



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Diseño de un concentrador solar de dos
grados de libertad aplicado para ACS

TESIS

QUE PARA OBTENER POR EL GRADO DE:
INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTA:

José Ezequiel Carmona Munguía

Director de tesis:

M. I. Billy Arturo Flores Medero Navarro



México D.F.

JUNIO 2011

DEDICO ESTE TRABAJO:

A mis padres Ezequiel e Imelda

Porque este objetivo logrado

También es suyo y la fuerza

Que me ayudo a conseguirlo

Fue su apoyo.

AGRADECIMIENTOS:

A mi Director de Tesis:

M.I. BILLY ARTURO FLORES MEDERO NAVARRO

Por haber dirigido mi trabajo de tesis,
Por su paciencia y apoyo.

A mis sinodales:

ING. CARLOS SÁNCHEZ MEJÍA VALENZUELA
M.I. LUIS CÉSAR VÁZQUEZ SEGOVIA
M.C. MARÍA DEL PILAR CORONA LIRA
M.I. OCTAVIO DÍAZ HERNÁNDEZ

Por ayudarme y orientarme con
consejos para mejorar mi trabajo.

Índice

| | |
|---|----|
| Resumen:..... | 7 |
| Introducción | 8 |
| Antecedentes | 8 |
| Planteamiento del problema | 10 |
| Estado del arte | 10 |
| Hipótesis de trabajo | 15 |
| Objetivos | 15 |
| Justificación | 15 |
| Capítulo 1. Sistema de calentamiento solar de agua..... | 16 |
| 1.1 Tipos de sistemas | 17 |
| 1.1.1 Sistema de calentamiento de piscinas | 17 |
| 1.1.2 Sistema solar para hoteles | 18 |
| 1.1.3 Sistemas para uso doméstico..... | 18 |
| 1.1.4 Sistema Integrado | 19 |
| 1.1.5 Sistema <i>Drain Back</i> | 19 |
| 1.1.6 Sistema de concentración solar | 20 |
| 1.2 Ventajas y desventajas de los sistemas..... | 21 |
| 1.3 Justificación del sistema elegido | 23 |
| Capítulo 2. Sistema de seguimiento solar | 26 |
| 2.1 Conceptualización del proceso..... | 26 |
| 2.2 Algoritmo de seguimiento..... | 26 |
| 2.2.1 Sistema electrónico | 27 |
| 2.3 Prototipo de sistema mecánico..... | 29 |
| 2.3.1 Base | 29 |
| 2.3.2 Estructura de giro | 30 |
| 2.3.3 Panel colector y actuadores para rotaciones | 31 |
| 2.3.4 Panel parabólico..... | 34 |
| 2.3.5 Termotanque..... | 36 |
| 2.4 Simulación del sistema mecánico | 37 |
| Capítulo 3. Experimentación | 38 |
| 3.1 Ventajas de la unión de sistemas..... | 38 |

| | |
|---|----|
| 3.2 Variables involucradas | 38 |
| 3.3 Etapa de acoplamiento de sistemas..... | 39 |
| 3.4 Etapa de sensibilidad..... | 40 |
| 3.5 Etapa de calibración | 41 |
| 3.6 Pruebas..... | 42 |
| Capítulo 4. Análisis de resultados | 45 |
| 4.1 Análisis de etapas..... | 45 |
| 4.2 Mejoras posibles al sistema | 45 |
| 4.2.1 Sistema electrónico seguidor | 45 |
| 4.2.2 Sistema mecánico..... | 46 |
| 4.2.3 Sistema de almacenamiento | 46 |
| 5. Conclusiones..... | 47 |
| Apéndice A (Algoritmo de Seguimiento)..... | 48 |
| Apéndice B (Sub-Programa de Retrasos) | 53 |
| Tabla de Imágenes | 54 |
| Bibliografía y Mesografía | 56 |

Resumen:

El desarrollo de un sistema colector solar con fines domésticos para la obtención de Agua Caliente Sanitaria (ACS) es de vital importancia para lograr la mejora de los sistemas actuales, los cuales cuentan con pocos elementos tecnológicos que impiden obtener mejores resultados de partes costosas que los integran (como es el caso de tubos de vacío con recubrimientos bario), teniendo en consideración que el uso de dichas partes incrementa el costo del sistema sin lograr los mejores resultados, con este trabajo de investigación se demuestra que con el uso de elementos tecnológicos y conocimientos teórico-prácticos se obtienen mejores efectos en la funcionalidad comparados con los de los sistemas tradicionales.

