tienen partes móviles, son de larga duración, responden tanto a la radiación solar directa como a la difusa y prácticamente no requieren mantenimiento.

Las desventajas de esta tecnología y que constituyen de los principales obstáculos para su uso a gran escala es que las celdas aun resultan muy caras para sustituir el suministro eléctrico proveniente de otras fuentes, requieren de sistemas de almacenamiento como baterías ácidas y como son de baja eficiencia se requieren gran cantidad de módulos para satisfacer la necesidad de una casa habitación, satisfacer la demanda de una industria al momento está fuera de su alcance.

La aplicación de las celdas fotovoltaicas se ha centrado principalmente para el suministro eléctrico de baja potencia y en regiones donde no se tiene acceso a las líneas de suministro de energía eléctrica.

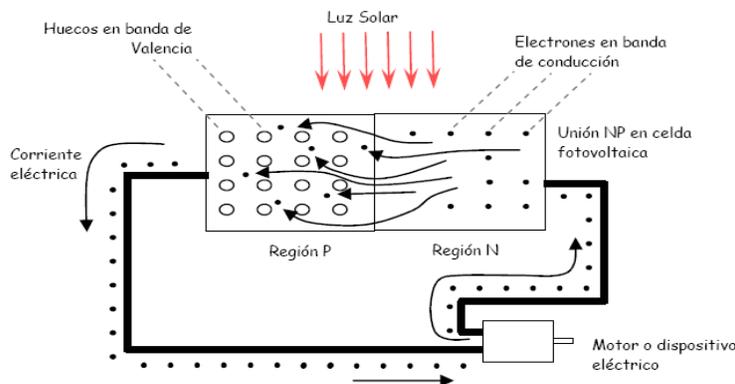


Figura 16: esquema simplificado de funcionamiento de una celda fotovoltaica.

Dos tipos de proceso similares al fotovoltaico son el termoeléctrico y el termoiónico. El

## ANTECEDENTES

proceso termoeléctrico se da en la unión de dos metales con niveles de Fermi diferentes, lo que comúnmente se le conoce como termopar. Los electrones del metal con mayor nivel de Fermi pasan a la frontera de la unión entre metales, creándose una pequeña diferencia de voltaje a ambos lados de la unión, la energía térmica permite incrementar la diferencia de voltaje entre los metales, habitualmente en los termopares se mide esta diferencia de voltaje para obtener una medida de la temperatura, pero en este caso la diferencia se utiliza para obtener y almacenar energía eléctrica.

El proceso termoiónico aprovecha la emisión de electrones desde un cátodo caliente, los electrones libres viajan hacia un ánodo frío y cuando se conecta una carga eléctrica entre el cátodo y el ánodo se obtiene potencia eléctrica útil. Su funcionamiento se basa en que al aumentar la temperatura de los átomos en el electrodo caliente (emisor), los electrones de las últimas órbitas adquieren la energía necesaria para desprenderse de sus átomos y recombinarse con los átomos del electrodo que se encuentra a más baja temperatura (colector); de esta forma se obtiene un electrodo caliente cargado positivamente y un electrodo frío cargado negativamente. La temperatura típica de operación para la emisión de electrones en el electrodo caliente oscila alrededor de  $1700^{\circ}\text{C}$  mientras que para el colector es de  $700^{\circ}\text{C}$  por esta razón, estos dispositivos suelen ir acompañados de algún tipo de concentrador solar enfocado en el emisor.

Para elaborarlos se han usado electrodos calientes hechos de tantalio, tungsteno y molibdeno, que se colocan de manera muy cercana (separaciones inferiores a  $0.01\text{mm}$ ) al colector que generalmente esta fabricado de molibdeno. Ambos electrodos están aislados eléctricamente al vacío o con algún vapor metálico como el cesio, rubidio o potasio, colocado entre ellos para facilitar el viaje de los electrones desde el cátodo hasta el ánodo. La principal desventaja es que estos dispositivos suelen deteriorarse por altas temperaturas y por los esfuerzos mecánicos que esto implica. Los procesos termoiónicos aun no representan una opción viable para transformación de la energía solar y el desarrollo e investigaciones de estos procesos son muy recientes.

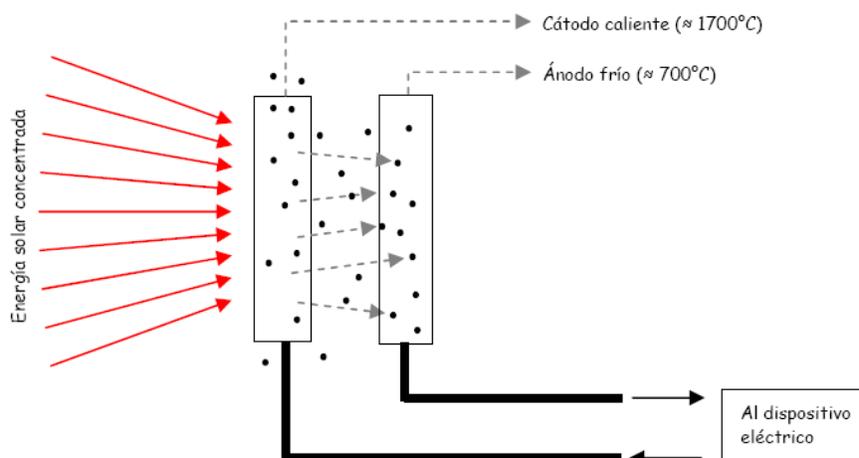


Figura 17: Esquema simplificado del funcionamiento de un sistema termoiónico

### ANTECEDENTES

Finalmente los procesos fotoquímicos transforman la energía solar en energía química libre, que generalmente se almacena en alguna forma de sustancia o combustible. La reacción fotoquímica de algunos materiales ocurre cuando sus moléculas absorben radiación electromagnética (preferentemente entre el visible y el ultravioleta) para provocar estados electrónicos excitados cuyo resultado sea una reacción química endotérmica, es decir, absorben energía de la radiación para almacenarla en forma de energía química. El ejemplo más común es el vapor de agua el cual se separa del hidrógeno y oxígeno a temperaturas superiores a 3000°C. Esta energía puede ser extraída cuando los compuestos químicos que resultaron del proceso fotoquímico reaccionan nuevamente para liberar la energía almacenada y obtener los compuestos que originaron el proceso. Los materiales que se usan en estos procesos suelen ser semiconductores y soluciones electrolíticas, sin embargo, las eficiencias que de ellos se obtienen son relativamente bajas (<14%) y los costos para esta conversión de energía son elevados por lo que aun no representa una opción viable para el aprovechamiento de la energía solar. En el siguiente esquema se da un panorama general de las aplicaciones de la energía solar utilizando los diferentes procesos descritos anteriormente.

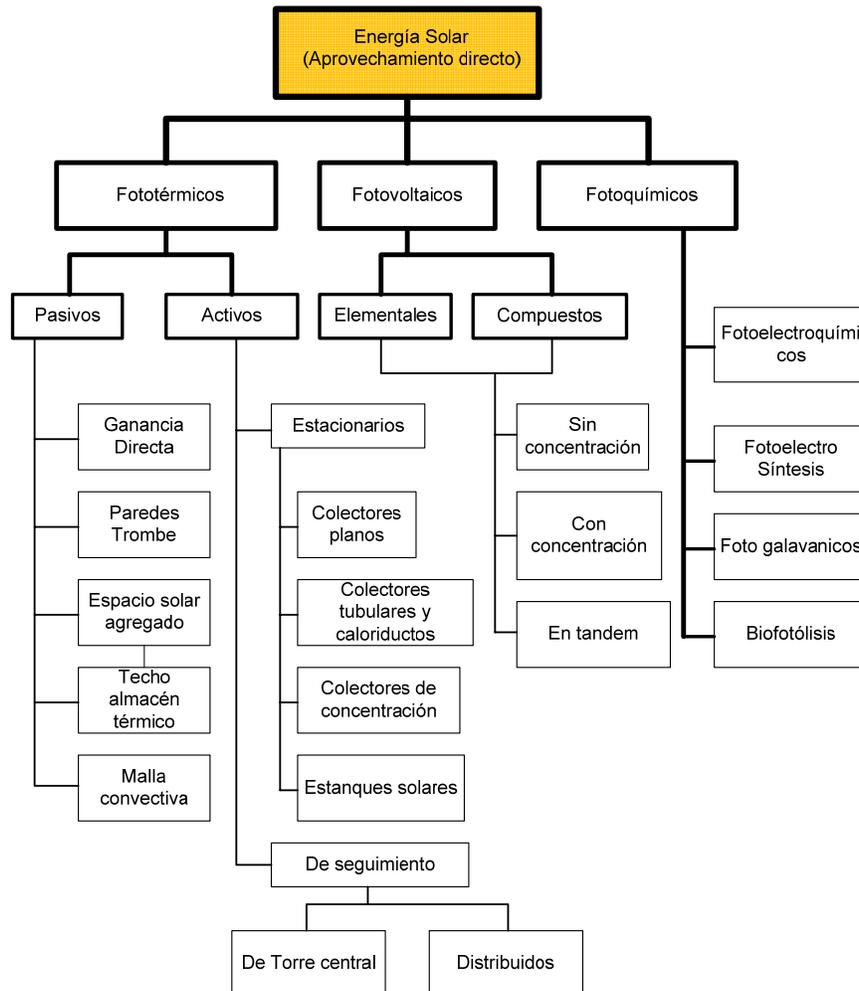


Figura 18: Tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar directa

## Sistemas de calentamiento solares de agua

El colector, captador o panel solar, como se les conoce, es el componente encargado de captar la energía solar para elevar la temperatura del fluido en circulación por su interior, el cual da lugar, después de un proceso externo a la obtención de la Agua Caliente Sanitaria (ACS) o servicios similares.

Existen diversas formas de construcción de los colectores solares para adaptarse a aplicaciones tan diferentes como las industriales y las domésticas, pero se pueden integrar en dos grupos, que son denominados paneles de concentración y paneles planos. Los primeros se emplean principalmente en instalaciones de medianas y altas temperaturas, aunque hay alguna versión para bajas temperaturas, y los segundos exclusivamente para bajas temperaturas y, por tanto, con aplicaciones en el sector residencial, hostelero y similares.

Los captadores de concentración están basados en un reflector de forma cilíndrico-parabólica, por cuyo punto focal circula el fluido a calentar a través de un conducto metálico, generalmente de cobre.

Este sistema concentrador permite obtener una elevada temperatura del fluido porque proyecta toda la energía de modo muy directo sobre su punto focal. La siguiente figura puede mostrar un detalle de tal colector solar, el cual puede adoptar otras configuraciones para el mismo propósito.

Figura 19:  
Colector solar  
de  
concentración



La versión del siguiente tipo de concentrador para su aplicación en baja temperatura y, por tanto, adecuada para el sector residencial, es el denominado concentrador parabólico compuesto (CPC).

## ANTECEDENTES

Su aspecto es similar al del colector plano el cual se describe más adelante ya que cuenta con una cubierta de vidrio para obtener el efecto invernadero y conseguir la necesaria protección. Sin embargo, la superficie de captación solar está formada por un conjunto de pequeñas cavidades cilíndrico-parabólicas paralelas, por cuyos centros circula el fluido a través de conductos de cobre o vidrio al vacío y consiguen estos colectores planos-concentradores un elevado rendimiento energético.



**Figura 20: Concentrador parabólico compuesto CPC.**

De todos los dispositivos que aprovechan la energía solar, los captadores solares planos son tal vez los más estudiados y los más difundidos comercialmente. Los primeros colectores planos comerciales procedían de una patente realizada por un estadounidense Clarence L. Kemp en 1889. Se denominaba Climax y en el año de 1900 ya había instalado más de 1600 sistemas de este tipo en California. Nueve años más tarde, William J. Bailey empezó a vender unos revolucionarios sistemas solares que suministraban agua caliente las 24 horas del día aunque estuviera nublado. Lo conseguía separando el sistema de captación del sistema de almacenamiento. Era el nacimiento de la tecnología que hoy se ha generalizado para el calentamiento de agua a partir del sol. A finales de la primera guerra mundial, Bailey había instalado más de 4000 sistemas, bajo la marca comercial de *Day and Night* (día y noche).

Desde entonces su forma y aplicaciones han evolucionado y su utilización se ha extendido en forma relativamente exitosa en un buen número de países industrializados, como son Alemania, Inglaterra, Francia, Israel, Japón, China, España y Estados Unidos. En la mayoría de estos países se cuentan con miles e incluso cientos de miles de metros cuadrados de superficie instalada. En Israel los colectores se usan en forma generalizada tanto para el calentamiento como para refrigeración, proporcionando el 20% del consumo nacional de energía primaria.

Los colectores solares podemos subdividirlos en dos tipos de acuerdo a la forma en que se le da movimiento a su fluido de trabajo, de circulación forzada y convección natural. Los colectores de circulación forzada consisten en colectores que con ayuda de una bomba mecánica se les hace pasar el fluido de trabajo a un flujo constante, estos sistemas son activos. Los colectores de convección natural o también llamados termosifónicos, no requieren de ninguna bomba para hacer circular su fluido de trabajo, este se mantiene en

## ANTECEDENTES

movimiento por la diferencia de densidades entre el agua caliente del colector y el agua del tanque de almacenamiento que generalmente esta a una menor temperatura, a estos sistemas se les denomina pasivos.

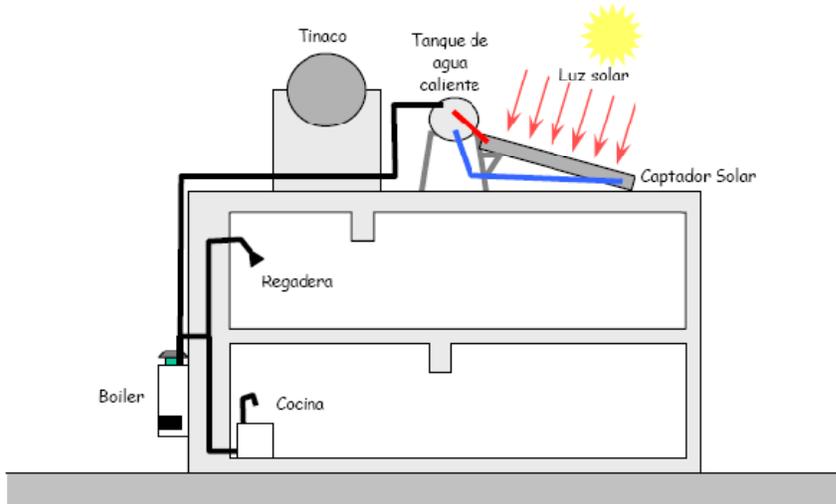


Figura 21: Esquema de funcionamiento de un colector solar termosifónico en una casa habitación.

Un captador solar de alto rendimiento y con una configuración totalmente diferente a las anteriores es el denominado “*Heat Pipe*” (tubería caliente). En éste, a diferencia del basado en una superficie absorbente que calienta un conjunto de tubos por los que circula el líquido, la superficie de captación está formada por un conjunto de tubos de vidrio al vacío totalmente sellados en sus extremos, en cuyo interior está dispuesto otro tipo hipotérmico de alta conductividad térmica en el se ha depositado alcohol o similar, el cual, al calentarse, pasa al estado vapor y sube por el tubo para alcanzar el extremo superior que ésta conectado a un condensador a modo de intercambiador de calor. La transferencia térmica enfría el fluido térmico y vuelve al estado líquido, con lo cual baja por el tubo para repetir el ciclo. El agua no circula por el interior del colector más bien lo hace por el interior de un condensador dándose en ese lugar el intercambio térmico y consiguiendo un rendimiento energético mayor.

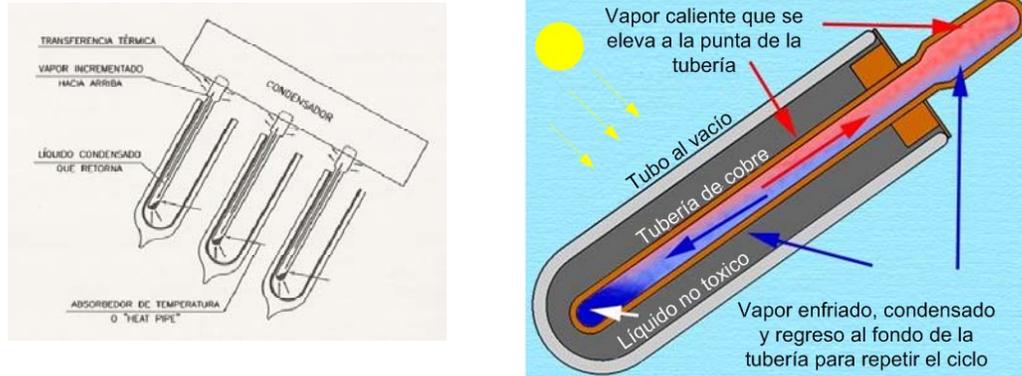


Figura 22: Detalle de los tubos de vacío del captador solar "Heat pipe".

## Sistemas de seguimiento solar

La necesidad de captar la mayor cantidad posible de la energía incidente en un determinado lugar es, evidentemente, una exigencia común a todos los sistemas de aprovechamiento de la energía solar. La máxima captación se obtiene si la superficie colectora se mantiene constantemente en posición normal a los rayos del sol, lo que únicamente puede conseguirse si dicha superficie está dotada de un movimiento de seguimiento del sol. En comparación con la energía captada por un colector estático, la captada por uno dotado de un sistema de seguimiento del sol recibida en un día claro puede aumentar el valor del orden de un 35% o más. Sin embargo este aumento puede reducirse considerablemente para el caso de nublados frecuentes y en todas aquellas condiciones climatológicas en las que la relación entre la energía recibida por la radiación directa y la recibida por la radiación difusa tienda a disminuir. Esto hace que el seguimiento sea una solución definitiva para pequeños sistemas de colector plano.

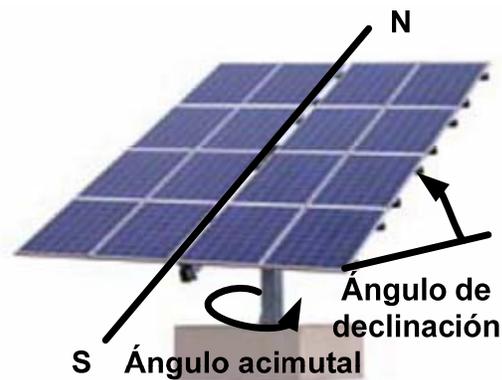
El seguimiento es imprescindible en mayor o menor grado en aquellos sistemas que se basan en la concentración óptica de la radiación solar (concentración mediante espejos parabólicos sobre tubos colectores, concentración mediante espejos o lentes sobre celdas solares). También es imprescindible en el caso de campos de heliostatos de una central térmica solar que ha de enfocar, todos ellos, luz solar sobre un único colector. Todos los sistemas de concentración utilizan únicamente la radiación directa; pero aun así, se puede obtener una ganancia de la energía captada respecto al colector estático que recoja la radiación total, siempre que se trate de climas poco nublados. El aumento de la energía conseguido compensa en muchos de los casos prácticos el consumo de energía y el costo de los propios mecanismos de seguimiento. En este sentido, este apartado presenta el estado actual y una explicación del planteamiento general y de las funciones que se esperan de un sistema de seguimiento.

Una superficie colectora apunta al sol cuando un vector perpendicular a dicha superficie es paralelo a los rayos solares. En general, para mantener un colector apuntando en todo momento al sol, se precisa un giro del mismo alrededor de dos ejes. Sin embargo es común emplear sistemas de seguimiento en un solo eje que si bien no representan un rendimiento de colección óptimo pueden representar un compromiso global aceptable entre la energía total captada a lo largo de un día o de un año y la complejidad costo y consumo de energía en un sistema de seguimiento en dos ejes.

Las configuraciones de dos ejes más comunes se presentan en la siguiente figura.



Configuración 1



Configuración 2

**Figura 23: Configuraciones comunes de seguidores en dos ejes.**

De estas dos configuraciones es posible encontrar mecánicamente variadas versiones, pero, surgen de estas dos ideas primordialmente.

La diferencia entre la configuración 1 y la configuración 2 radica en la forma de seguimiento acimutal, en la primera configuración el seguimiento acimutal gira en torno al eje N-S y en la segunda se hace girar a todo el captador alrededor de un eje central.

La corrección de la declinación solar en la primera configuración se realiza con pistones neumáticos o mecánicos en la segunda configuración se cuenta con un cabezal reductor para mover la plataforma.

En los seguidores solares para captadores planos como en otro tipo de captadores, el diseño de la estructura mecánica que proporcionara movimiento es de mucha importancia ya que de ello dependerá la precisión del seguimiento solar.

Para la transmisión de potencia comúnmente son usados cabezales con arreglos de engranes, tornillos sin fin corona y la transmisión catalina cadena. En los actuadores se usan servomotores para una mayor precisión, motores de corriente directa y motores a pasos.



## ANTECEDENTES

Los sistemas de control de los seguidores solares pueden agruparse en dos tipos: los sistemas que utilizan fotosensores para obtener la señal de error de puntería y lo que calculan la posición del sol en función de datos astronómicos, geográficos del lugar y la hora del día.

En el primer caso, el sensor suele estar constituido por pares de elementos fotosensibles (fotorresistencias, fototransistores, fotoceldas, etc.) montados de tal manera que proporcionan una señal nula cuando la orientación del panel coincide con la del sol y una señal positiva o negativa proporcional a la desviación, en caso de que no se de tal coincidencia.