De esta manera el objetivo de esta tesis es desarrollar un sistema de seguimiento solar de dos grados de libertad para un concentrador solar del tipo parabólico que permita colectar los rayos solares por lapsos de tiempo mayores, que los de un sistema estático tradicional de uso doméstico.

Dicho objetivo se logró a través de la implementación de diferentes elementos de análisis como parte de la metodología la cual consistió en determinar las necesidades y especificaciones para un sistema operado en la Ciudad de México, para así comenzar con un diseño conceptual a partir de una investigación de los sistemas de seguimiento y de captación actuales, y con ello determinar las ventajas y desventajas de cada diferente tipo sistema, logrando una combinación de los elementos más adecuados para su mejor operatividad además de la elección de materiales y componentes para proseguir con un diseño más específico en el que se incorporarían distintos elementos y partes que componen al sistema final o prototipo.

Con la manufactura de este proyecto se logró obtener resultados factibles de ser analizados de acuerdo a su funcionalidad, además de realizar cambios durante su construcción que mejoraban la operatividad del sistema; como resultados trascendentes se obtuvo que los rangos de tiempo de exposición a los rayos solares del colector solar, son mayores a los de un colector doméstico comercial, también las temperaturas logradas en el termotanque fueron mayores comparadas con calentadores solares ordinarios además de una mayor cantidad de agua almacenada.

Siendo así, se puede concluir que es viable la realización de un sistema colector del tipo parabólico de concentración solar con dos grados de libertad y con elementos tecnológicos que hacen más amplios los rangos de tiempos de exposición solar, incidencia, temperatura y cantidad de agua almacenada, mejorando la funcionalidad del sistema con objeto de utilizar mejor los recursos disponibles.

Introducción

Antecedentes

Energía solar

La energía solar es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el Sol. La radiación solar que alcanza la Tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce a través de la absorción de la radiación, por ejemplo en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es una de las llamadas energías renovables, conocido como energía limpia o energía verde. La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones. La irradiación directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera tiene un valor medio de 1354 W/m^2 (1).

Seguidor solar

Un seguidor solar es un dispositivo mecánico capaz de orientar los paneles solares de forma que éstos permanezcan cercanos a la perpendicular de los rayos solares. Siguiendo al sol desde la alborada hasta la puesta de sol.



Figura 1: Seguidor solar fotovoltaico

Existen de varios tipos:

- En dos ejes (2x): la superficie se mantiene siempre perpendicular al sol.



Figura 2: Seguidor solar de dos ejes

- En un eje polar (1xp): la superficie gira sobre un eje orientado al sur e inclinado un ángulo igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol. La velocidad de giro es de 15° por hora, como la del reloj.



Figura 3: Sistema de seguimiento polar

- En un eje azimutal (1xa): la superficie gira sobre un eje vertical, el ángulo de la superficie es constante e igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano local que contiene al Sol. La velocidad de giro es variable a lo largo del día.



Figura 4: Seguidor solar azimutal

- En un eje horizontal (1xh): la superficie gira en un eje horizontal y orientado en dirección norte-sur. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol (2).



Figura 5: Sistema de seguimiento horizontal

Planteamiento del problema

Los calentadores solares actuales tienen una gran deficiencia en la manera de captar la radiación solar debido a que el panel de recolección se encuentra en una orientación fija. Esto implica una baja eficiencia en el sistema colector y repercute tanto en la cantidad y como en el lapso de tiempo de agua disponible. Debido a esta situación los calentadores actuales poseen grandes dimensiones tanto en el panel de recolección como en el termotanque, con el fin de contar con una mayor área de incidencia así como de almacenar una mayor cantidad de agua caliente.

Estado del arte

Entre los calentadores solares que se encuentran actualmente en el mercado así como en investigación y prototipos, cuentan con tecnología innovadora y métodos cada vez más eficientes, lo que permite capturar mejor la energía solar y evitar la mayor cantidad de energía en forma de calor con sistemas adiabáticos más complejos, tal es el caso del calentador con tubos de vidrio al vacío o el sistema "Heat Pipe" que se comercializan actualmente.

Sistema con colector plano

El colector plano tradicional, es un sistema que actualmente se encuentra entre uno de los más utilizados debido a su fácil construcción y el uso de reducido de materiales especializados para su fabricación, hecho por el cual su construcción casera lo convirtió en uno de los sistemas más utilizados; sin embargo existen investigaciones más profundas sobre este mismo sistema que permiten aumentar la eficiencia y con ello la rentabilidad para su producción en masa.