En estos casos el fotosensor va sólidamente unido al propio colector y se mueve con él de tal manera que su función sustituye al de los captadores de orientación de sol y colector.

En caso de seguimiento por coordenadas calculadas, una forma de proceder, puede consistir en un calculador (generalmente un micro ó mini controlador) que tenga en memoria ó calcule la posición instantánea del sol en la esfera celeste y, a partir de datos como el día del año, la hora local y coordenadas geográficas del lugar, proporcione los ángulos de acimut y elevación en cada momento. Con los ángulos generados el controlador obtiene el vector de orientación  $S$  que debería de poseer el colector para apuntar al sol y lo compara con el vector de orientación real  $C$  del colector, la diferencia entre ambos vectores permite conocer los errores de orientación en acimut y elevación generando las señales oportunas de control para los motores correspondientes.

Actualmente existen empresas internacionales dedicadas exclusivamente al diseño de seguidores solares como la empresa española Mecasolar quien según la revista [interempresas.net](http://interempresas.net) en 2010 había instalado más de 22,000 seguidores solares en diversos países de Europa y Estados Unidos.



## METODOLOGIA

En la figura 1 se presentó el método para la elaboración del prototipo funcional, en este capítulo se documenta el trabajo realizado para la realización del proyecto en su conjunto.

### Sistema hidráulico

Este sistema es el que calienta, transporta y almacena los fluidos de trabajo.

El prototipo es un captador solar de placa plana de circulación forzada con intercambiador de calor. Para brindar una mejor explicación a este sistema se realiza una subdivisión en captación, circulación y acumulación.

### Captación

El captador representa una parte fundamental de toda instalación solar térmica pues en su interior se calienta el fluido de trabajo gracias a la energía de la radiación solar, transfiriéndose el calor generado a través del circuito primario, en la mayoría de los casos se almacena en un acumulador. Según se vaya necesitando, el calor pasa desde el acumulador al circuito de consumo.

Todos los diseños de captadores tienen el objetivo común de convertir con el mayor rendimiento posible la radiación solar en calor, para después suministrar eficientemente éste a los consumos. Los diseños de los captadores varían considerablemente en cuanto a calidad, rendimiento, construcción y coste.

Componentes del captador solar plano.

#### Absorbedor

La energía en la radiación solar se convierte en calor en el absorbedor. El fluido de trabajo circula a través de finos tubos, que forman parte del absorbedor y transporta el calor obtenido hacia el acumulador o el consumo.

Hoy día se usa el cobre en la mayoría de los captadores para los tubos distribuidores y los tubos finos del absorbedor. Igualmente, las láminas del absorbedor están hechas de cobre o aluminio raras veces se emplea el acero para este fin.

La Figura 24 muestra la configuración de tubos que se utilizaron para la construcción del absorbedor, para los cabezales se usó el tubo de  $1\frac{1}{2}$ '' y para la malla se utilizó tubo de  $\frac{1}{2}$ '' . Los tubos del absorbedor no deben estar demasiado separados, a fin de que la transferencia de calor desde la lámina metálica del absorbedor hacia el fluido de trabajo se lleve a cabo de forma óptima y uniforme sobre toda el área. En la práctica, se suele poner una distancia entre tubos de 10 a 12 cm, lo que representa un compromiso entre una transferencia de calor óptima, una baja capacidad térmica, un gasto reducido de material y bajos costos de fabricación. Este tipo de absorbedor es comúnmente conocido como tipo parrilla.

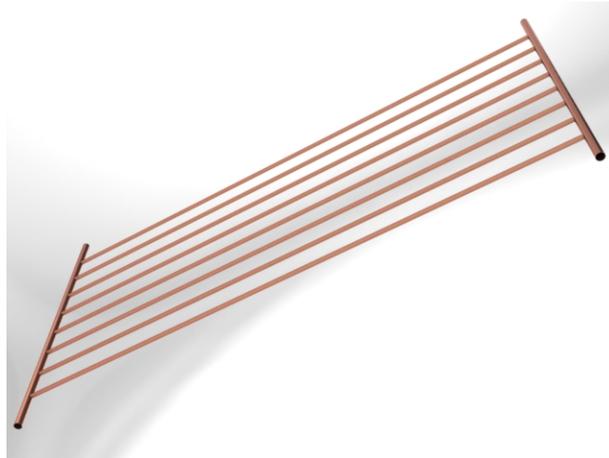


Figura 24: Absorbedor de cobre tipo parrilla

#### Recubrimientos del absorbedor

Debido al uso extendido de las aletas absorbedoras, el absorbedor tipo parrilla ha logrado una cuota de mayor mercado que el tipo serpentín, a pesar de la mayor dificultad que requiere su fabricación. Existen en el mercado diversas variantes de conexionado interior de las aletas, estas aletas son colocadas por encima de los tubos paralelos y tienen una hendidura para lograr un mayor contacto con el tubo.

Como las superficies de metal reflejan la luz en un grado relativamente elevado, es necesario proveer a los absorbedores de metal de un recubrimiento de absorptancia alta para las longitudes de onda corta de la radiación solar. Por este motivo, en los inicios de la tecnología solar térmica se usaban pinturas solares negras sin propiedades selectivas, especialmente desarrolladas para este propósito.

En la Figura 25 se muestra la aleta que se manufacturo para ser colocado en el absorbedor, se utilizó lámina de aluminio y se aplico un anodizado negro mate sobre su superficie.



Figura 25: Aleta de aluminio con anodizado negro mate



Figura 26: Parrilla con aletas y recubrimiento

## Carcasa

La carcasa envuelve al absorbedor y al aislamiento térmico del captador protegiéndolos de este modo de la humedad y los daños mecánicos. En la actualidad, las carcasas que se fabrican son principalmente de aluminio. La carcasa que se fabrica es de un perfil de aluminio 3 pulgadas en forma de u, la parte posterior a la carcasa es de lámina galvanizada.



**Figura 27: Carcasa de aluminio con lámina galvanizada**

## Aislante

El aislamiento térmico es esencial para los captadores planos porque por medio de él se logra una reducción de las pérdidas térmicas. Por lo general, la pared posterior y los laterales de la carcasa están aislados térmicamente. Además de lana de vidrio y lana mineral, suelen emplear resina de melanina y espumas de poliuretano.

Los materiales aislantes deben resistir las altas temperaturas de estancamiento de los captadores. Particularmente el aislamiento de la parte posterior no debería de emitir gases, incluso a temperaturas muy elevadas, pues de lo contrario es previsible la aparición de deposiciones en el interior de la cubierta transparente. En el prototipo se usó la espuma de poliuretano para aislar térmicamente a la parrilla.

## Cubierta transparente

La cubierta transparente del captador cumple diversas funciones:

- Proteger al absorbedor y el aislamiento térmico dentro de la carcasa contra todo efecto nocivo del medio ambiente.
- Es parte constituyente del aislamiento térmico porque, como en el caso del acristalamiento de un invernadero, permite la entrada de radiación solar de onda corta y no deja salir la radiación de onda larga.
- Debería de reflejar la menor radiación posible de superficie y absorber la mínima posible en su interior, de manera tal que casi toda la radiación solar incida en el absorbedor.
- Debe tener una vida útil prolongada, ser robusta y resistente a los efectos causados por el medio ambiente (lluvia, granizo, viento, radiación ultravioleta, etc.) y las grandes fluctuaciones térmicas.

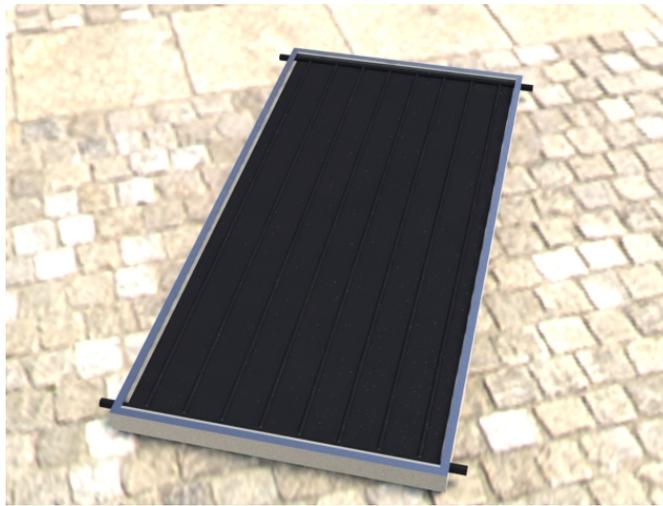


## METODOLOGIA

Para el prototipo se decide la utilización de policarbonato sólido transparente, las principales propiedades de este material son:

- Pesa menos de la mitad que el vidrio.
- Tiene una transparencia de aproximadamente 86%.
- Muy buena estabilidad a la intemperie.
- Superficie dura.
- Entre 10 y 20 veces más resistente al impacto que el cristal.

La Figura 28 muestra el diseño final del captador solar plano que se fabricó para el proyecto.



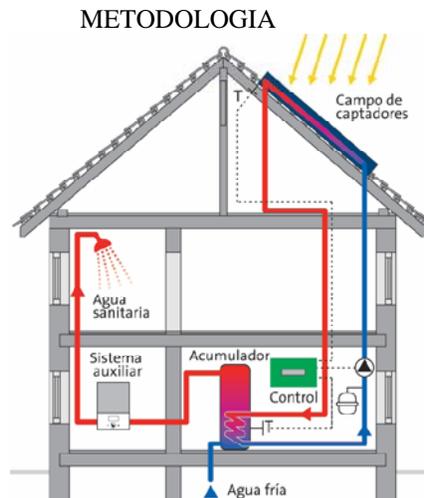
**Figura 28: Diseño final del captador solar plano**

### **Circulación**

Debido a que en el proyecto se plantea un seguimiento solar acimutal en el cual se tiene que transportar el fluido de trabajo caliente hasta la etapa de acumulación, un calentador solar por termosifón resulta poco práctico, es por ello que el calentador solar se plantea de circulación forzada.

Es de circuito indirecto (cerrado) y forzado. Es decir, el fluido que pasa por el captador es independiente del agua de consumo con lo cual se puede utilizar un fluido anticongelante y anticorrosivo con lo cual se evitan problemas de heladas, incrustaciones cálcicas y corrosión de manera que la instalación tiene mayor durabilidad y es más fiable. Al ser de circulación forzada (con una bomba) es posible integrar mejor la instalación en la cubierta de la vivienda ya que el acumulador se puede instalar en el interior con la ventaja adicional de tener menos pérdidas térmicas y mayor durabilidad.

En la Figura 29 se puede apreciar una instalación típica de circulación forzada.



**Figura 29: Instalación típica de un sistema de circulación forzada.**

Los componentes principales del circuito primario son los siguientes:

- Captadores.
- Tuberías de conexión para el captador y tuberías y mangueras entre el captador y el acumulador.
- Aislamiento térmico de las tuberías.
- Purgadores de aire.

Los sistemas indirectos están provistos de:

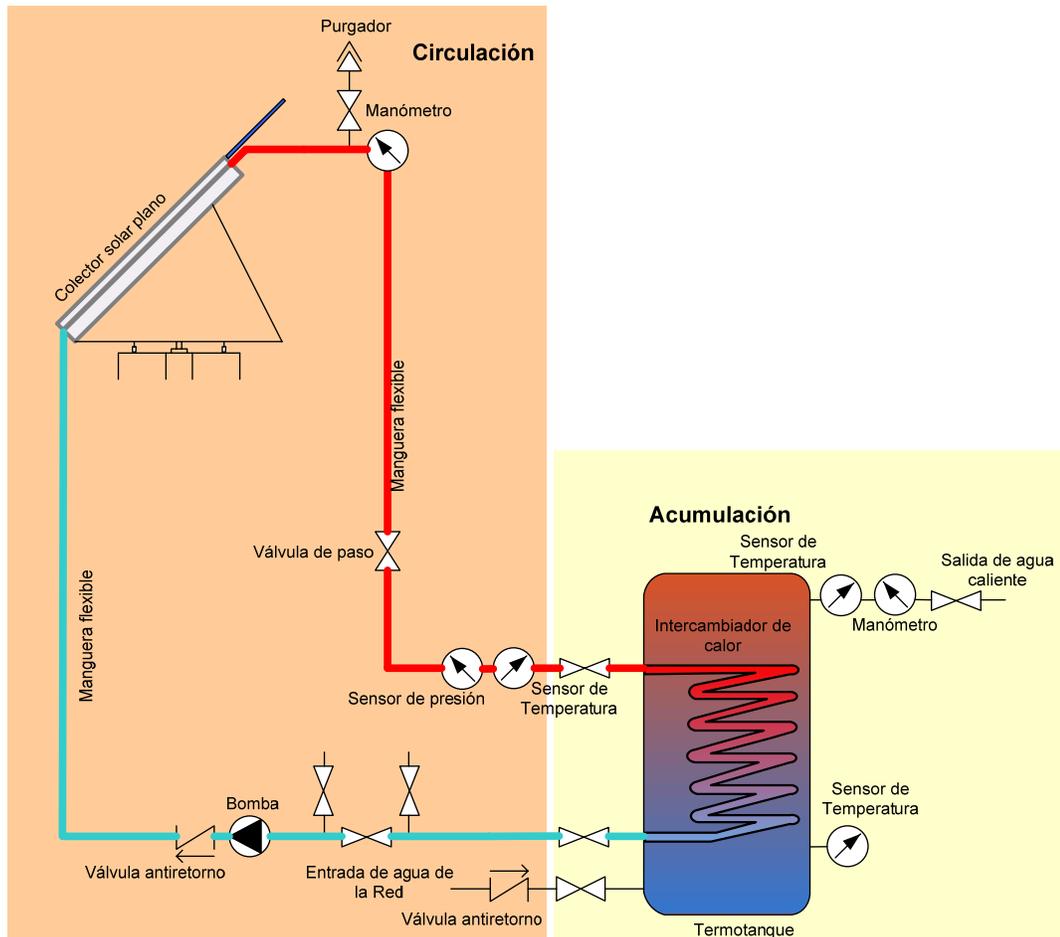
- Intercambiador de calor.
- Fluido de trabajo en los captadores solares.

Finalmente, los circuitos de circulación forzada constan además de:

- Bomba de circulación y válvulas.

La Figura 30 muestra como está constituido el circuito primario del proyecto.

## METODOLOGIA



**Figura 30. Circuito primario y sus componentes.**

### Fluidos de trabajo

Los fluidos de trabajo en el circuito primario deben cumplir los siguientes requisitos:

- Deben ser resistentes a la temperatura de trabajo, incluso hasta el nivel máximo correspondiente al estado de estancamiento del captador.
- Deben ofrecer protección contra heladas en caso de que las instalaciones operen durante todo el año y se pronostiquen períodos muy fríos en el clima local.
- Deben garantizar la protección anticorrosiva en caso de que en el circuito primario se utilicen materiales mixtos o propensos a la corrosión.
- No deben exigir requisitos especiales en cuanto a los materiales del circuito primario, de manera que se puedan obtener componentes normales y de bajo costo.
- Deben poseer un calor específico elevado, así como una buena conductividad térmica, por medio de la cual se permita realizar de manera eficaz el transporte y la transferencia de calor generado en el captador.
- No deben ser tóxicos ni contaminar el medio ambiente.



## METODOLOGIA



- Deben tener baja viscosidad, con el fin de mantener en un valor reducido las pérdidas de carga y, por tanto, la potencia de la bomba de circulación.
- Deben tener bajos costos y buena disponibilidad.

El fluido que cumple casi todos los requisitos de manera excelente es el agua. El único inconveniente es su vulnerabilidad frente a las heladas. Por lo tanto, el uso de agua en el circuito primario se limita a instalaciones ubicadas en zonas de sin riesgos de aquéllas.

Entre las propiedades señaladas en la lista anterior, una mezcla de agua y glicol resulta ser una buena solución para un fluido de trabajo. Desde hace varias décadas se emplean estas mezclas en los circuitos de refrigeración de automóviles, y han demostrado en este campo su valor de protección anticorrosiva y anticongelante. Por este motivo se eligieron para su utilización en las instalaciones solares que trabajan bajo cargas térmicas no muy elevadas. Sólo en cuanto a los inhibidores de corrosión tuvieron que ser adaptadas.

Mientras que antes se usaba casi sin excepción el etilen-glicol, hoy en día se prefiere emplear cada vez más el propilen-glicol en los sistemas de agua caliente sanitaria, debido a que no representan un riesgo para la salud humana. El anticongelante usado para el circuito primario es el propilen-glicol.

### Tuberías del circuito primario

La elección de los materiales para tuberías y de las técnicas de unión respectivas depende claramente de las temperaturas y presiones de trabajo así como del modo de flujo y del tipo de fluido de trabajo. Debido a que el proyecto cuenta con un solo captador no se encuentra sometido a grandes presiones de trabajo así que se utilizará tubería de cobre y mangueras flexibles para gas de tal manera que se permita el libre movimiento del captador plano.

### Bombas de circulación

La función de la bomba es la de producir la circulación del fluido de trabajo en el circuito primario. Las bombas utilizadas deben resistir las temperaturas de trabajo que pueden producirse en el circuito primario durante un período muy prolongado.

El prototipo plantea ser autónomo energéticamente con la utilización de paneles fotovoltaicos así que se buscó una bomba que proporcionara el caudal óptimo y que fuera de corriente directa además de soportar altas temperaturas.

Se cuenta con una bomba flojet modelo lf122202 a 12V de corriente directa con un caudal de 4.3 l/min y presión máxima de 35 psi.

### Accesorios

De manera similar a otras instalaciones térmicas en edificios, el circuito primario solar está provisto de accesorios como termómetros, manómetros y diversos tipos de válvulas (válvulas de corte, de retención, antiretorno o de regulación).

## Purga de aire

Cuando un circuito primario de un sistema solar se llena de fluido, se desplaza la mayor parte del aire que al principio se hallaba en el sistema. No obstante, se observa la persistencia de pequeñas burbujas de aire desplazadas con el fluido que después se van purgando poco a poco. Otra pequeña parte del aire se disuelve en el líquido hasta que logre ser liberada gradualmente a temperaturas superiores.

El aire se acumula siempre en el punto más alto del circuito primario. Además, puede acumularse en partes del circuito en donde no existen conexiones ascendentes hacia el punto superior de la instalación.

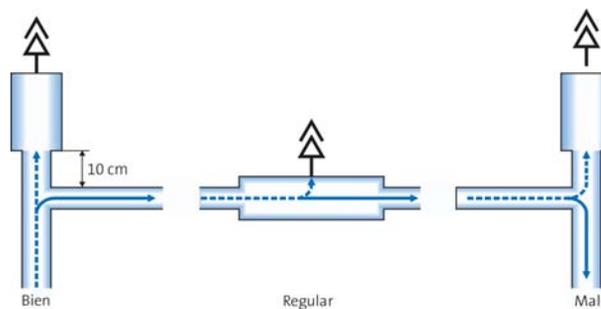
La presencia de aire en el circuito primario provoca ruidos como borboteo o murmullo, y en grandes cantidades puede llevar a una paralización de la circulación. En tal caso, el fluido no circula a pesar del funcionamiento constante de la bomba.

Se puede afirmar que la presencia de aire en el circuito primario perjudica de manera grave el buen funcionamiento del sistema y, por tanto, hay que asegurar una purga de aire eficaz e impedir la entrada de aire en el circuito, así como evitar escapes del fluido de trabajo.

La purga de aire se efectúa en dos aspectos o fases distintos:

1. Purga de aire durante la fase inicial de llenado, cuando el líquido que entra en el circuito desplaza grandes cantidades de aire.
2. Purga constante de pequeñas burbujas de aire durante la operación normal.

Conviene situar al purgador según se indica en la Figura 31 para evitar que el aire pueda ser arrastrado por el fluido. Cuando se usan purgadores manuales es importante colocarlos donde se produzcan sifones.



**Figura 31: Posición de los purgadores.**

## Acumulación

Los acumuladores, comúnmente llamados termotanques, cumplen la función de una batería que permite independizar el suministro de calor del consumo, puesto que el perfil temporal de la entrada de energía no suele corresponderse con el consumo energético. El período de tiempo de acumulación varía entre unas pocas horas, días o en caso de acumulador



## METODOLOGIA

estacional, hasta meses, y depende de gran parte de la aplicación (por ejemplo calentamiento de piscinas. Agua caliente sanitaria o calefacción), y, además, de la fracción solar deseada.

El objetivo que se persigue es acumular la energía solar disponible de la mejor forma durante períodos de escasa demanda, para después poder suministrar esa energía de la manera más eficaz cuando se necesite.

Los aspectos más importantes de un acumulador son su resistencia mecánica, su durabilidad y la calidad del aislamiento. Mientras menor sea el coeficiente de pérdidas (que depende de la calidad y del espesor del aislamiento) mejor comportamiento tiene un acumulador.

Clasificación de los acumuladores.

Los acumuladores se clasifican según tres criterios fundamentales:

- Posición, horizontal o vertical.
- Sin intercambiador o con intercambiador incorporado.
- Por material empleado.

Para ciertas aplicaciones (por ejemplo en instalaciones mixtas de agua caliente sanitaria y calefacción) existen diseños especiales.

Detalles técnicos de los acumuladores

- Deberán soportar temperaturas hasta de 120°C.
- Deben soportar altos niveles de corrosión.
- Deben soportar presiones de trabajo previstas.
- El plástico no es recomendable para acumuladores principales por problemas de soporte de presión y temperatura e incluso por higiene.

Un buen diseño de un acumulador permite que se produzca estratificación de temperatura, es decir, que la temperatura se distribuya verticalmente. Con esto se mejora el rendimiento de la instalación ya que el agua más caliente se sitúa en la parte más alta del acumulador y es la que va al servicio.

Aislamiento del acumulador

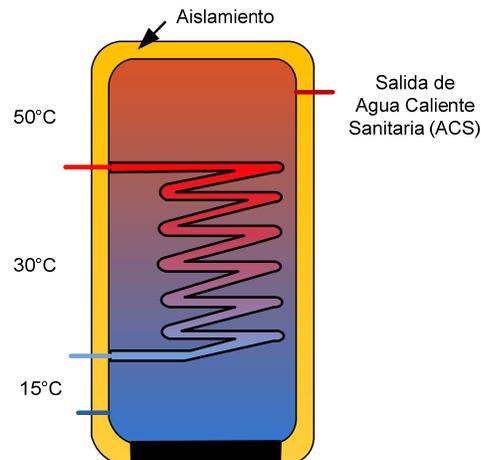
Las pérdidas térmicas de los acumuladores convencionales pueden ser considerables, por lo que a fin de mantener dichas pérdidas dentro de un margen razonable, se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Pequeña relación entre superficie y volumen.
- Aislamiento estrechamente unido a la superficie exterior del acumulador.

## METODOLOGIA

- Aislamiento completo del acumulador, inclusive en su superficie superior e inferior.

Al igual que en el captador los materiales más comunes para el aislamiento en el acumulador es la lana lana de vidrio y lana mineral, resina de melanina y espumas de poliuretano.



**Figura 32: Estratificación y aislamiento en el acumulador o termotanque.**

### Intercambiador de calor

Los intercambiadores de calor sirven para transferir la energía térmica entre diferentes fluidos, que se mantienen separados entre sí. Se utilizan en instalaciones solares, por ejemplo, para transferir el calor de la mezcla de agua y anticongelante del circuito primario al agua caliente sanitaria o al agua proveniente del acumulador de inercia. Deben cumplir los siguientes requisitos:

- Resistentes a los fluidos de trabajo.
- Compatibles con otros materiales presentes en el circuito.
- Resistentes a las temperaturas mínimas y máximas que se pueden generar en el sistema.
- Buenas propiedades de conductividad térmica y de transferencia de calor.
- Pequeña diferencia de temperaturas a través de las paredes intercambiadoras.
- Poca pérdida de carga.

En base a los requisitos mencionados, suele escoger habitualmente el acero inoxidable o el cobre para la fabricación de intercambiadores para ser usados en los sistemas solares térmicos.



Figura 33: Diseño y construcción del termotanque.

### Sistema Mecánico

Este sistema es el encargado de brindar soporte y movimiento al captador.

Los requerimientos principales para este sistema son:

- Permitir la inclinación del captador dependiendo de la latitud de lugar.
- Soportar la masa del captador con todos sus elementos, incluyendo paneles fotovoltaicos.
- Permitir al captador un giro de  $180^\circ$ .
- Soportar la corrosión del medio ambiente.
- Manufactura sencilla.
- Económico.

Los sistemas mecánicos de seguidores solares son distintos dependiendo de las masas y volúmenes que se espera mover.

La decisión del tipo de montaje se tomo en cuenta considerando que nuestro prototipo realizará un seguimiento solar de tipo acimutal, de esta manera el montaje de eje central es el que nos permite una mejor distribución de cargas.

Las condiciones con las se cuenta para el diseño de la estructura móvil es que soporte una masa de aproximadamente 65kg que corresponde a la masa del captador con los paneles y el fluido de trabajo.

La siguiente figura muestra el diseño final de todo el sistema mecánico y posteriormente se describe cada componente.

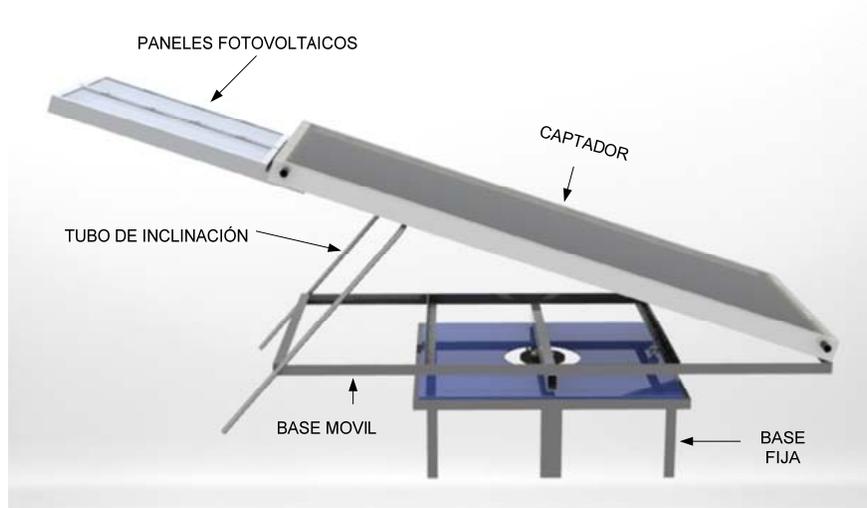


Figura 34: Diseño final del sistema mecánico.

## Estructuras

### Base móvil

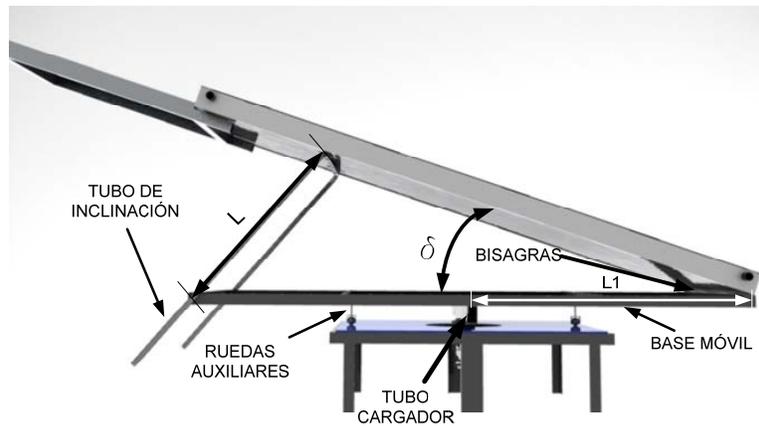
Consiste en una estructura de con ángulo de  $1\frac{1}{2}$  pulgadas de  $2 \times 1$  [m], esta sostenido por un tubo de carga de  $1.5 \times 2.5$  [in] este tubo cargador va acoplado directamente al eje central del cual surge el movimiento, el soporte de las masas recae en el balero cónico, liberando de cargas axiales y radiales al eje central, en el apartado de base fija se dan más detalles de este rodamiento.

El captador se puede inclinar dependiendo de la latitud del lugar gracias a unas bisagras y al tubo de inclinación el cual sube o baja dependiendo del ángulo que se quiera alcanzar entre la base móvil y el captador.

Los paneles fotovoltaicos son soportados por una estructura de aluminio que se fijó directamente a la carcasa del captador.

En la estructura móvil fueron instalados dos ángulos con unas ruedas locas que sirven como auxiliares de carga en caso de que las rachas de viento fueran inusuales, cabe señalar que estas ruedas no cargan la estructura simplemente flotan muy cerca de una base sólida, para ayudar al tubo cargador con las fuerzas radiales.

## METODOLOGIA



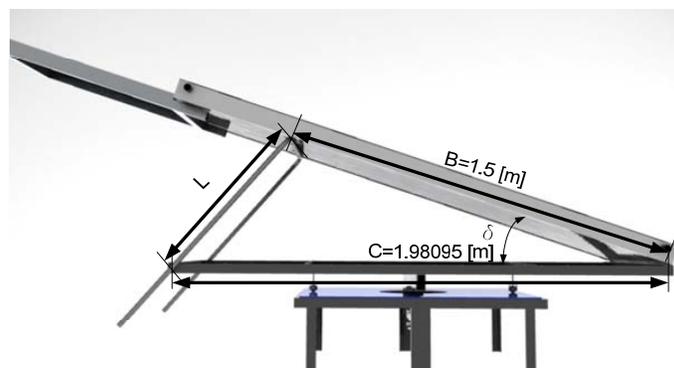
**Figura 35: Base móvil.**

Cuando un colector solar plano fijo es instalado, como regla general se considera la inclinación del captador igual a la latitud del lugar. La orientación del captador en el hemisferio norte deberá ser hacia el sur geográfico y viceversa para el hemisferio sur, en ambos casos la orientación es hacia el ecuador.

El prototipo se ajusta a la latitud del lugar y su orientación por la mañana es el este, al medio día una orientación sur y por la tarde una orientación oeste.

Para el caso de Ciudad Universitaria se sabe que la latitud según el Instituto Geofísica de la UNAM es  $\delta=19^\circ$  con lo cual se calcula L en el tubo de inclinación.

La Figura 36 muestra en triángulo que se forma entre la base móvil el captador y el tubo de inclinación.



**Figura 36: Triángulo para el cálculo en el tubo de inclinación.**

Usando la ley de cosenos se encuentra L.

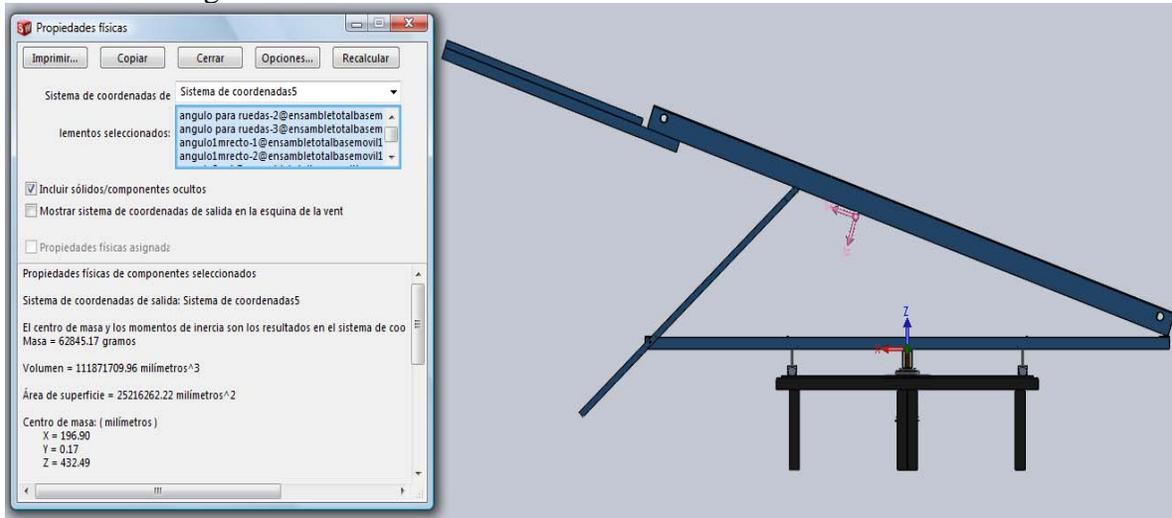
$$L = \sqrt{B^2 + C^2 - 2(B * C * \cos(\delta))}$$

Sustituyendo los datos se tiene que

METODOLOGIA  
 $L = 0.7450[m]$

Una vez que se fija el tubo de inclinación a una distancia  $L$  se tiene que encontrar con estos parámetros el centro de masas del sistema de tal manera que todo quede balanceado en el tubo cargador.

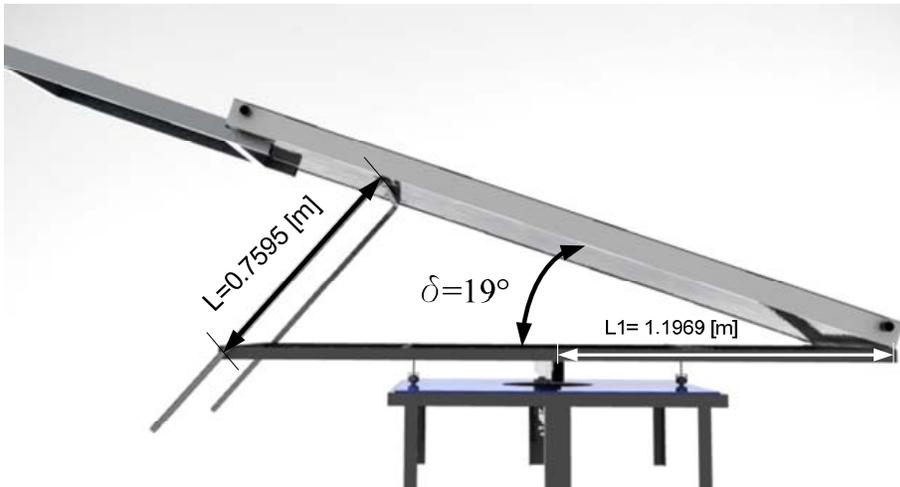
Para resolver la ubicación del centro de masas se hará uso del software de diseño *Solid Works* el cual proporciona la ubicación del centro de masas respecto a un sistema de coordenadas asignado.



**Figura 37: Posición del centro de masa de la estructura móvil.**

El centro de masa con respecto del sistema de coordenadas asignado se encuentra a  $0.1969[m]$  con respecto del eje X,  $0.43249 [m]$  respecto del eje Z y  $0.00017[m]$  respecto del eje Y.

Así que físicamente el prototipo tiene que estar montado a una distancia  $L1=1.1969 [m]$  para garantizar su equilibrio en el tubo cargador.



**Figura 38: Parámetros para garantizar el equilibrio en la estructura móvil.**

El problema particular se encuentra resuelto, pero que pasa si se lleva el prototipo a una región donde cambie el ángulo de latitud, se tendrán que estar calculado estos parámetros definiendo el ángulo de latitud.

La siguiente tabla muestra los parámetros de equilibrio para algunas latitudes representativas en la Republica Mexicana obtenidas del INEGI.

**Tabla 2: Parámetros de equilibrio para diferentes latitudes**

Estado	Latitud norte	L [m]	L1 [m]
Chiapas	17°	0.7007	1.211
Morelos	19°	0.7450	1.197
Querétaro	21°	0.7912	1.184
Veracruz	22°	0.8149	1.173
Guadalajara	22°	0.8149	1.173
Tepic	23°	0.8389	1.164
San Luis Potosí	24°	0.8632	1.155
Durango	26°	0.9235	1.137
Sinaloa	27°	0.9376	1.127
Monterrey	27°	0.9376	1.127
Chihuahua	31°	1.0393	1.085
Baja California Norte	32°	1.0651	1.074

### Base fija

Este componente es el que le brinda soporte y movimiento al captador y a los paneles fotovoltaicos.

Se compone de los siguientes elementos:

- Estructura de soporte.
- Rodamiento cónico.
- Catalinas
- Cadenas
- Motor a pasos
- Ejes de transmisión
- Baleros para ejes de transmisión.

La estructura de soporte se fabricó de ángulo de 1 ½ pulgadas, en la parte central de la base se colocó un banco con ángulos encontrados ya que será la parte del eje central donde se soportaran las masas totales del sistema.



**Figura 39: Estructura de soporte.**

Para poder mover las masas era necesario tener un componente que soportara las masas y permitiera girarlas, para este fin surgieron varias sugerencias.



**Figura 40: Base giratoria**



**Figura 41: rodamiento de bolas axiales**



**Figura 42: rodamiento cónico**

Las tres opciones soportan la carga de las masas que se están manejando y permiten el giro de las mismas

La base giratoria y el rodamiento de bolas axiales permiten cargas solo en una dirección y no deben someterse a ninguna carga radial.

El rodamiento cónico es adecuado para soportar cargas combinadas (radiales y axiales), es por ello que se decide la incorporación de este rodamiento ya que el captador está expuesto a fuerzas radiales debidas a las rachas de viento, además de que permite liberar al eje central de cargas tanto axiales como radiales, permitiendo mover con bajo torque al panel y

### METODOLOGIA

a todos sus componentes. El rodamiento cónico permite una excelente alineación del eje central únicamente incorporando un rodamiento de bolas dentro del rodamiento cónico.

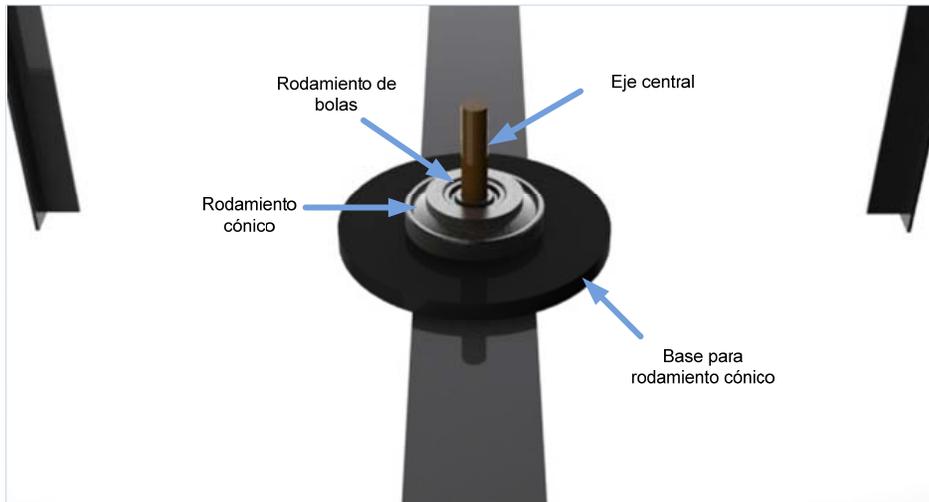


Figura 43: Rodamiento cónico y sus elementos.

### Sistema de transmisión de movimiento

Para la transmisión de potencia se tomo en cuenta el costo de las diferentes opciones, entre un cabezal con reducción de engranes, un tornillo sin fin corona y una transmisión cadena catalina, la más económica es la transmisión cadena catalina con la desventaja de que en estas transmisiones hay que alinear y fijar muy bien los ejes de trasmisión de tal manera que entre las cadenas y la catalina exista poco juego.

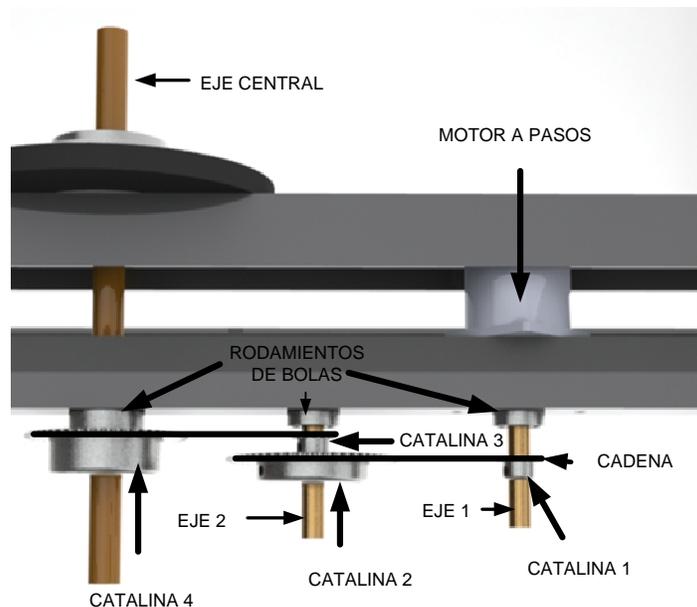


Figura 44: Composición de la transmisión catalina-cadena.



La reducción de la velocidad con el arreglo anterior queda de la siguiente manera:

Para la transmisión de movimiento en catalina cadena se toman en cuenta en número de dientes de la catalina y su velocidad. Una catalina funciona como conductora y otra es conducida.

$N_i$  = Velocidad en rpm de la catalina

$D_i$  = Número de dientes de la catalina

Las ecuaciones de la transmisión son:

$$N_1 * D_1 = N_2 * D_2 \dots (1)$$

$$N_3 * D_3 = N_4 * D_4 \dots (2)$$

Como en el eje 2 se encuentran instaladas la catalina 2 y 3 estas tendrán la misma velocidad.

$$N_2 = N_3 \dots (3)$$

De la ecuación (1) despejamos  $N_2$

$$N_2 = N_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right) \dots (4)$$

De (2) se despeja  $N_4$

$$N_4 = N_3 \left( \frac{D_3}{D_4} \right) \dots (5)$$

Con la relación de la ecuación (3) sustituimos en (4) y se obtiene

$$N_3 = N_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right) \dots (6)$$

Sustituyendo (6) en (5)

$$N_4 = N_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right) \left( \frac{D_3}{D_4} \right) \dots (7)$$

$N_4$  es la velocidad en rpm del eje central y  $N_1$  es la velocidad que se puede controlar en el motor a pasos. Si el cociente entre la velocidad de salida y la de entrada es menor a 1 indica que existe una reducción de la velocidad.

Datos:

$D_1 = 13$  dientes

$D_2 = 56$  dientes

$D_3 = 13$  dientes

$D_4 = 52$  dientes

Sustituyendo en (7)

$$\frac{N_4}{N_1} = \left(\frac{13}{56}\right) \left(\frac{13}{52}\right) = 0.058 \dots (8)$$

$0.058 < 1$  existe *reducción de velocidad*

La característica de este tipo de transmisiones es que se reduce la velocidad cosa que es necesaria para el proyecto y además aumenta el torque a la salida.

Para conocer el aumento del torque o par en la flecha de salida se realiza un análisis de fuerzas con la cual será posible saber cuál es el par suficiente para mover nuestro sistema.

Para empezar primero se analiza el eje 1 de entrada y su relación con el eje 2.