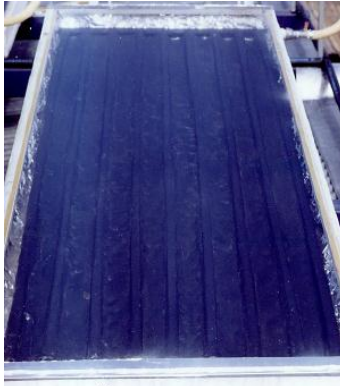


Figura 6: Panel solar tradicional

Entre los elementos más estudiados e investigados se encuentra el ángulo del panel colector y los cuales determinan que dicho ángulo se encuentra determinado por tres factores, uno de ellos es la región donde se encuentra instalado, otro es el mes o época en que se realiza la colección y por último el rango de valores entre los cuales se puede tener una circulación natural del flujo de agua caliente; dichos estudios señalan que estos valores están comprendidos entre los 22 y 45°C (3). Otro elemento de estudio es el aislamiento del panel colector con un elemento que permita generar el efecto invernadero, reducir las pérdidas con el ambiente e incluso evitar el congelamiento de la tubería que forma el panel colector (4).

Sistema con colector de tubos al vacío

El colector solar con tubos de vidrio al vacío componente clave del sistema solar de THERMOSOL®, que absorben rayos solares directos (radiación solar directa) y cuando esta nublado (radiación solar difusa) además de que dicho sistema evita la pérdida de calor con el medio ambiente.

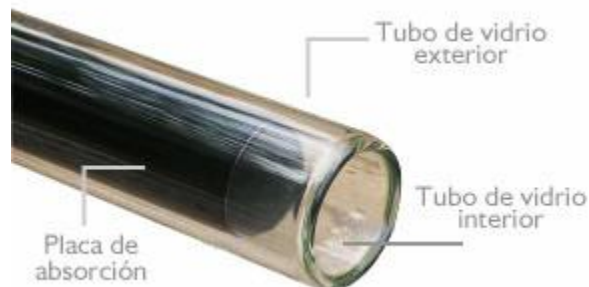


Figura 7: Tubo vidrio al vacío

Cada tubo de vidrio al vacío consiste en dos tubos de vidrio. El tubo exterior está hecho de borosilicato transparente de alta resistencia capaz de resistir el impacto de un granizo de hasta 2.5 cm. de diámetro. El tubo interior está también hecho de vidrio de borosilicato, pero este está recubierto con nitrato de aluminio que tiene una excelente absorción del calor solar y mínimas propiedades de reflexión.

Si durante la fabricación del tubo, perdiera el vacío, el aire es extraído (evacuado) del espacio entre los dos tubos de vidrio para formar el vacío, el cual elimina la pérdida

de calor conductivo y convectivo. Con el interés de mantener el vacío el elemento bario (como los tubos de televisión) es expuesto a alta temperatura, el cual causa que el fondo del tubo se cubra con una capa de bario puro (plateado). La capa de bario también es un indicador visual de que el tubo se mantiene al vacío. Esto si en algún momento el recubrimiento de bario (color plateado) se convirtiera en blanco. Esto ayuda a determinar si el tubo está operando eficientemente (5).

Dicho sistema muestra que el uso de tubo al vacío al realizar la colección de la radiación solar incrementa la eficiencia, comparándolo con un panel colector plano con tubos de cobre sin el recubrimiento exterior del tubo de vidrio al vacío, incrementando la temperatura hasta los 65°C, siendo que un sistema de colector plano alcanza 45°, en condiciones similares y con la misma cantidad de agua almacenada (6).

Sistema *Heat Pipe* (serpentín)

La tecnología *Heat Pipe* integra el calentamiento por conducción y consiste en un cilindro de metal hueco, cerrado en sus extremos y sometido a vacío, cuyo interior contiene una pequeña cantidad de un fluido, normalmente una mezcla de agua y glicol, que funciona como medio transmisor del calor, al cual nos referiremos como caloportador (7).

El sistema funciona como un ciclo natural evaporación-condensación de forma que cuando el tubo está expuesto a la radiación solar y en posición inclinada, el fluido caloportador que está dentro del tubo se evapora, absorbiendo el calor latente de vaporización, y asciende hasta el extremo superior, que al estar en contacto con una superficie más fría se produce la condensación, liberando el calor latente asociado a este cambio físico.

El caloportador en su estado líquido descenderá al extremo inferior del tubo, por la propia acción de la gravedad dando comienzo a un nuevo ciclo (8).