La potencia y par de la transmisión se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$P = T * V \dots (9)$$

$$T = F * d \dots (10)$$

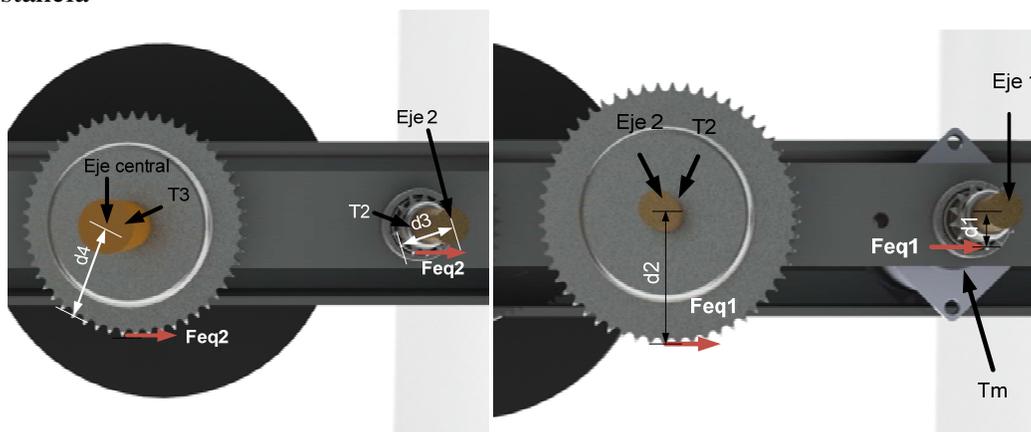
Donde

P=potencia

T=par

V=velocidad

d=distancia



**Figura 45: Análisis de par y de fuerzas en los ejes.**

Lo que se conoce para iniciar el análisis es el par dinámico que entrega en motor, por los datos que da el fabricante, a este par le llamaremos  $T_m$ .

En el eje 1 que alberga al motor el par es el mismo en todos los componentes que del eje, por tanto la catalina 1 tiene el par  $T_m$ , lo que varía es la fuerza que se aplica a diferentes distancias desde el centro del eje, entre más lejana sea la distancia menos fuerza aplicada. Si se obtiene la fuerza aplicada en un extremo de la catalina 1 llamada  $F_{eq1}$ , esta fuerza será transmitida por la cadena hasta la catalina 2, con la distancia del centro del eje 2 hasta el



## METODOLOGIA

punto donde se aplica la  $F_{eq1}$  es posible obtener el par  $T2$  aplicado en el eje 2. En el eje 2 se alberga la catalina 3 la cual tiene el par  $T2$  con la distancia  $d3$  se obtiene la  $F_{eq2}$  que se transmite con la cadena hasta la catalina 4 con la distancia  $d4$  se obtiene el par  $T3$  que es aplicado en el eje central. Finalmente es posible conocer la fuerza  $F_m$  que mueve al captador con la distancia a la que se encuentra montada la estructura móvil.

$$F_{eq1} = \frac{Tm}{d1} \dots (11)$$

$$T2 = F_{eq1} * d2 \dots (12)$$

$$F_{eq2} = \frac{T2}{d3} \dots (13)$$

$$T3 = F_{eq2} * d4 \dots (14)$$

$$Fm = \frac{T3}{d5} \dots (15)$$

Finalmente sustituyendo (11) en (12) y luego en (13) y así sucesivamente se obtiene:

$$Fm = \frac{Tm * d2 * d4}{d1 * d3 * d5} \dots (16)$$

Datos:

$$Dd1=0.014 \text{ [m]}$$

$$Dd2=0.0575 \text{ [m]}$$

$$Dd3=0.014 \text{ [m]}$$

$$Dd4=0.0525 \text{ [m]}$$

$$Dd5=0.5 \text{ [m]}$$

El motor que se utilizó para el proyecto es un motor a pasos con las siguientes características según el fabricante.

Tabla 3: Propiedades del motor a pasos.

Modelo	Rango de voltaje [V]	Rango de corriente [A]	Resistencia del Devanado [ $\Omega$ ]	Torque de retención [g*cm]	Inductancia [mH]	Inercia del Rotor [g*cm <sup>2</sup> ]	Torque dinámico [g*cm]	Masa [g]
231m-c047-04V MINEBA CO. LTD.	4.7	1.5	3.1	5200	6.1	160	600	540



## METODOLOGIA



De la tabla anterior lo que nos interesa es el torque o par dinámico.

$$Tm = 600[g * cm] * \frac{1}{1000} \left[ \frac{kg}{g} \right] * \frac{1}{100} \left[ \frac{m}{cm} \right] = 0.006 [kg * m]$$
$$Tm = 0.006 [kg * m] * 9.78 \left[ \frac{m}{s^2} \right] = 0.0587 [N m]$$

Con los datos anteriores calculamos la Fm de la ecuación (16)

$$Fm = \frac{0.0587 * 0.0575 * 0.0525}{0.014 * 0.014 * 0.5} [N m] \left[ \frac{m^2}{m^3} \right] = 1.8082 N$$

Esta fuerza es suficiente para mover al captador y a todos sus componentes.

Para poder obtener la potencia que entrega la reducción es necesario conocer la velocidad de entrada, para esto es necesario calcular la velocidad en función de la trayectoria que seguirá el prototipo, que es un movimiento circular uniforme y viene dado por la siguiente ecuación.

$$\alpha = \alpha_0 + \omega t \dots (17)$$

Donde  $\alpha$  es el ángulo recorrido,  $\omega$  es la velocidad angular constante, t el tiempo y  $\alpha_0 = 0$ .

El captador tiene que recorrer  $180^\circ$  en 12 horas ósea  $\alpha = 15^\circ$  cada hora en el eje de salida.

Se obtiene entonces la velocidad que se debe cumplir en el eje de salida con la ecuación (17).

$$\omega_s = \frac{0.2618 [rad]}{3600 \left[ \frac{s}{s} \right]}$$

De la ecuación (8) se obtuvo la relación en RPM de las velocidades en el reductor, con esta relación y la velocidad en el eje de salida es posible conocer la velocidad de entrada que debe generar el motor.

$$N_4 = \frac{0.2618 [rad]}{3600 \left[ \frac{s}{s} \right]} * \left[ \frac{60s}{1min} \right] * \left[ \frac{1rev}{2\pi rad} \right] = 7.2722e - 005 \left[ \frac{rev}{min} \right]$$
$$N_1 = \frac{0.2618 * 60}{3600 * 2\pi * 0.058} \left[ \frac{rev}{min} \right] = 0.012 \left[ \frac{rev}{min} \right]$$

El motor con el que se cuenta entrega  $1.8^\circ$  por cada paso, con el dato de  $N_1$  se puede calcular el tiempo en que se debe dar un paso al motor para cumplir con la velocidad de salida.

$$t = \frac{0.0314 [rad] * 60}{2\pi * 0.012 \frac{rad}{s}} = 24.98s$$

### METODOLOGIA

La potencia que entrega nuestra transmisión se calcula considerando la velocidad a la salida del reductor y el par T3.

$$T3 = \frac{0.0587 * 0.0575 * 0.0525}{0.014 * 0.014} = 0.9041 [N m]$$

$$P = 0.9041 * \frac{0.2618}{3600} = 6.5748e - 005 [Watts]$$



Figura 46: Estructura móvil instalada en el techo del CCADET



Figura 47: Sistema fabricado para la transmisión de movimiento.



## Sistema electrónico

Este sistema es el encargado de establecer las interfaces entre los dispositivos periféricos del sistema, como son sensores de temperatura, presión, motor, bomba y una computadora para la descarga de datos.

La tarjeta debe ser capaz de comandar al motor a pasos para el seguimiento acimutal del sol y llevar el control de la parte hidráulica.

Para el control acimutal del sol será necesario contar con un reloj que indique el día y la hora, con este dispositivo y las relaciones astronómicas del sol con la tierra, podrá llevarse a cabo de manera precisa el seguimiento solar, mas adelante dan los detalles de este apartado.

El control de la parte hidráulica consiste en monitorear los sensores de temperatura y presión instalados en el sistema ya que con esta información se tomará la decisión del apagado y encendido de la bomba hidráulica.

En la Figura 48 se muestra el diagrama de bloques del sistema electrónico.

Para la alimentación de la tarjeta, se cuenta con dos paneles fotovoltaicos estos transforman la radiación solar en energía eléctrica, de esta manera, los paneles constantemente están recargando una pila encargada de suministrar energía a la tarjeta electrónica, entre la pila y los paneles fotovoltaicos existe un dispositivo encargado de controlar la carga de la pila, lo que hace es que cuando hay demasiada radiación y la pila está lo suficientemente cargada disipa la energía que sobra en forma de calor y de esta manera le da más esperanza de vida a la pila. Estos dispositivos fueron adquiridos para el sistema sin necesidad de diseñarlos o fabricarlos.

Se cuenta con tres sensores de temperatura, los requerimientos para estos instrumentos es que soporten las temperaturas máximas que alcanza el sistema, para el proyecto se supone una temperatura máxima de 120°C.

Los termopares que se instalaron para el sistema son tipo J, con rango de temperaturas de 0°C hasta 400°C. Para el manejo de las señales que entregan estos termopares se encontró un dispositivo electrónico el AD596AH, este dispositivo permite acondicionar la señal que entrega el termopar.

Cuando dos metales diferentes se unen en un punto y este es calentado se produce en ese punto un Voltaje que es filtrado y amplificado por el dispositivo AD596AH para una mejor interpretación por el microcontrolador en el anexo se muestra la hoja de especificaciones de este dispositivo.

La necesidad de conocer las presiones generadas en el circuito primario es para conocer las cargas a las que están sometidos los accesorios y el circuito en general. Conocer las presiones del circuito primario siempre en un intervalo de tiempo permite saber los horarios en los que se generan las presiones máximas y su relación con la temperatura del sistema.

El sensor que se utiliza para este fin es un sensor Burkert 8314, este sensor genera una señal de corriente que va de 4 a 20 [mA] en un rango de presiones de 0 a 16 bar. El acondicionador de señal para este dispositivo es una resistencia de 250[Ω], cuando el sensor tenga 0 bar el voltaje que llega al microcontrolador será de 1 V y si es de 16 bar (presión máxima que soporta el sensor) al microcontrolador llegarán 5V, con esta información es posible interpolar los valores que se encuentran en medio de estos valores.

### Tarjeta electrónica

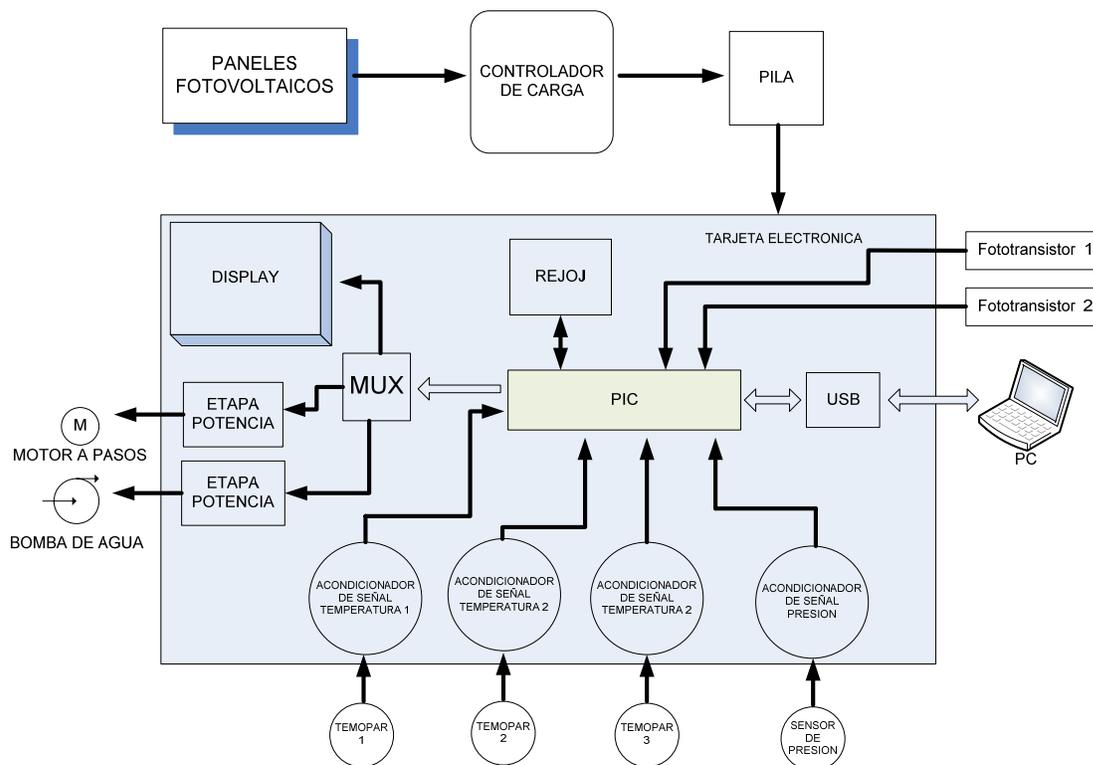


Figura 48: Diagrama de bloques de la tarjeta electrónica.

El motor a pasos que se utiliza es alimentado a 12[V] y maneja una corriente de 1.5 [A] por bobina, bajo estas características la etapa de potencia para este motor es controlada por el dispositivo L298 el cual soporta corrientes de hasta 4 [A].



## METODOLOGIA

Para conocer la posición del prototipo al empezar y finalizar el día fueron montados dos sensores ópticos el H21A1, su función es que cuando un material opaco se interpone entre el emisor y el receptor del este genera una señal que es interpretada por el microcontrolador para conocer el inicio ó fin la trayectoria acimutal del sol en el prototipo.

La bomba hidráulica maneja un motor de corriente directa alimentado nominalmente por 12[V] y que maneja hasta 3.5 [A]de corriente máxima, el dispositivo L298 es también apto para la etapa de potencia de la bomba hidráulica.

El reloj es el DS1307, tiene una comunicación con el microcontrolador vía I<sup>2</sup>C, a este dispositivo se le programa una sola vez la fecha y hora, con una pila de 3V se mantiene trabajando ininterrumpidamente para que en el momento que se le solicite proporcione la fecha y hora actualizados.

El dispositivo 74LS273 funciona como un multiplexor de señales, a este dispositivo se le comanda con una señal de control y dependiendo de esta señal se envía información al *display*, bomba ó motor.

Un modulo usb es utilizado para la comunicación entre el microcontrolador y una PC, este modulo es necesario para la descarga de datos de temperatura y presión del sistema.

El microcontrolador que se utiliza para llevar a cabo las tareas de control es el PIC18F4550, a continuación se mencionan las características principales del dispositivo:

- Frecuencia máxima de operación de 48 MHz.
- Memoria Flash de 32 Kbytes.
- Memoria RAM de 2 Kbytes.
- Memoria EEPROM de 256 bytes.
- 20 Fuentes de interrupción.
- Encapsulado de 40 ó 44 pines, 35 son de entrada-salida divididos en 5 puertos (A, B, C, D, E).
- Un temporizador de 8 bits y tres de 16 bits.
- Módulo CCP de 16 bits para comparación, captura y generación de señal PWM de 10 bits.
- Módulo MSSP para comunicación I<sup>2</sup>C o SPI.
- Módulo USART.
- Módulo USB.
- Trece canales de conversión analógico digital, con resolución de 10 bits.
- Dos comparadores.
- Voltaje de operación entre 2 y 5.5 Volts.
- Arquitectura de 8 bits.
- Oscilador interno configurable entre 32 kHz y 8 MHz.
- Prioridad en interrupciones.
- Watchdog Timer.
- Detección de Voltaje Alto-Bajo.

A continuación se presenta el diagrama de conexiones del PIC con todos los dispositivos.

En el apartado de anexo se muestra el esquemático completo para la elaboración de la tarjeta electrónica.

DIAGRAMA DE CONEXIONES

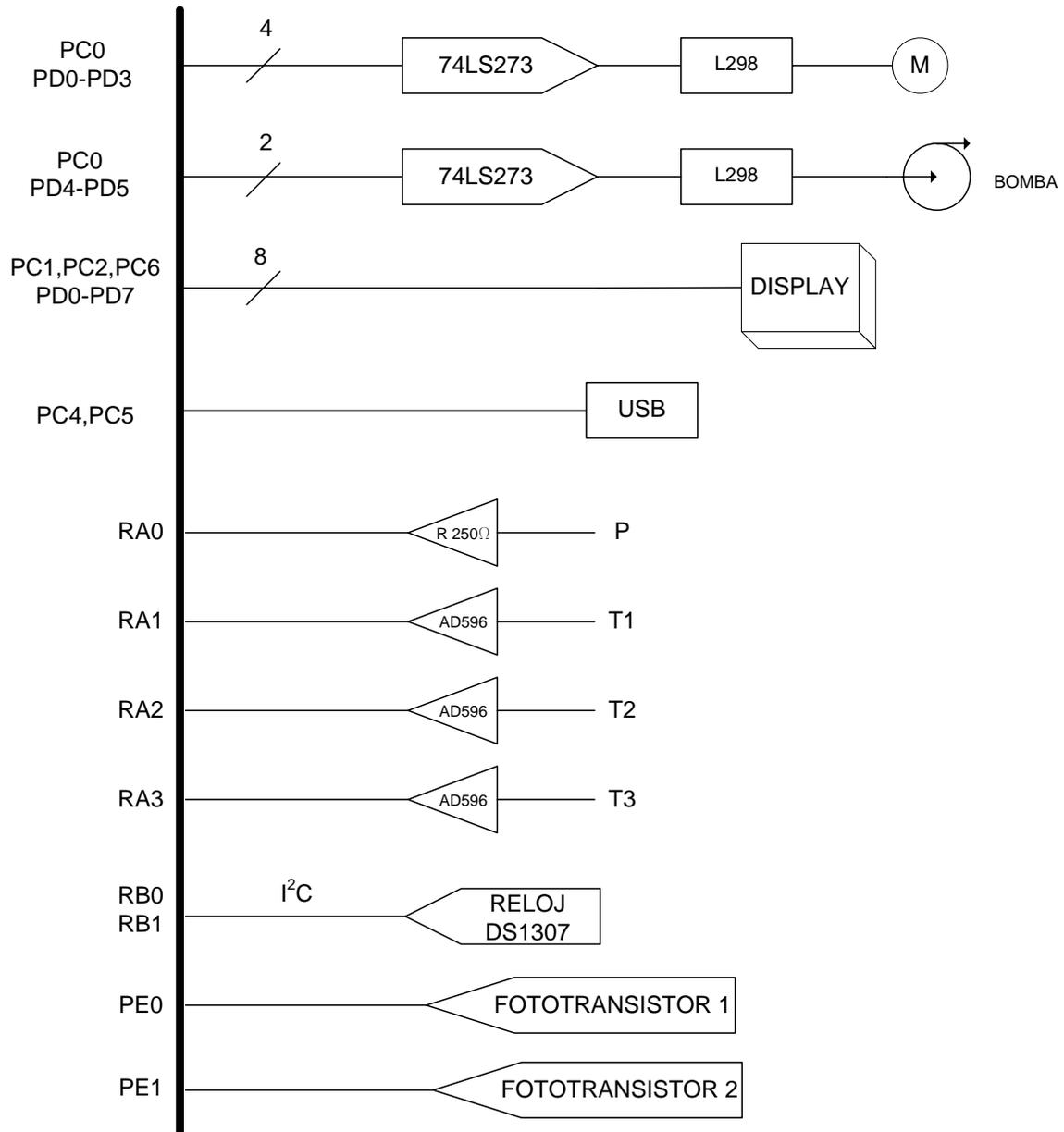




Figura 49: Tarjeta electrónica con actuadores.

### Programación y control

La programación del microcontrolador está basada en la plataforma PIC C, y se utiliza una interfaz gráfica programada en Visual Basic C++.

### Programa controlador del sistema hidráulico

El sistema de control de una instalación solar asume la función de regular los flujos de energía entre captador solar, el termostanque y el consumo.

El control del proceso de carga térmica en el termostanque tiene la misión de regular la conversión de la radiación solar en calor y de transferirla de manera eficaz al acumulador.

Las temperaturas del circuito primario se deben mantener en un valor lo más bajo posible, a fin de lograr un alto rendimiento del captador.

Para las configuraciones sencillas como es nuestro caso es recomendable en general evitar el uso innecesario de controles complejos.

En la Figura 50; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el esquema del circuito primario y el acumulador solar con intercambiador de calor interno, también se presenta la posición de los sensores de control.

Para el control del sistema hidráulico se propone un control diferencial de temperaturas que es propuesto por (Peuser, Remmers, & Schnauss, 2005), la bomba de circulación (B) se enciende cuando la diferencia de temperaturas entre (T1) y la parte inferior del acumulador (T2) sobrepasa un valor determinado. La bomba se apaga cuando dicha diferencia alcanza un valor inferior a un valor especificado. Se recomienda el ajuste de un tiempo de operación mínimo de la bomba, a fin de que el circuito primario se estabilice.

Los valores típicos de conexión son, aproximadamente:

Diferencia de temperaturas de conexión:  $7^{\circ}\text{C}$

Diferencia de temperaturas de desconexión:  $2^{\circ}\text{C}$

Tiempo mínimo de funcionamiento de la bomba: 3 min- 5 min.

La transferencia de calor al acumulador comenzará en el mismo momento que la bomba de circulación arranca. En el *display* se podrán observar las tres temperaturas que se toman del sistema.

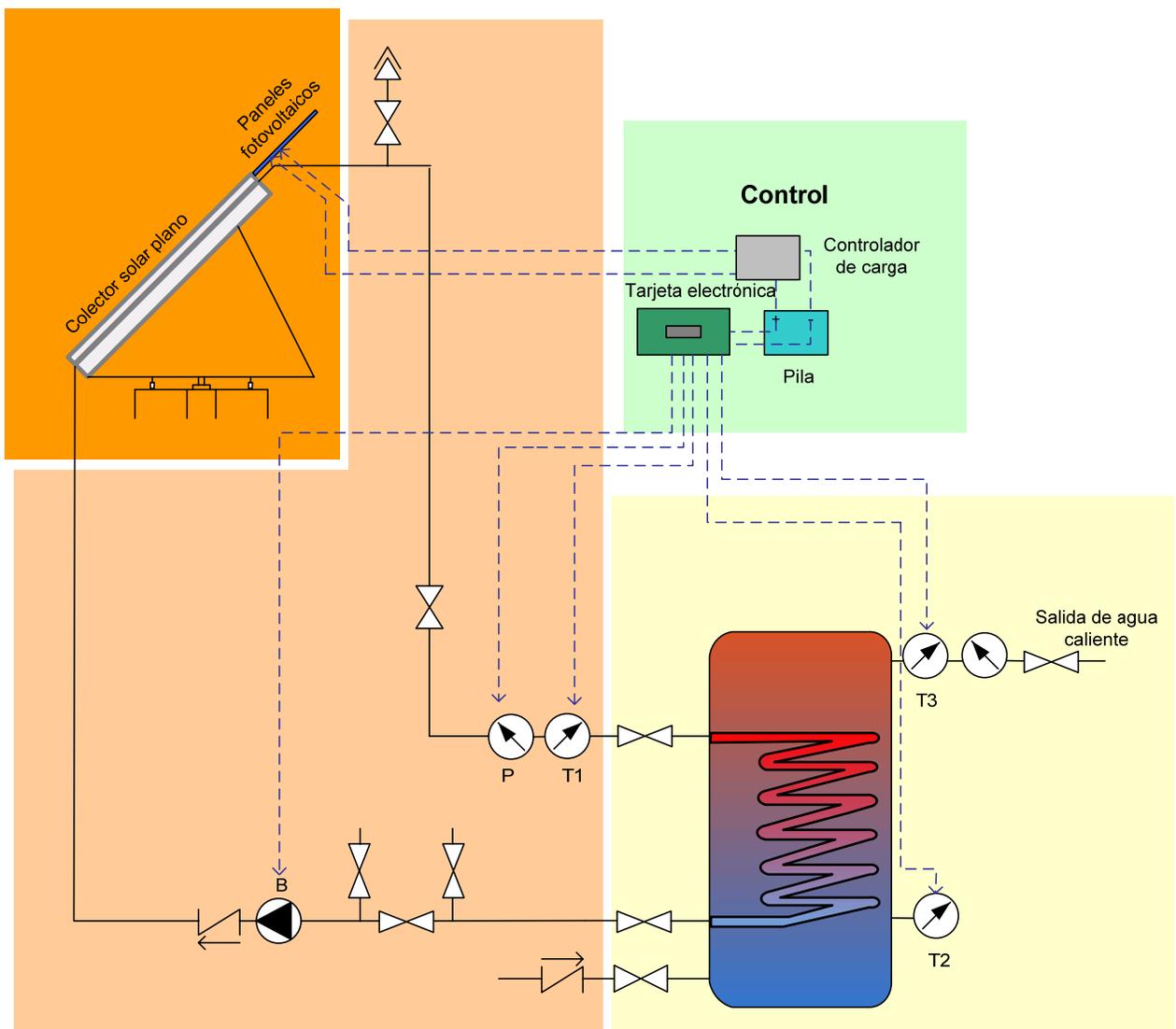


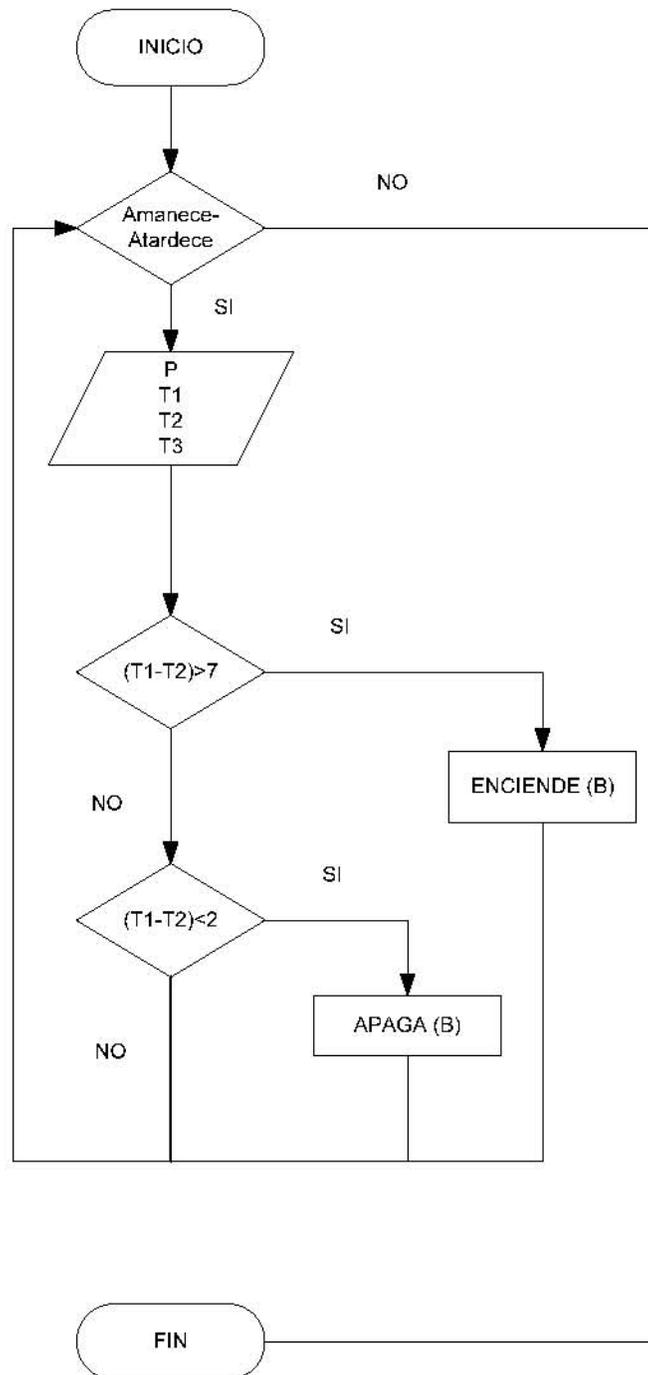
Figura 50: Esquema de control del circuito primario.



## METODOLOGIA



El diagrama de flujo para el control de la parte hidráulica queda de la siguiente manera:





## Programa seguidor de trayectoria solar

El programa seguidor de trayectoria solar empieza cuando el motor encuentra la posición de  $0^\circ$  al amanecer (*sunrise*) y termina cuando el motor encuentra la posición de  $180^\circ$  del prototipo al atardecer (*sunset*), cada día.

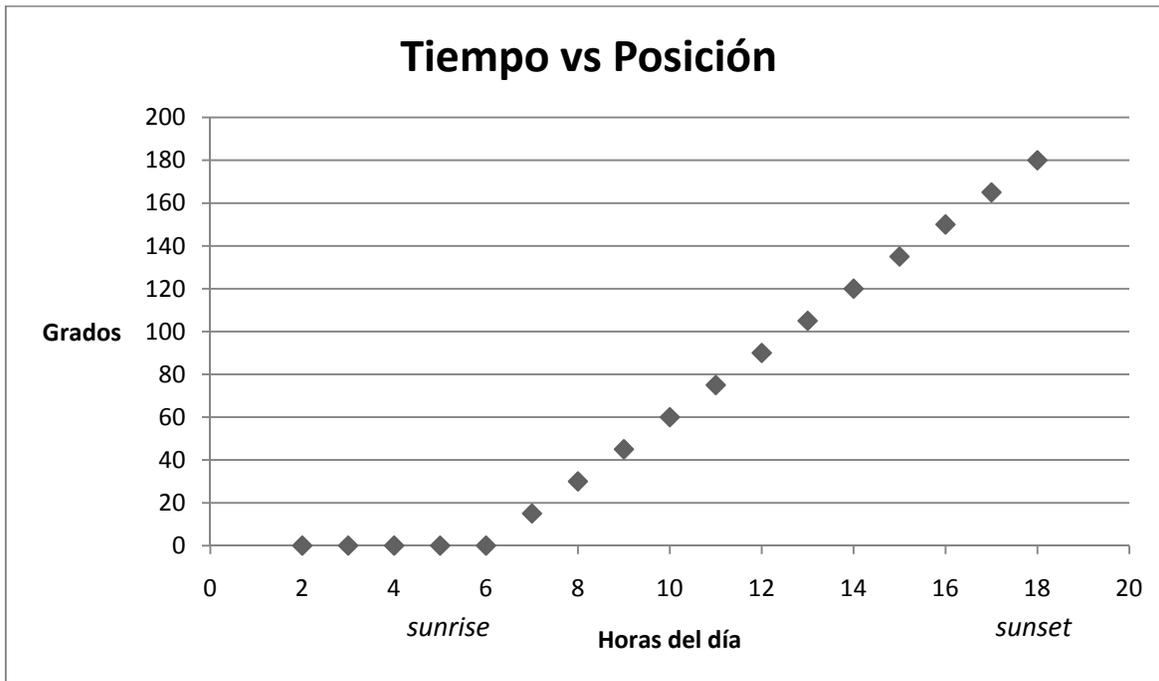


Figura 51: Posición vs Hora del día.

Matemáticamente la posición y la hora del día están relacionadas por la siguiente ecuación lineal, obtenida a partir de dos puntos conocidos de la recta.

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1)$$

$$posicion - 0 = \frac{180 - 0}{sunset - sunrise}(horadia - sunrise)$$

$$posicion = \frac{180}{sunset - sunrise}(horadia - sunrise) \dots (18)$$

Donde *sunset* y *sunrise* son horarios calculados para cada día por el algoritmo del observatorio naval náutico de los Estados Unidos Americanos (William n.d.), para mayor referencia de este algoritmo se puede consultar en el apartado de anexos.

El motor a pasos en su eje da 1 vuelta con 200 pasos.

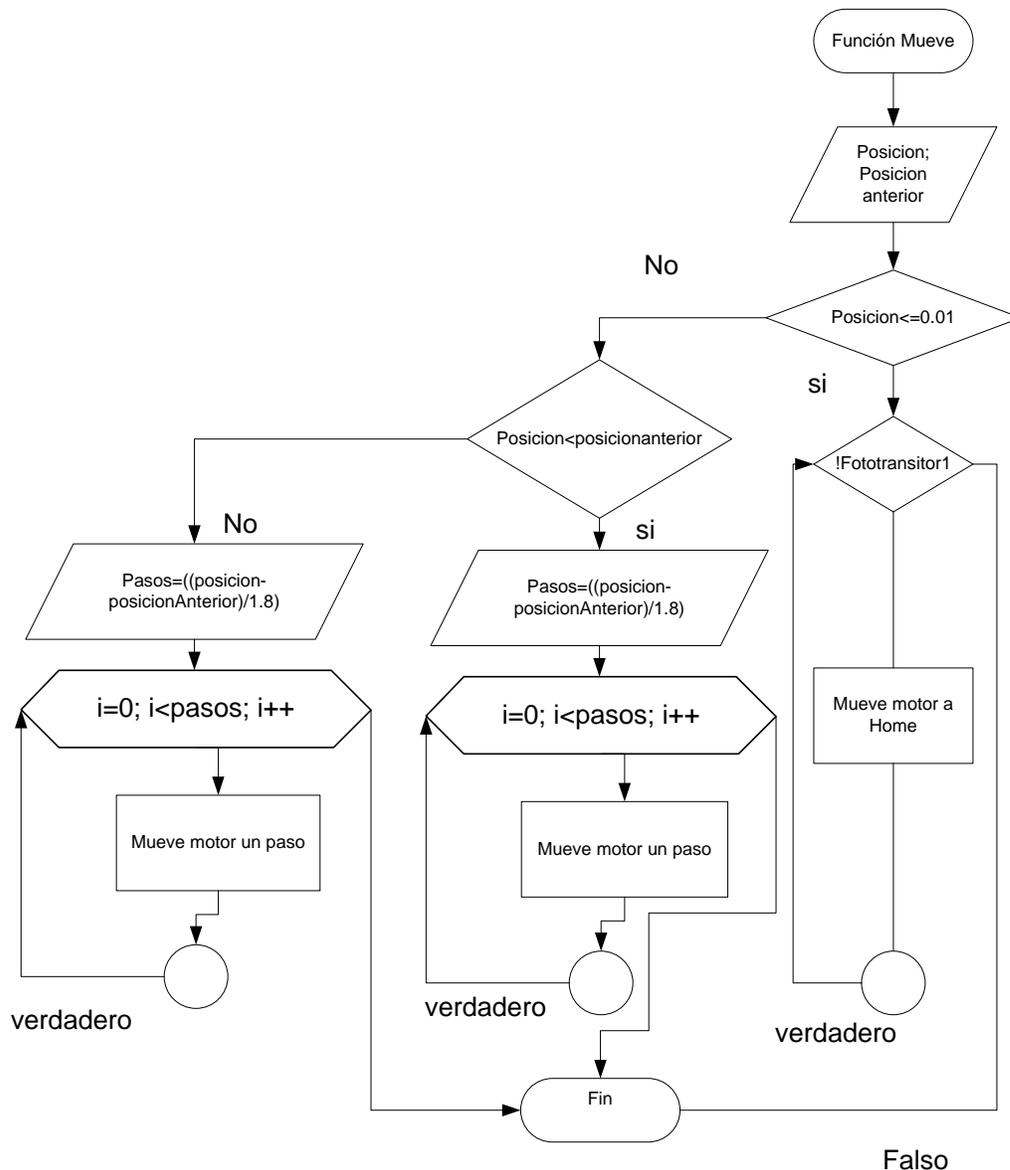
Para que el prototipo vaya de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  el motor tiene que dar un total de 1460 pasos ó sea 7.3 vueltas.



El tiempo de esos pasos estará marcado por el algoritmo de cálculo astronómico cada vez se calcule un error en la posición de  $15^\circ$  para el motor a pasos, hasta completar los  $180^\circ$  en el prototipo ósea el motor a pasos girara en total  $2628^\circ$ .

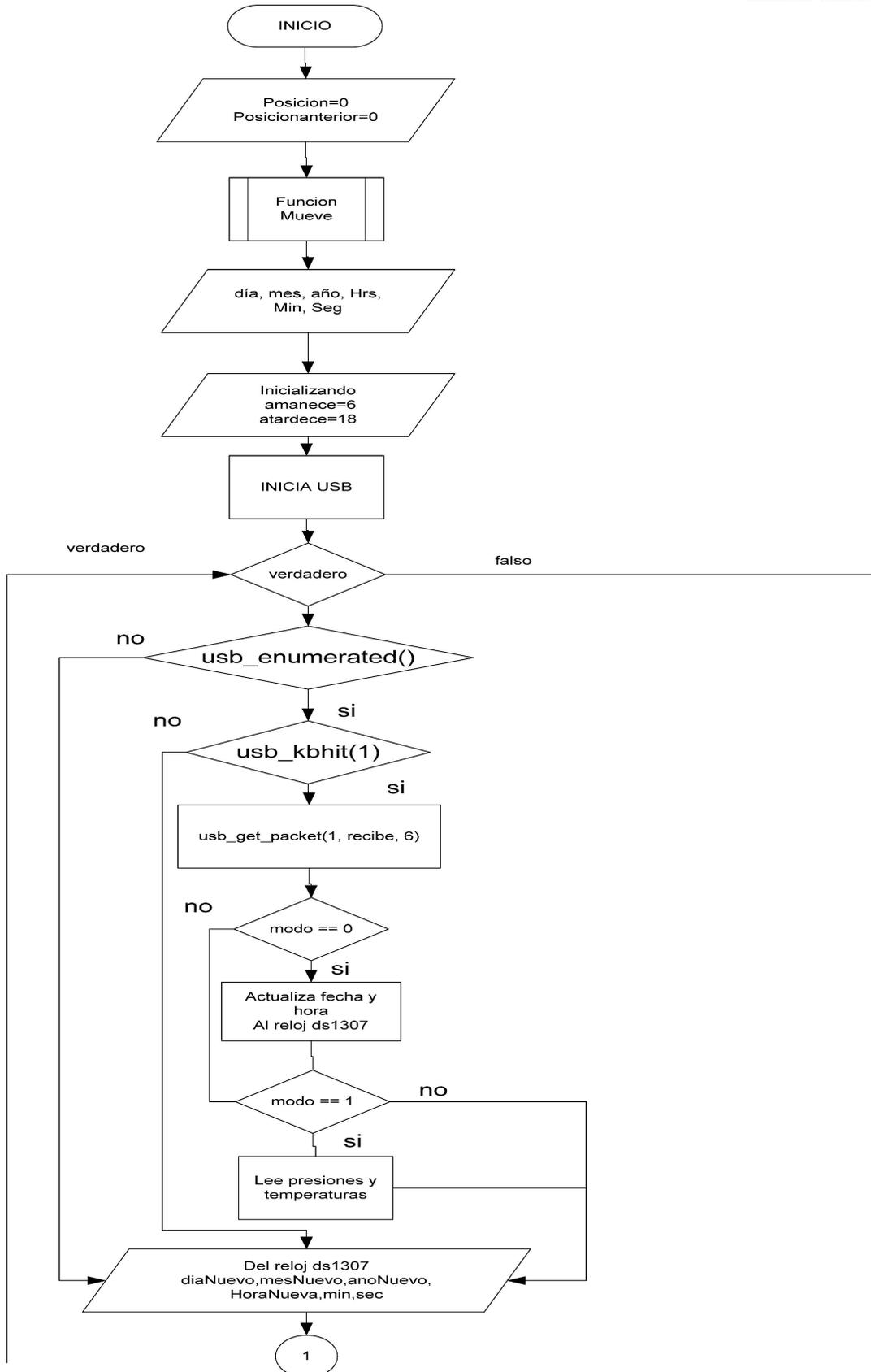
Al encender la tarjeta de control busca la posición cero del sistema y de ahí calcula la posición en la que debería estar el sistema y va hacia ella, ósea corrige la posición a pesar de no haber encendido el sistema a la hora en que amanece.

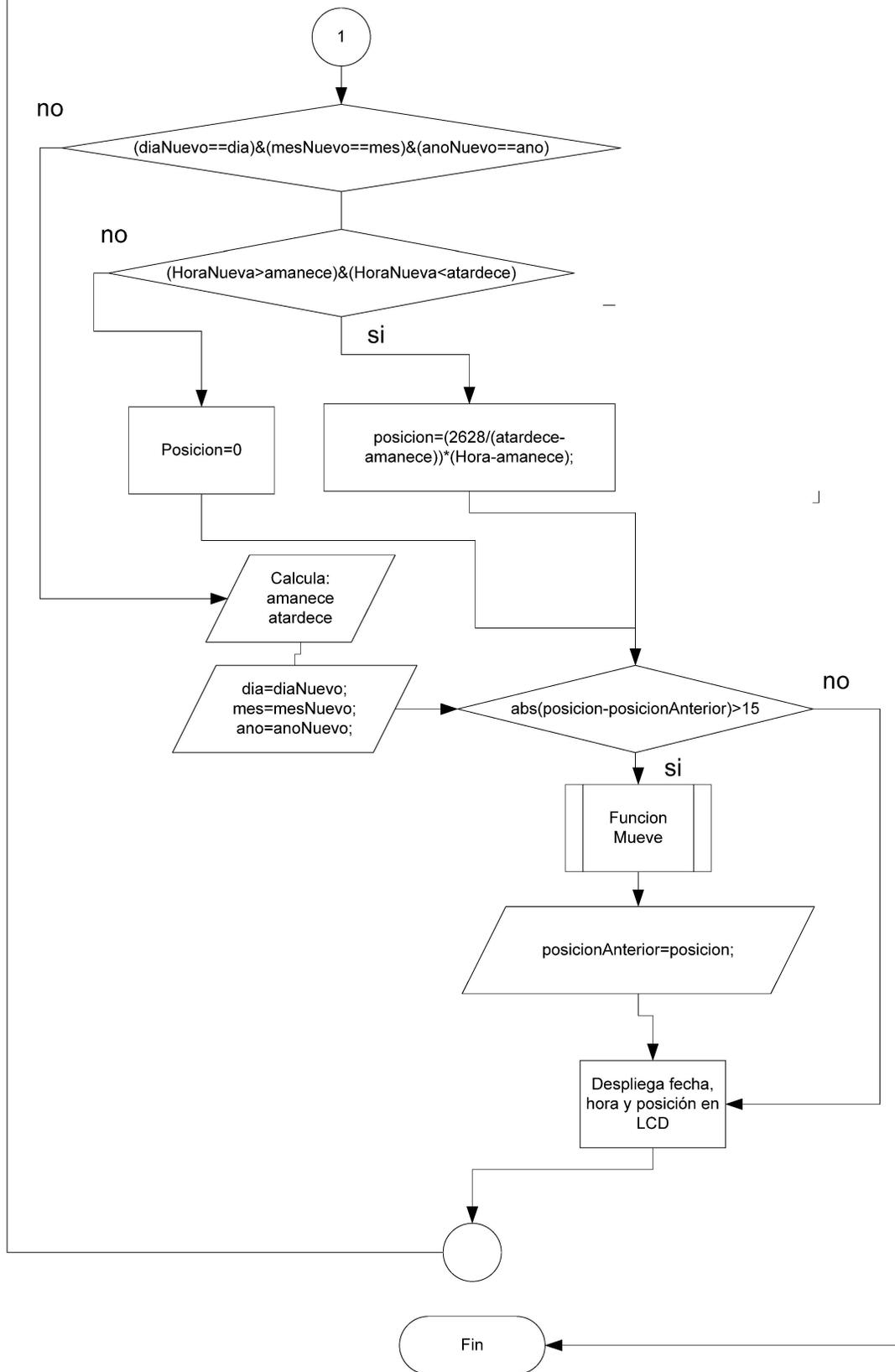
A continuación se presentan los diagrama de flujo del programa primero se muestra el encargado de mover el motor y posteriormente el programa principal. Para mayor referencia en el apartado de anexos es posible ver el pseudocódigo completo para estos diagramas.





### METODOLOGIA







## METODOLOGIA



El programa en Visual C++ está diseñado para que se muestree en cierto tiempo las variables de temperatura y presión en el sistema de tal manera que genera un archivo txt, con esos datos se elaborarán las graficas de resultados. El mismo programa permite en cualquier momento observar el dichas variables, además, permite enviar una fecha y modificar el estado del reloj de la tarjeta de control sin necesidad de reprogramar el microcontrolador.

Para controlar el llenado del circuito primario del sistema hidráulico se programan dos botones para el encendido y apagado de la bomba.

La forma siguiente es la que se encuentra programada para la Interfaz Usuario Maquina del sistema.

dia	19	Lee TSalida	22
mes	10	Lee Presion	1
año	12	Lee Hora	15
hora	8	Lee Minuto	35
minuto	35	Prende	Apaga
Envia fecha		Aceptar Cancelar	

Figura 52: Forma de Visual Basic del Sistema

## RESULTADOS

Una vez que se ha hecho la integración de todos los subsistemas del prototipo parte hidráulica, parte mecánica, electrónica y programación, se proponen dos pruebas finales en las cuales se pone a prueba el sistema contra si mismo, por un lado se deja funcionar al prototipo de forma estática (sin seguimiento) reportando la temperatura de salida y la hora del día, por otro se hace funcionar al sistema con seguimiento y reportando lo mismo, una vez realizadas estas pruebas se podrá hacer un análisis y discusión de resultados.



Figura 53: Integración de los subsistemas y pruebas del prototipo.

Las pruebas finales del prototipo se realizaron el día 24 de Octubre 2012 sin sistema de seguimiento y 25 de Octubre 2012 con sistema de seguimiento.

El horario de verano fue omitido ya que este representa una convención humana, no natural, por lo tanto el sistema y los datos meteorológicos no usan este horario.

Los datos meteorológicos se obtuvieron de la estación meteorológica del (Centro de Ciencias de la Atmosfera UNAM, 2012)

El día 24 de Octubre se colocó al panel solar con vista al sur como convencionalmente son colocados los sistemas de calentadores fijos.



Figura 54: Colector solar encapsulado de placa plana con vista al sur

Del sistema de control lo único que se desconectó fue el motor a pasos para que no hubiera seguimiento.

La gráfica siguiente muestra los resultados de las temperaturas para ese día.



## 24 Octubre Fijo

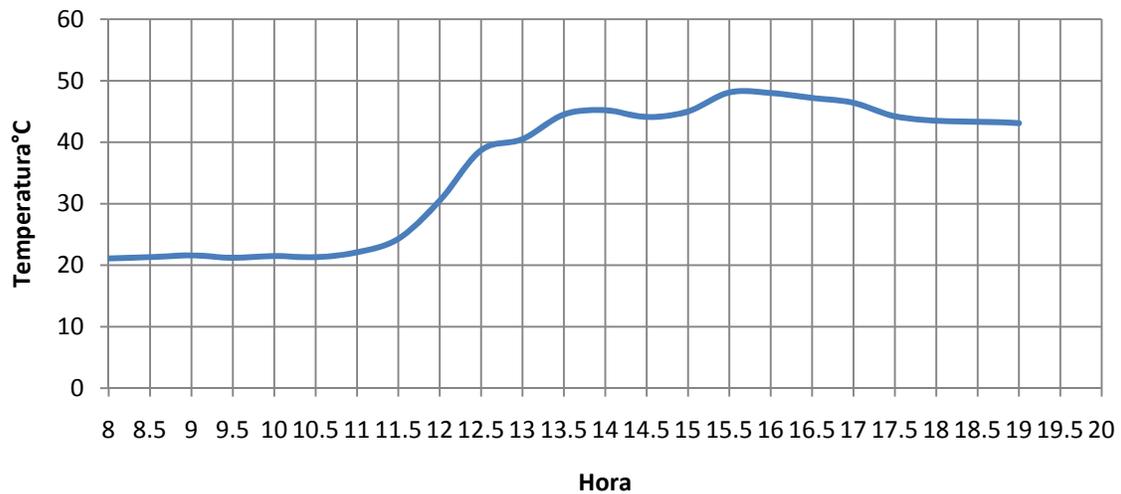


Figura 55: Resultados de las pruebas del sistema sin seguimiento.

La radiación para ese día se muestra en la siguiente gráfica

## Radiación Solar 24 Octubre

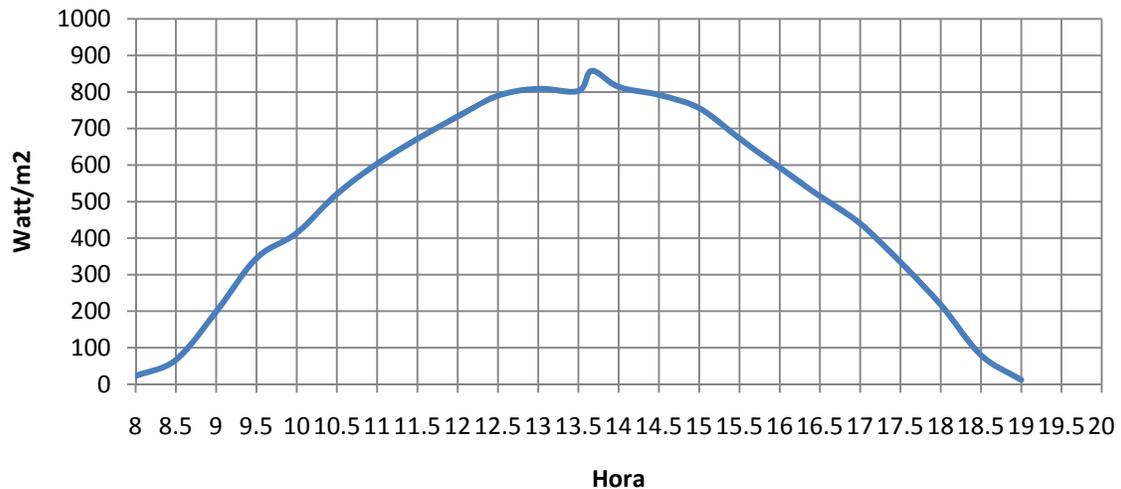


Figura 56: Radiación solar 24 Octubre 2012

En este día se logro alcanzar como temperatura máxima en el termotanque 48.1°C, al final del día el sistema reporto 43.1°C a las 19:00 h. Al día siguiente antes inicializar el sistema con seguidor solar, en el termotanque se reportaba la temperatura de 37.3°C con lo que se



puede apreciar una pérdida de temperatura durante la noche en el termotanque de aproximadamente 6°C.

Es interesante como se comporta el sistema en general ya que el intercambio térmico dentro del termotanque se da con un diferencial de temperaturas entre la parte baja del termotanque y la salida del panel solar si el diferencial de temperaturas entre estos es mayor a 7°C se enciende la bomba por lo cual existe intercambio térmico y el termotanque gana temperatura interna, por el intercambio térmico el panel solar se enfría, la bomba se apaga y se espera a que vuelva a calentarse el panel con un diferencial de 7°C para volver a encender la bomba, como el termotanque va ganando temperatura la parte baja del termotanque exige cada vez más una temperatura mayor en el panel y no se enciende la bomba hasta que se logre ese diferencial, de esta manera es como se va ganando más temperatura dentro del termotanque.

En la gráfica de la Figura 55 se logra observar como a las 15:30 h la bomba arranco por última vez la parte baja del termotanque tenía una temperatura de 40.2°C lo que implicaba lograr en el panel una temperatura mínima de 47.2°C y los alcanzo por eso es que de las 15:30 a las 16:00 h se mantuvo la temperatura de 48°C en la salida, después de esa hora como la radiación va en descenso y en el panel ya nunca se logró superar el diferencial de temperaturas. La temperatura en el termotanque desciende debido a que la parte más alta del termotanque cede energía a la parte baja, la temperatura en la parte baja del termotanque va aumentando mientras que la temperatura de salida disminuye.

El día 25 de Octubre se hace la descarga del termotanque que contenía el agua caliente de la prueba sin seguimiento, una vez descargada el agua caliente se arranca el sistema con todos los componentes de control incluido el motor a pasos.

Los resultados de las temperaturas para este día se muestran a continuación.

## 25 Octubre Seguidor

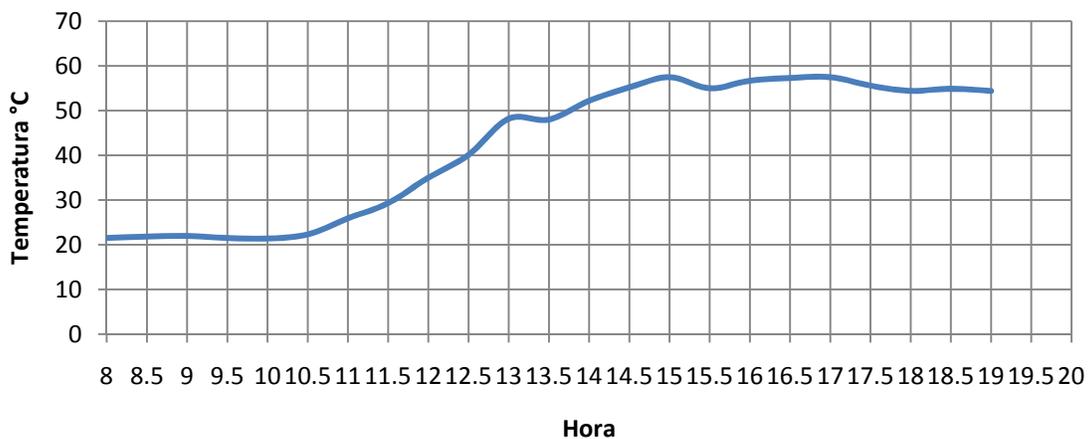


Figura 57: Resultados de las pruebas con seguimiento solar

## Radiación Solar 25 Octubre

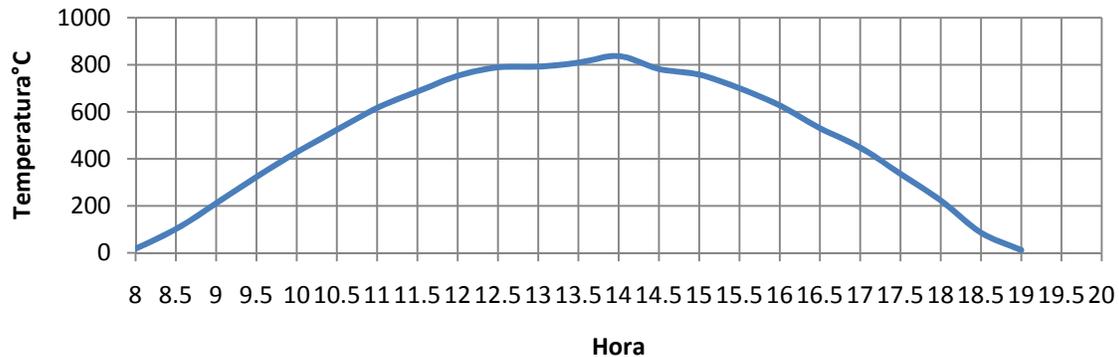


Figura 58: Radiación Solar 25 Octubre 2012

Con las graficas de las figuras anteriores se observa como el ascenso de la temperatura en el termotanque es más rápido obteniendo a las 12:45 h. 48.7°C se observa también que debido a que la radiación en ese horario se mantenía constante la bomba paro descende un poco la temperatura en el termotanque pero la radiación asciende para las 14:00 h la bomba se enciende e incrementa la temperatura de salida obteniendo 55.2°C a las 14:30 h. Dado que el colector recibe la radiación siempre de manera más directa en el colector por la tarde a pesar de que la radiación va en descenso se cuenta con un diferencial de temperaturas de control que permiten elevar un más las temperaturas alcanzando a las 17:00 h un máximo de 57.5°C de ese punto hacia adelante la temperatura de salida va en descenso.

A las 19:00 h que se paró el sistema la temperatura de salida se reportaba de 54.4°C. A las 8:00 h del día 26 de Octubre se muestreo la temperatura de salida y se reporto de 46.3°C, la pérdida fue de 8.1°C.

Dado que la radiación en los días de pruebas resulto ser muy similar es posible hacer un comparativo directo de las temperaturas de salida del sistema.

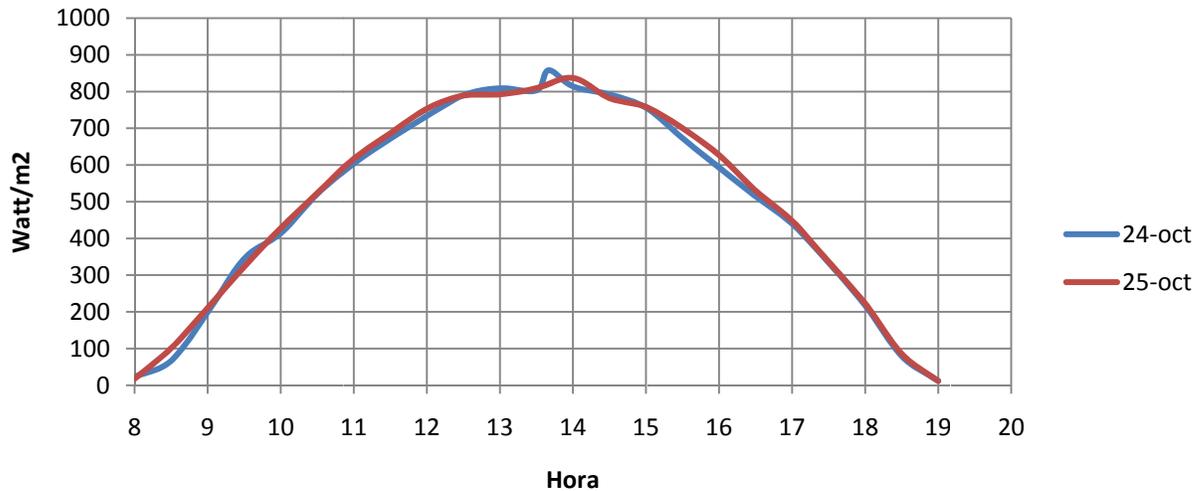


Figura 59: Comparativo de la Radiación solar

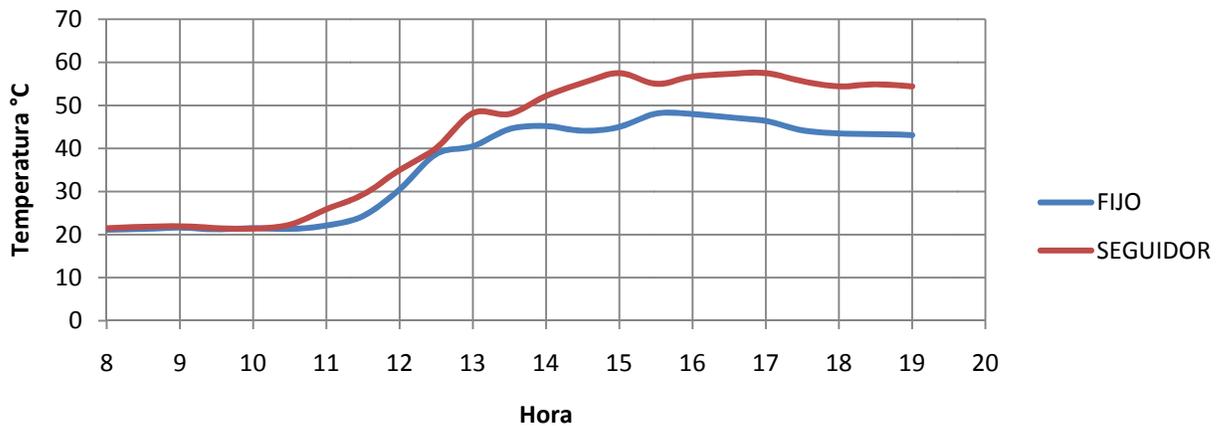


Figura 60: Comparativo de Temperatura de Salida

La razón por la que empiezan a ascender las temperaturas de salida en la Figura 60 hasta las 10:40 de la mañana es debido a una sombra de un árbol que le estaba dando al colector en ambos casos esta condición era la misma, desde esa hora la diferencia entre el seguimiento y el fijo se logra ver ya que se empieza a elevar más rápido la temperatura con el seguidor debido a su posición, el control diferencial de temperaturas hace que con el seguidor se mantenga una operación más constante en la bomba, para las 12:30 cuando la radiación empieza a ser máxima incluso el fijo casi logra igualar la temperatura de salida del seguidor la diferencia de que no haya mantenido su ascenso radica en que la parte baja del termotanque no se ha elevado lo suficiente para seguir ascendiendo la temperatura en el colector y por tanto la temperatura de salida en el termotanque. De las 13 hasta las 16 h es donde los sistemas logran sus temperaturas máximas, en el sistema seguidor se nota como asciende un poco la temperatura hacia las 17:00 h y eso es debido que la parte baja del termotanque tenía 44.8°C ósea que el colector para hacer intercambio alcanza 54.8°C que



## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

es una temperatura menor de la que tenía a la salida pero al calentar el fondo del termotanque hizo ascender un poco la temperatura de salida.

A groso modo es posible realizar una discusión del calor absorbido por el sistema si se toma en cuenta el incremento de la temperatura de salida al final de cada uno de los días, esto es posible ya que la temperatura ambiente para los días 24 y 25 de Octubre fue muy similar.

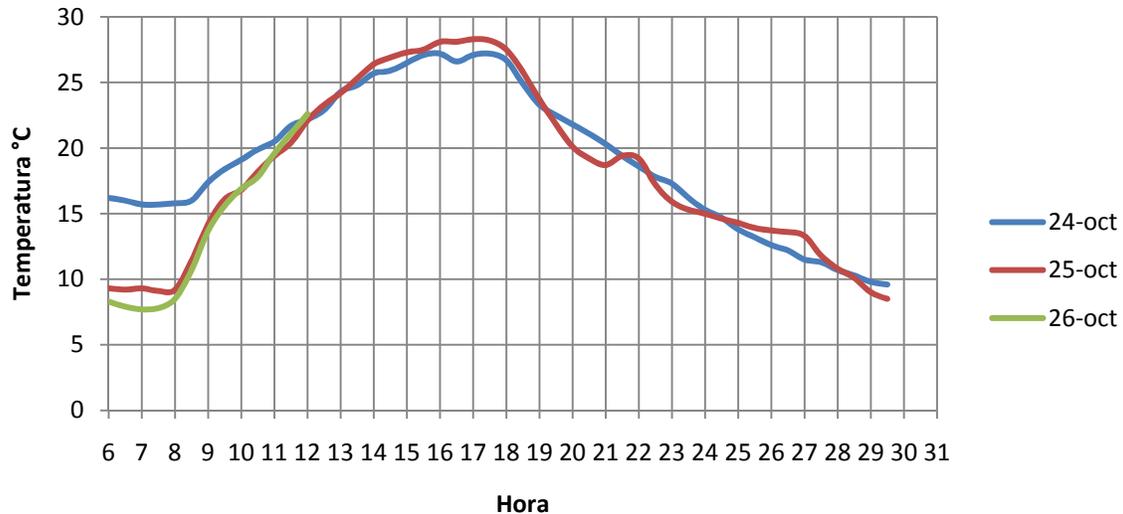


Figura 61: Temperatura ambiente.

Los litros contenidos en el tanque son 200 litros por lo tanto la masa calentada son 200Kg.

$$Q = m * c_p * \Delta T$$

Donde Q es el calor aportado al sistema, m es la masa del sistema,  $c_p$  calor específico y  $\Delta T$  el incremento en las temperaturas.

Para el día de las pruebas sin seguimiento el calor absorbido fue de:

$$Q_{fijo} = 200[Kg] * 1 \left[ \frac{Kcal}{Kg * ^\circ C} \right] * (43.3 - 21.1)[^\circ C] = 4440 Kcal$$

Para el día de las pruebas con seguimiento el calor absorbido fue de:

$$Q_{seguidor} = 200[Kg] * 1 \left[ \frac{Kcal}{Kg * ^\circ C} \right] * (54.4 - 21.5)[^\circ C] = 6580 Kcal$$

Un porcentaje de mejora en el sistema tomado en cuenta el calor absorbido sería:

$$mejora = 100 * abs\left(\frac{Q_{fijo} - Q_{seguidor}}{Q_{fijo}}\right)$$
$$mejora = 100 * abs\left(\frac{4440 - 6580}{4440}\right) = 48.19\%$$

Este porcentaje de mejora es representativo de que el sistema mostro mejor rendimiento con seguidor. Evidentemente no se puede hablar de un aumento en la eficiencia del 48% ya que para ello se tendría que homogenizar la temperatura dentro del tanque, tomar las temperaturas del medio ambiente y radiación en el sitio donde está montado el sistema, las rachas de viento para las perdidas, etc., pero deja visualizar que el sistema mejora mucho si se tiene un seguimiento solar.

El prototipo cuenta con un sensor de presión este fue incorporado ya que la teoría de los sistemas de calentadores solares activos indica que es necesario muestrear la presión en el circuito primario de tal manera que si existirán estancamientos de temperatura en el colector pudiera llegar a darse la evaporación en el circuito primario aumentando la presión y llegar a dañar las tuberías e instrumentación, en nuestro prototipo debido a que es un sistema pequeño de un solo colector difícilmente se logran grandes presiones, es por ello que la presión reportada en todo momento por el sensor de presión fue la de presurización del circuito primario y de la bomba siendo de 0.49 bar.

En cuanto al seguimiento solar del sistema se realizó un comparativo del seguimiento solar del sistema por un lado se gráfica los grados que debe de llevar el sistema y por otro los grados reales que tenía el prototipo, para esto se realizaron marcas de avance del prototipo sobre la base fija.

### SEGUIDOR

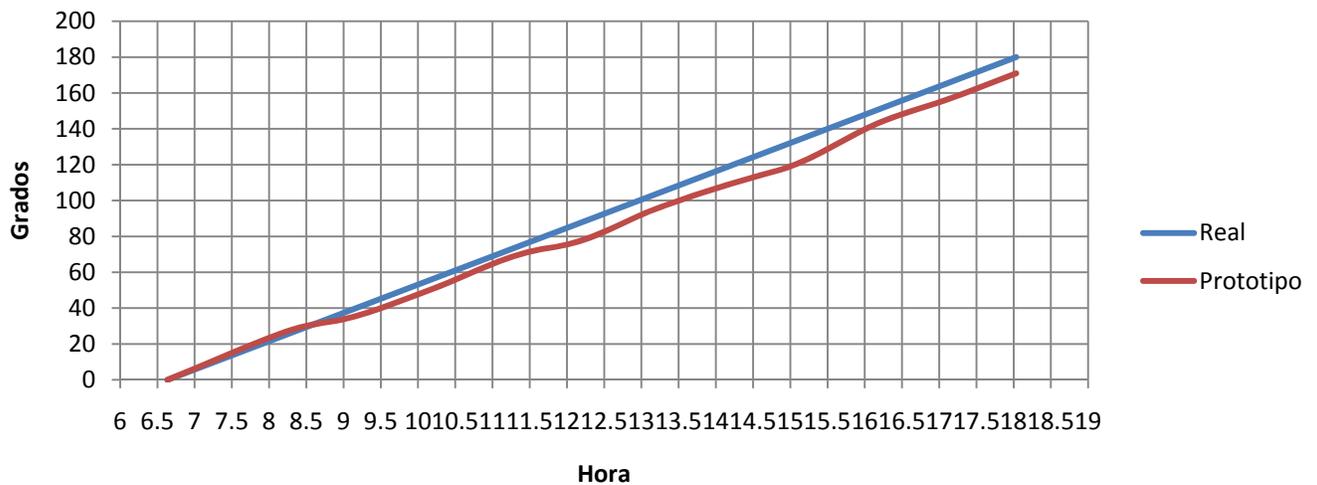


Figura 62: Resultados del Seguimiento solar

La Figura 62 muestra como el prototipo tuvo un buen arranque pero al medio día pierde al sol por casi 10° los cuales al final día no pudo recuperar. Existen dos grandes razones por las cuales el colector está perdiendo la posición programada.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La primera es que la transmisión catalina cadena quedo con un juego entre la catalina del motor y la primera reducción de casi  $2^\circ$  a la salida en el colector, lo que está ocasionando que el motor pierda algunos pasos antes de empezar a transmitir movimiento al colector.

La segunda es que el sistema tiene que vencer las fricciones del suelo provocadas por las mangueras del circuito primario que llevan el agua caliente del colector hacia el termotanque, una vez arrastradas estas mangueras permiten que el colector se mantenga en la posición actual.

El error de casi  $10^\circ$  perdidos en el seguimiento es mínimo si se considera que el sistema en general mostro buen funcionamiento, mejorando la transmisión catalina cadena con el que cuenta el prototipo es posible reducir el error ó programar más grados de avance en el motor a pasos pudiera reducir también el error, esto no se realizó ya que la idea es mostrar el funcionamiento del prototipo con todas sus ventajas y desventajas.

En las pruebas que se estuvieron realizando antes de estas últimas finales se dejo que ver los paneles fotovoltaicos están garantizando 4 días de uso constante del sistema de control a partir del cuarto día la pila se baja y se tiene que esperar hasta dos días para que se vuelva a cargar y permitir al sistema de control volver a encender. Con la incorporación de dos paneles fotovoltaicos adicionales se puede garantizar el trabajo constante del sistema.



Figura 63: Termotanque y conexiones



Figura 64: Tarjeta de control, *display*, controlador de carga de batería, bomba y PC para la descarga de datos

## CONCLUSIONES

El presente proyecto se ha realizado con el objetivo de contribuir al desarrollo tecnológico para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera.

Se ha logrado diseñar, construir y probar la funcionalidad de un calentador solar de agua activo que cuenta con un intercambiador de calor en el termotanque, posee un accesorio adicional en el colector que es un seguidor de trayectoria solar acimutal.

El sistema de hidráulico previsto en este trabajo ha permitido comparar un calentador solar de agua con sistema de seguimiento y sin seguimiento solar. El termotanque que se fabricó soporta una instalación hidroneumática, como es el caso de la instalación hidráulica del CCADET, esto es importante ya que no fue necesario realizar una instalación de un tanque de almacenamiento de agua para llenar al termotanque por gravedad.

El sistema mecánico que se diseñó para la transmisión de movimiento permite el la movilización del colector con su estructura y dos paneles fotovoltaicos, todo en conjunto tiene una masa de cerca de 65Kg ya con el circuito lleno del fluido de trabajo en el colector. Toda esta masa y fricciones de las mangueras hidráulicas están siendo movidas gracias al balero cónico, a la transmisión catalina cadena y al motor a pasos. El sistema mecánico también permite variar la inclinación del colector dependiendo de la latitud del lugar.

El sistema seguidor diseñado puede servir también para paneles fotovoltaicos debido a la capacidad de carga con la que cuenta.

La electrónica fabricada tiene un reloj en tiempo real para el cálculo de la posición del sol, maneja tres sensores de temperatura y un sensor de presión, controla motor a pasos y motor



## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

de corriente directa, un *display* para visualizar el proceso de temperaturas, hora actual y posición, la tarjeta tiene implementada una comunicación usb para descarga de datos.

La tarjeta electrónica diseñada puede controlar un sistema que contenga un campo de colectores solares y lograr una carga térmica de un termotanque con mayor capacidad ya que cuenta con la instrumentación para llevar a cabo esta tarea.

La programación con la que cuenta el sistema es un control por temperaturas que permite un funcionamiento adecuado de la bomba hidráulica para la carga térmica en el termotanque.

El algoritmo presentado para el seguidor funciona de manera adecuada el error presentado en el seguimiento son debidos a circunstancias físicas y mecánicas.

Para lograr un sistema autónomo energéticamente es necesaria la incorporación de dos paneles fotovoltaicos, esto es debido a que la potencia consumida entre el motor a pasos y bomba es mayor de la que pueden generar los dos paneles que se incluyen en este prototipo.

Las energías renovables como la radiación solar no son caras ya que están a nuestra disposición día con día, lo caro al momento son las tecnologías desarrolladas para el mayor aprovechamiento y la transformación de estas en energías útiles para el consumo humano.

Se ha dejado de manifiesto que con la inclusión del seguimiento solar se ha logrado una mejora del sistema de un 48%, implicando una inversión monetaria para este accesorio de \$8000 pesos. La inversión es plenamente recuperable con la tecnología renovable, lo que es invaluable es que el planeta (nuestro hogar) se va a ver beneficiado si se desarrollan tecnologías como el presente proyecto que buscan la disminución de la emisión de gases que afecten la composición química de la atmosfera y que provoquen desequilibrios ecológicos que pongan en riesgo la vida en la Tierra.

## TRABAJO A FUTURO

Un análisis termodinámico y de transferencia de calor sería muy útil para evaluar el proceso de carga térmica dentro del termotanque y con ello hacer propuestas de cómo se puede mejorar la eficiencia en el colector solar.

Con el prototipo funcional automatizado se puede sustituir el colector solar actual y montar uno con diferente parrilla de tal manera que sea posible comparar su funcionamiento con el presente trabajo.

Colocar en el seguidor de trayectoria solar un segundo actuador de tal manera que se puedan hacer correcciones en la altura del colector y lograr aun más la captación de la radiación solar.

La monitorización remota del sistema es una tarea que ayudaría a la obtención de variables sin la necesidad de tener una PC en el sitio descargando datos.



## Bibliografía

- Ali, A., & Ibrahim, S. (2004). Simplified sun tracker for residential applications. *Solar Energy Prospect in the Arab World*. Bahrain.
- Centro de Ciencias de la Atmosfera UNAM. (24,25 de 10 de 2012). *PEMBU*. Recuperado el 24 y 25 de Octubre de 2012, de <http://pembu.atmosfcu.unam.mx/~cca/datos/downld08.txt>
- David Riveros Rosas. (2010). Introducción al estudio de la radiación Solar. *Curso Taller de Tecnologías solares* (pág. 36). Cuernavaca Morelos: CIE UNAM.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1991). *Solar engineering of thermal processes*. New York : J. Wiley.
- Instituto Nacional de Estadísticas Geografía e Informatica. (s.f.). *Volumen de las reservas probadas de Petróleo por principales países*. Recuperado el 15 de Abril de 2012, de [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)
- International Energy Agency. (2009). *Oil Market Report*. Recuperado el 10 de 06 de 2012, de [www.iea.org/statics/index.html](http://www.iea.org/statics/index.html)
- Isaac Pilatowsky, R. M. (2009). *Sistemas de Calentamiento de Agua: una guía para el consumidor*. México: Trillas.
- Jesus, A. M. (2008). *Determinación experimental y teórica de temperaturas en un colector solar plano para calentamiento de agua para uso doméstico y su optimización en el diseño*. IPN: Tesis de Doctorado.
- Kalogirou, S. A. (1996). Desing and contruction of a one-axis sun tracking. *Solar Energy* , 465-469.
- Kalogirou, S. A. (2006). Recent Patents in Solar Energy Collectors and Applications. *Higher Technical Institute* , 11.
- Kalogirou, S. A. (2004). Solar Thermal Collector and Applications. *Progress in Energy and Combustion Science* , 231-290.
- Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., & Sharifi, A. (2011). Desing, Construction and Evaluation of a Sun-Tracking System on a Mobile Structure. *Journal of Solar Energy Engineering* , 6.
- Peuser, F. A., Remmers, K.-H., & Schnauss, M. (2005). *Sistemas Solares Térmicos Diseño e Instalación*. Berlin; España: Solarprxis-Progenssa.
- Prakash, J., Garg, H., & Hrishikesan, D. (1988). Effect of tracking on the performance of a built-in-storage type solar water heater. *Solar and Wind Technology* , 433-440.
- Prasad, P., Gangavati, P., & Byregowda, H. (2011). Comparison of tracking and non-tracking mechanism of working model flat plate collector. *European Journal of Scientific Research* , 156-169.
- Rabl, A. (1985). *Active Solar Collectors and Their Applications*. New York: Oxford University Press.
- Rhif, A. (2011). A Position Control Review for a Photovoltaic System: Dual Axis Sun Tracker. *IETE TECHNICAL REVIEW* , 479-485.
- Rhushi Prasad, P., Byregowda, H., & Gangavati, P. (2010). Experiment analysis of flat plate collector and comparison of performance with tracking collector. *European Journal of Scientific Research* , 144-155.
- Rosas, D. R. (2004). *Estudio Teórico Experimental del Fenómeno Termosifónico en Captadores Solares Planos*. UNAM: Tesis de Maestría.
- Salgado Conrado, L. (2010). *Diseño y construcción de un sistema de control para la orientación de un concentrador solar cilindrico-parabólico este-oeste*. Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Mecánica: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, IPN.
- Samantaa, A., Duttab, A., & Neogic, S. (2012). A Simple and Efficient Sun Tracking Mechanism. *Applied Solar Energy* , 218-227.
- Suquet, P. P. (2006). *Proyecto y Cálculo de Instalaciones Solares Térmicas*. Madrid: Fundación COAM.
- Tomás Perales Benito, R. M. (2008). *Intalación de Paneles Solares Térmicos*. México: Alfaomega.
- Zhao, Z., Li, Z., Ma, M., & Zhang, H. (2012). The design and implementation of an automatic tracking system of solar energy based on the PID control algorithm. *2011 International Conference on Mechanical Engineering, Materials and Energy* (págs. 148-149). Dalian: Trans Tech Publications.



## ANEXOS

Algoritmo para el cálculo del amanecer y puesta del sol en el microcontrolador.

```
#define pi 3.14159265358979;

#include <math.h>

int16 day, month, year;

void set_Date(int16 dia, int16 mes, int16 ano)
{
    day=dia;
    month=mes;
    year=ano;
}

void get_SunRise_SunSet(int16 &SunRiseH, int16 &SunRiseM, int16 &SunSetH,
int16 &SunSetM)
{
    int16 N1, N2, N3, N, Lquadrant1, RAquadrant1, Lquadrant2,
RAquadrant2, hora1, hora2;
    double latitude, longitude, cosZenith, lngHour, t1, t2, M1, M2, L1,
L2, RA1, RA2, sinDecl1, cosDecl1, sinDec2, cosDec2;
    double cosH1, cosH2, H1, H2, TT1, TT2, UT1, UT2, localT1, minuto1,
localT2, minuto2;

    year=year+2000;

    latitude=19.322615;
    longitude=-99.185756;

    cosZenith=0;

    N1=floor((275*month)/9);
    N2=floor((month+9)/12);
    N3=(1+floor((year-4*floor(year/4)+2)/3));
    N=N1-(N2*N3)+day-30;

    lngHour=longitude/15;
    t1=N+((6-lngHour)/24);
    t2=N+((18-lngHour)/24);

    M1=(0.9856*t1)-3.289;
    M2=(0.9856*t2)-3.289;

    L1=M1+(1.916*sin(M1*pi/180))+(0.02*sin(2*M1*pi/180))+282.634;
    L2=M2+(1.916*sin(M2*pi/180))+(0.02*sin(2*M2*pi/180))+282.634;
    if(L1>360) L1=L1-360;
    if(L2>360) L2=L2-360;

    RA1=atan(0.91764*tan(L1*pi/180))*180/pi;
    RA2=atan(0.91764*tan(L2*pi/180))*180/pi;
```



## ANEXOS



```
Lquadrant1=(floor(L1/90))*90;
RAquadrant1=(floor(RA1/90))*90;
RA1=RA1+(Lquadrant1-RAquadrant1);

Lquadrant2=(floor(L2/90))*90;
RAquadrant2=(floor(RA2/90))*90;
RA2=RA2+(Lquadrant2-RAquadrant2);

RA1=RA1/15;
RA2=RA2/15;

sinDec1=0.39782*sin(L1*pi/180);
cosDec1=cos(asin(sinDec1));

sinDec2=0.39782*sin(L2*pi/180);
cosDec2=cos(asin(sinDec2));

cosH1=(cosZenith-
sinDec1*sin(latitude*pi/180))/(cosDec1*cos(latitude*pi/180));

cosH2=(cosZenith-
sinDec2*sin(latitude*pi/180))/(cosDec1*cos(latitude*pi/180));

H1=360-(180*acos(cosH1)/pi);
H1=H1/15;

H2=180*acos(cosH2)/pi;
H2=H2/15;

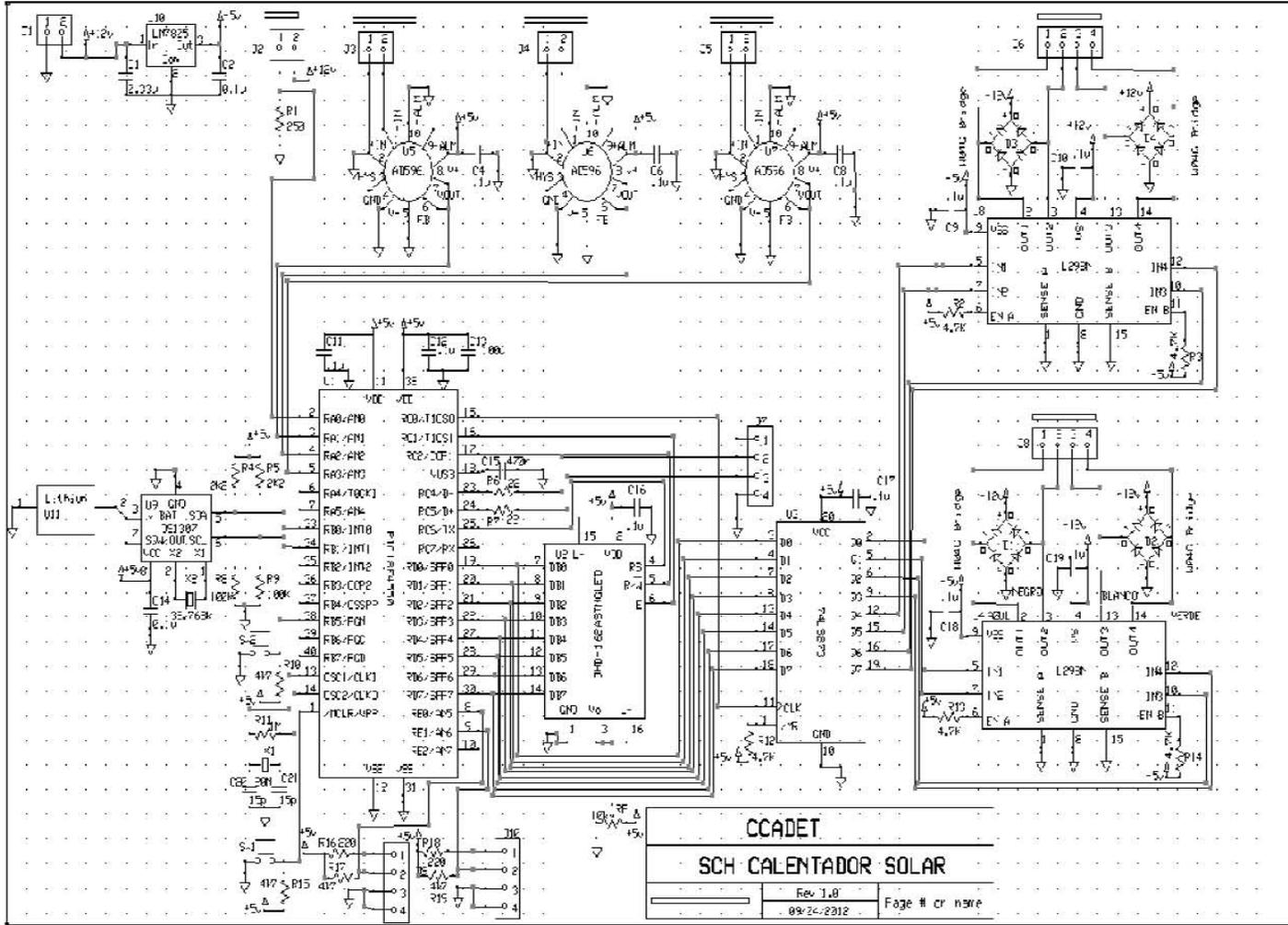
TT1=H1+RA1-(0.06571*t1)-6.622;
TT2=H2+RA2-(0.06571*t2)-6.622;

UT1=TT1-lngHour;
if(UT1>24) UT1=UT1-24;
if(UT1<0) UT1=UT1+24;
UT2=TT2-lngHour;
if(UT2>24) UT2=UT2-24;
if(UT2<0) UT2=UT2+24;

localT1=UT1+(-6);
if(localT1>24) localT1=localT1-24;
if(localT1<0) localT1=localT1+24;
horal=floor(localT1);
minuto1=(localT1-horal)*60;

localT2=UT2+(-6);
if(localT2>24) localT2=localT2-24;
if(localT2<0) localT2=localT2+24;
hora2=floor(localT2);
minuto2=(localT2-hora2)*60;

SunRiseH=horal;
SunRiseM=floor(minuto1);
SunSetH=hora2;
SunSetM=floor(minuto2);}
```





## ANEXOS



Codigo de programa del PIC 18f4553

```
// Maneja un despliegue LCD alfanumerico AND491
// Maneja teclado de matriz con buffer 3 estados 74LS373
// Maneja reloj de tiempo real I2C DS1307
// Maneja motor a pasos unipolar con driver L293
//
// Entradas:
//     RB5<-Pgm Reset
//     RE0<-Sensor de posicion home
//
// Salidas:
//     RA0->OE del teclado 74LS373
//     RA1->E del AND 491
//     RA2->R/W del AND 491 y C1 del teclado
//     RA3->RS del AND 491 y C2 del teclado
//     RA4->C3 del teclado
//     RA5->C4 del teclado
//     RB2->CE del L293
// Bidireccional:
//     RD0-RD7 Bus de datos con el AND 491, telado 74LS373 y L293
//     RC3-RC5 USB
//     RB0-Señal SDA del I2C
//     RB1-Señal SCL del I2C

#include <18F4553.h>
#include ADC=10
#include fuses
HSPLL,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG,USBDIV,PLL5,CPUDIV1,VREGEN,MCLR,NOPBA
DEN
#include <ds1307.c>
#include <PICSun.c>

/*#build(reset=0x800, interrupt=0x808) // Para correr en tarjeta de desarrollo
#include <usb.c>
#include <pic18_usb.h> //Microchip PIC18Fxx5x Hardware layer for CCS's PIC USB driver
#include <PicUSB.h> //Configuración del USB y los descriptores para este dispositivo
#include <usb.c> //handles usb setup tokens and get descriptor reports

#define modo recibe[0]
```



## ANEXOS



```
#define param1 recibe[1]
#define param2 recibe[2]
#define param3 recibe[3]
#define param4 recibe[4]
#define param5 recibe[5]
#define resLB envia[0]
#define resHB envia[1]

int16 valor;
int16 amaneceH, amaneceM, atardeceH, atardeceM;
byte aux;
float AD[16]={-36,54,146,238,285,332,426,512,617,810,1006,1203,1401,1600,1800,2000};
float TEM[16]={-10,0,10,20,25,30,40,50,60,80,100,120,140,160,180,200};
byte ARREGLO[6]={0xA,0x9,0x5,0x6,0x10,0x00};
float x1,x2,y1,y2,m;
float resultado,Tuno,Tdos,Ttres,pres,presfinal;

int8 i;
int8 j;

unsigned int32 termo1=0;
unsigned int32 termo2=0;
unsigned int32 termo3=0;
unsigned int32 presion=0;
unsigned int32 acumulador;
//Funcion para comvetir a Celcius
float conversion(float mv)
{
    mv=mv*5.0/1024.0;
    if (mv>0)
    {
        for (i=1;i<=15;++i)
        {
            if (AD[i]>mv)
            {
                y2=AD[i];
                y1=AD[i-1];
                x2=TEM[i];
                x1=TEM[i-1];
                m=(y2-y1)/(x2-x1);

                }
            if (m>0)
            {
                resultado=(mv/m)*1000;
            }
        }
        return(resultado);
    }
}
//Funcion para convertir a volts

float sensorpres(float mv)
{
```



## ANEXOS



```
mv=mv*5.0/1024.0;
pres=mv;
return(pres);
}

// Funcion para enviar comandos al despliegue LCD
void comandoLCD(byte comando)
{
// output_a(0x01); //1 ciclo=20.8ns 48MHz
output_bit(PIN_C0,0);
output_bit(PIN_C1,0);
output_bit(PIN_C2,0);
output_bit(PIN_C6,0);

delay_cycles(20); //tas=140ns
// output_a(0x03);
output_bit(PIN_C0,0);
output_bit(PIN_C1,1);
output_bit(PIN_C2,0);
output_bit(PIN_C6,0);

delay_cycles(10); //ter=25ns
output_d(comando);
delay_cycles(150); //PWeh=450ns
// output_a(0x01);
output_bit(PIN_C0,0);
output_bit(PIN_C1,0);
output_bit(PIN_C2,0);
output_bit(PIN_C6,0);

delay_cycles(250); //tcyce=1000ns
}

// Funcion para desplegar caracter en el despliegue LCD
void caracterLCD(byte caracter)
{
// output_a(0x09); //1 ciclo=20.8ns 48MHz
output_bit(PIN_C0,0);
output_bit(PIN_C1,0);
output_bit(PIN_C2,0);
output_bit(PIN_C6,1);

delay_cycles(20); //tas=140ns
// output_a(0x0b);
output_bit(PIN_C0,0);
output_bit(PIN_C1,1);
output_bit(PIN_C2,0);
output_bit(PIN_C6,1);

delay_cycles(10); //ter=25ns
output_d(caracter);
delay_cycles(150); //PWeh=450ns
// output_a(0x09);
output_bit(PIN_C0,0);
```



## ANEXOS



```
output_bit(PIN_C1,0);
output_bit(PIN_C2,0);
output_bit(PIN_C6,1);

delay_cycles(250); //tcyce=1000ns
}

// Funcion para el retardo de tiempo en ms
void retardoms(int32 tiem)
{
    int32 i;
    for(i=1; i<=tiem; i++)
    {
        delay_ms(1);
    }
}
void dato273(byte dato)
{
    output_bit(PIN_C0,0);
    // output_bit(PIN_C1,0);
    // output_bit(PIN_C2,0);
    // output_bit(PIN_C6,0);

    retardoms(10); //ter=25ns
    output_d(dato);
    retardoms(10); //PWeh=450ns

    output_bit(PIN_C0,1);
    // output_bit(PIN_C1,0);
    // output_bit(PIN_C2,0);
    // output_bit(PIN_C6,0);

    retardoms(10); //ter=25ns

    output_bit(PIN_C0,0);
    // output_bit(PIN_C1,0);
    // output_bit(PIN_C2,0);
    // output_bit(PIN_C6,0);

    retardoms(10); //tcyce=1000ns
}

// Funcion para el retardo de tiempo en s
void retardo(int16 tiem)
{
    int16 i;
    for(i=1; i<=tiem; i++)
    {
        delay_ms(100);
        delay_ms(100);
        delay_ms(100);
        delay_ms(100);
        delay_ms(100);
    }
}
```



## ANEXOS



```
    delay_ms(100);
    delay_ms(100);
    delay_ms(100);
    delay_ms(100);
    delay_ms(100);
}
}

// Programa principal
void main(void)
{
    retardo(10);

// inicia variables
    BYTE sec;
    BYTE min;
    BYTE hrs;
    BYTE dia, diaNuevo;
    BYTE mes, mesNuevo;
    BYTE ano, anoNuevo;
    BYTE dow;
    float posicion;
    float posicionAnterior;
    float Hora, HoraNueva, amanece, atardece;

    int8 recibe[6]; //PARA USB
    int8 envia[2]; //PARA USB

    aux=0x0A;

    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    // inicia puertos
    /*dato273(arreglo[5]);
    comandoLCD(0x38); //8 bits, 2 lineas,
    comandoLCD(0x0c); //Enciende despliegue y apaga cursor (Display on/off Control)
    comandoLCD(0x80); //Cursor en 1a linea izquierda (Set DDRAM Adress)

// inicia AND491
    comandoLCD(0x38); //8 bits, 2 lineas (Function Set)
    comandoLCD(0x0c); //Enciende despliegue y apaga cursor (Display on/off Control)

// Posicion inicial
// Mensaje
    comandoLCD(0x0c);
    comandoLCD(0x80); //Cursor en 1a linea izquierda (Set DDRAM Adress)
    printf(caracterLCD, "Posicion inicial");
    comandoLCD(0xc0); //Cursor en 2a linea izquierda (Set DDRAM Adress)
    printf(caracterLCD, "...");
    retardo(1);*/
    usb_init(); //inicializamos el USB
    usb_task(); //habilita periferico usb e interrupciones
    usb_wait_for_enumeration(); //esperamos hasta que el PicUSB sea configurado por el host

    retardo(15);
```



## ANEXOS

```
comandoLCD(0x38); //8 bits, 2 lineas (Function Set)
comandoLCD(0x0c);
comandoLCD(0x0c);
comandoLCD(0x80); //Cursor en 1a linea izquierda (Set DDRAM Address)
printf(caracterLCD, "BUSCANDO   ");
comandoLCD(0xc0); //Cursor en 2a linea izquierda (Set DDRAM Address)
printf(caracterLCD, "HOME     ");
posicion=0;
posicionAnterior=0;
mueve(posicion, posicionAnterior);

delay_ms(500);
dato273(0x00);
// mensaje inicial
comandoLCD(0x38); //8 bits, 2 lineas (Function Set)
comandoLCD(0x0c);
comandoLCD(0x80); //Cursor en 1a linea izquierda (Set DDRAM Address)
printf(caracterLCD, "Reloj PIC   ");
comandoLCD(0xc0); //Cursor en 2a linea izquierda (Set DDRAM Address)
printf(caracterLCD, "Listo...   ");
//retardo(5);

// Inicia RTC y variables de tiempo
// ds1307_init();
retardo(1);
ds1307_get_date(dia,mes,ano,dow);
ds1307_get_time(hrs,min,sec);
Hora=(float)hrs+((float)min/60);
amanece=(float)6+((float)36/60);
atardece=(float)18+((float)46/60);

comandoLCD(0x0c);
comandoLCD(0x80); //Cursor en 1a linea izquierda (Set DDRAM Address)
printf(caracterLCD, "Abajo del USB ");
comandoLCD(0xc0); //Cursor en 2a linea izquierda (Set DDRAM Address)
printf(caracterLCD, "Antes del loop i");
retardo(1);
// inicia USB

while(1)
{
    if(usb_enumerated()    //si el PicUSB está configurado
    {
        if (usb_kbhit(1))    //si el endpoint de salida contiene datos del host
        {
            usb_get_packet(1, recibe, 6); //cojemos el paquete de tamaño 3bytes del EP1 y almacenamos en recibe

            if (modo == 0) // Modo actualiza fecha y hora
            {
                ds1307_set_date_time(param1,param2,param3,0,param4,param5,0);
            }
        }
    }
}
```



## ANEXOS



```
if (modo == 1) // Modo lee amanecer hora
{
    resLB = amanecerH;
    usb_put_packet(1, envia, 1, USB_DTS_TOGGLE); //enviamos el paquete de tamaño 1byte del EP1
al PC
}
if (modo == 2) // Modo lee amanecer hora
{
    resLB = amanecerM;
    usb_put_packet(1, envia, 1, USB_DTS_TOGGLE); //enviamos el paquete de tamaño 1byte del EP1
al PC
}
if (modo == 3) // Modo lee amanecer hora
{
    resLB = atardecerH;
    usb_put_packet(1, envia, 1, USB_DTS_TOGGLE); //enviamos el paquete de tamaño 1byte del EP1
al PC
}
if (modo == 4) // Modo lee amanecer hora
{
    resLB = atardecerM;
    usb_put_packet(1, envia, 1, USB_DTS_TOGGLE); //enviamos el paquete de tamaño 1byte del EP1
al PC

    acumulador=0;
    for (i=1;i<=100;++i)
    {
        set_adc_channel( 2 );
        acumulador=acumulador+read_adc();
        retardoms(10);
    }
    termo3=acumulador/100;
    Ttres=conversion(termo3);

    //Mensaje
    comandoLCD(0x0c);
    comandoLCD(0x80); //Cursor en 1a linea izquierda (Set DDRAM Adress)
    printf(caracterLCD,"T3=%6.2f",Ttres);
    delay_ms(1000);
    resLB = atardecerM;
    usb_put_packet(1, envia, 1, USB_DTS_TOGGLE); //enviamos el paquete de tamaño 1byte del EP1
al PC

}
}
}

ds1307_get_date(diaNuevo,mesNuevo,anoNuevo,dow);
ds1307_get_time(hrs,min,sec);
HoraNueva=(float)hrs+((float)min/60);
if((diaNuevo==dia)&(mesNuevo==mes)&(anoNuevo==ano))
{
    if((HoraNueva>amanecer)&(HoraNueva<atardecer))
    {
        posicion=(180.0/(atardecer-amanecer))*(HoraNueva-amanecer);
```



## ANEXOS



```
    }
    else
    {
        posicion=0;
    }
}
else
{
    Set_Date(diaNuevo, mesNuevo, anoNuevo);
    Get_SunRise_SunSet(amaneceH, amaneceM, atardeceH, atardeceM);

    amanece=(float)amaneceH+((float)amaneceM/60);
    atardece=(float)atardeceH+((float)atardeceM/60);
    dia=diaNuevo;
    mes=mesNuevo;
    ano=anoNuevo;

}
if(abs(posicion-posicionAnterior)>1.8)
{
    mueve(posicion, posicionAnterior);
    posicionAnterior=posicion;
}
    acumulador=0;
    for (i=1;i<=100;++i)
    {
        set_adc_channel( 2 );
        acumulador=acumulador+read_adc();
        retardoms(10);
    }
    termo3=acumulador/100;
    Ttres=conversion(termo3);

    //Mensaje
    comandoLCD(0x0c);
    comandoLCD(0x80); //Cursor en 1a linea izquierda (Set DDRAM Adress)
    printf(caracterLCD,"T3=%6.2f",Ttres);
    retardo(3);
comandoLCD(0x0c); //Enciende despliegue y apaga cursor (Display on/off Control)
comandoLCD(0x80); //Cursor en 1a linea izquierda (Set DDRAM Adress)
printf(caracterLCD, "%02d/%02d/%02d   ", diaNuevo,mesNuevo,anoNuevo);
comandoLCD(0xc0); //Cursor en 2a linea izquierda (Set DDRAM Adress)
printf(caracterLCD, "%02d:%02d:%02d \%.1fgra", hrs,min,sec,posicion);
}
}
```

8314

**bürkert**  
FLUID CONTROL SYSTEMS

## Pressure Transmitter



- Ceramic measurement cell
- Two-wire version
- Compact, stable construction for the highest operational reliability
- Media stop system if bursting pressure exceeded

Type 8314 can be combined with...



**Type 8611**  
FI pressure controller



**Type 2712**  
Globe control valve with SideControl



**Type 0911**  
Process Indicator



**PLC**

The compact Type 8314 pressure transmitter meets the highest requirements with regard to mechanical loading, EMC characteristics and operational reliability and is particularly suitable for demanding industrial applications.

General data	
<b>Body material</b>	Stainless steel 1.4505 AISI 304
<b>Wetted parts materials</b>	Ceramics (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), stainless steel 1.4805 (1.4404 AISI 316L on request), PTFE seal, PPS
<b>Electrical connection</b>	M12 x 1 plug
<b>Process connection</b>	G 1/4" axial to DIN 3852 Form E
<b>Installation</b>	as required, preferably with pressure connection in downward position
<b>Measurement principle</b>	Ceramic technology
<b>Measurement procedure</b>	Relative pressure measurement
<b>Measuring range</b>	0 up to 1, 4, 6, 10, 16, 40 or 100 bar (0 to 14.5, 58.04, 87.06, 145.1, 232.76, 580.4, 1457 PSI)
<b>Overload</b>	3 x full scale at 0 ... 4 bar 2.5 x full scale at 6 ... 100 bar
<b>Bursting pressure</b>	3 x full scale at 0 ... 4 bar (0 ... 58.04 PSI) 2.5 x full scale at 6 ... 100 bar (87.06 ... 1457 PSI) patented media stop system to prevent escape of media if the bursting pressure range is exceeded (≥ 4 bar (58.04 PSI) nominal pressure)
<b>Fluid temperature</b>	-15 up to +125°C (5 to 257 °F)
<b>Accuracy</b>	Sum of linearity, hysteresis and reproducibility: ≤ 0.3% of F.S.* Balancing accuracy of zero point and full scale: ≤ 0.3% of F.S.*
<b>Long term stability</b>	0.5% of F.S. / 10 year
<b>Dynamic response</b>	Suitable for static and dynamic measurements; response time < 2 ms, typ. 1ms

\* F.S. = full scale

DTS 1000011771 EN Version: K Status: RL (revised) (regebeben) (valise) printed: 07.12.2009

Electrical data	
Power supply (U)	8 up to 33 V DC, unregulated
Output signal (two-wire)	Standard 4 up to 20 mA signal
Load in $\Omega$	$< (U - 8 V) / 0.02 A$
Protected connection	Short-circuit proof & protected against reverse polarity

Environment	
Ambient temperature	-15 up to + 55°C (5 to 75°F)
Temperature coefficient	$< 0.015\%$ of F.S.* / °C* (total over gain and zeroing)

Standard and approvals	
Protection class	IP67
Interference emission	According to EN 50081-1 and EN 55022
Interference stability	According to EN 50082-2
Approval	UL certificate

EMC acc. to harmonised standards for interference resistance EN 50082-2, IEC 61000-6-2 and EN 61326-1, interference radiation EN 50081-1, EN 55022, CISPR 22, EN 61326-1

Interference stability	Test Norm / Test condition	Effects
Electrostatic discharge ESD	EN 61000-4-2 15 kV air, 8 kV contact discharge	No effects
High frequency electromagnetic irradiation	EN 61000-4-3 200 W/m, 80 ... 100 MHz	No effects
Line related high frequency coupling	EN 61000-4-6 30 V, 0.15 ... 80 MHz	No effects
Fast transients (Bursts)	EN 61000-4-4 / 4 kV	No effects
Magnetic fields	EN 61000-4-8 / 30 A/m, 50 Hz	No effects
Surge voltage	EN 61000-4-5 / Line-Line, Line-Case 500V, 12 Ohm, 9 $\mu$ F Radiometric Line-Line 500V, 2 Ohm, 18 $\mu$ F	No failure
Insulation voltage	500 V DC (optional 1000 V DC) 350 V AC (optional 700 V AC)	No effects

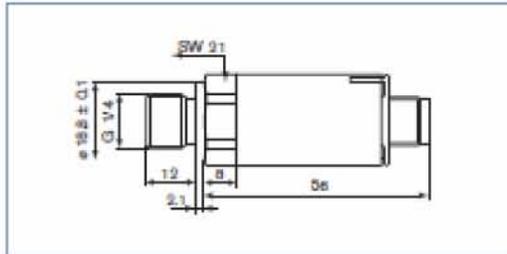
Interference transmitted	Test standard / Test condition	Effects
Line - related interference	EN 55022	
Interference	0.15 ... 30 MHz	No emission
Radiation from body	30 ... 1000 MHz, 10 meter	No emission

Test / Admissions	
Shock acc. IEC 26-2-27	75G, 11 ms half sine wave, all three directions. Free fall from 1 m on concrete (6x)
Constant shock acc. IEC 68-2-29	40G for 8 ms, 1000 x all three directions
Vibration acc. IEC 68-2-6	90G, 0...2000 Hz, 2...9 Hz with amplif. +/- 15 mm, 1 Octave/min all three directions, 50 constant load

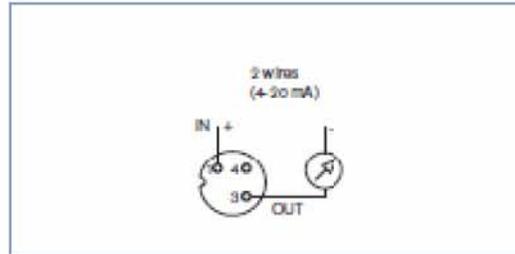
DTS 100001771 EN Version: K Status: RL (revised) | freigegeben | validat | printed: 07.12.2009

8314

**Dimensions [mm]**



**Electrical connections**



**Ordering chart for transmitter Type 8314**

Process connection	Pressure range [bar d]	Power supply	Output signal	Electrical connection	Item no.
G 1/4"	0 - 1.00	8 - 33 V DC	4...20 mA	M12 x 1 plug	550 964
	0 - 4.00	8 - 33 V DC	4...20 mA	M12 x 1 plug	550 965
	0 - 6.00	8 - 33 V DC	4...20 mA	M12 x 1 plug	552 954
	0 - 10.0	8 - 33 V DC	4...20 mA	M12 x 1 plug	550 968
	0 - 16.0	8 - 33 V DC	4...20 mA	M12 x 1 plug	552 955
	0 - 40.0	8 - 33 V DC	4...20 mA	M12 x 1 plug	550 967
	0 - 100.0	8 - 33 V DC	4...20 mA	M12 x 1 plug	550 968

DTS 1000011771 EN Version: K Status: RL (released) freigegeben | valid | printed: 07.12.2009

**Further versions on request**

- Pressure**  
other measuring ranges
- Port connection**  
NPT 1/4"
- Electrical connection**  
connectors
- Additional**  
electrical outputs

**Ordering chart accessories**

Description	Item no.
5-pin M12 female cable connector with plastic threaded locking ring	012 116
5-pin M12 female connector moulded on cable (2 m, shielded)	438 680

\*To find your nearest Bürkert facility, click on the orange box → [www.burkert.com](http://www.burkert.com)

In case of special application conditions, please consult for advice.

Subject to alteration.  
© Christian Bürkert GmbH & Co. KG

2013/6\_EU-en\_00091075



## ANEXOS



### 1.- SENSORES CON CABLE FLEXIBLE:

Material del bulbo y conector: acero inoxidable 304. Cable: 2 mts; malla de acero inoxidable para termocuplas y pvc para PT-100. Conexión: TCS-3/32 TCP/TSB - 1/2"NPT

Digito	Catálogo	Sensor	Dimensiones Bulbo mm.		Rango de T°	T° Maxima
			Largo	∅		
0415666-8	TCS-106J	Termocupla J	2	4	0 a 600°C	400°C
0415668-4	TCS-106K	Termocupla K	2	4	0 a 800°C	400°C
0415670-6	TCS-902K	Termocupla K	100	5	0 a 800°C	500°C
0415672-2	TCP-907/PT-100	PT-100	50	5	-50 a 300°C	400°C
0415673-0	TCP-907/PT-100	PT-100	100	5	-50 a 300°C	400°C
0415674-9	TCP-907/PT-100	PT-100	150	5	-50 a 300°C	400°C
0415678-1	TCP-109-J	Termocupla J	100	5	800°C	600°C
0415680-3	TCP-109-K	Termocupla K	200	5	800°C	600°C
0415683-8	* TSB/K	Termocupla K	100	9,5	0 a 800°C	800°C

\* TSB/K Termocupla sin cabezal y sin cable.

TCP-907/PT-100



TCS-106J