Figura 8: Sistema "Heat Pipe"

Sistema con colector parabólico

El sistema de colector parabólico consiste en una superficie con un perfil parabólico diseñado para que refleje a su foco la totalidad de los rayos captados realizando una concentración en el punto donde está situado objetivo, es decir una tubería que contiene el fluido que se desea calentar (9); la colección solar por medio de este sistema suele ser de los más eficientes debido a que el total del área captada es el total del área reflejada, lo cual significa un ahorro de material en el sistema recolector de calor con fluido, debido a que dicho material utilizado en esta sección suele ser cobre debido a sus propiedades físicas térmicas.

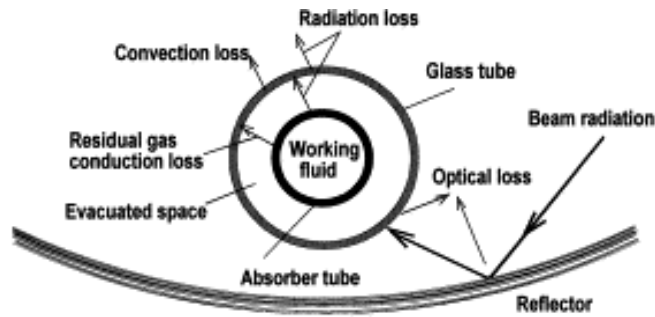


Figura 9: Perfil del colector parabólico

Uno de los factores que limitan la comercialización de este sistema a un nivel mayor puesto que este sistema es utilizado normalmente en la industria, son el posicionamiento adecuado del reflector que requiere del uso de herramientas electrónicas para lograr dicho objetivo (10), otro de los factores es que el precio del sistema se incrementa debido a la adición de controlador, actuadores y sensores, elementos que permiten automatizar el posicionamiento. Esto representa una desventaja económica para la inversión familiar, sin embargo, la industria del sector energético ha visto grandes beneficios con el aumento de eficiencia de estos sistemas, y dependiendo de la aplicación utiliza algún tipo de fluido para su posterior uso, es decir como fluido caloportador o como fluido de trabajo para generar vapor (11).

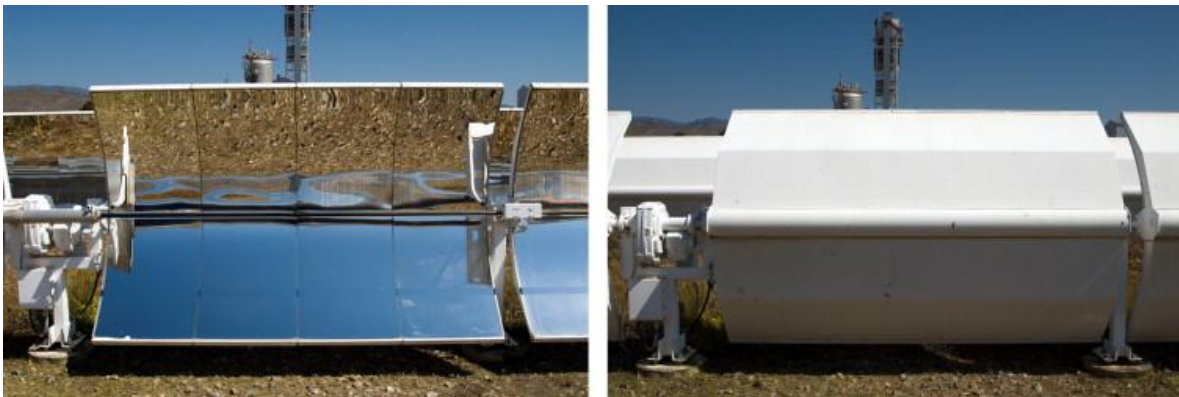


Figura 10: Colector industrial Acurex 3001



Figura 11: PSA (Planta Solar de Almería)

Dentro del mismo sector energético encontramos aplicaciones similares de generación de energía con paneles solares fotovoltaicos que requieren de un sistema similar de control de posicionamiento para obtener mayor beneficio de los paneles. El sistema electrónico de control utiliza al mismo panel solar como sensor para lograr el posicionamiento, lo que facilita su instrumentación, también se puede lograr la instrumentación con sensores LDR (por sus siglas en inglés Light Dependent Resistor, componente electrónico que cambian su resistencia al flujo eléctrico de acuerdo a la luz captada en ese momento) que detectan en conjunto, variaciones de la cantidad de luz recibida, lo que se logra con un elemento que provoque sombra al mínimo cambio del foco emisor de luz (12).

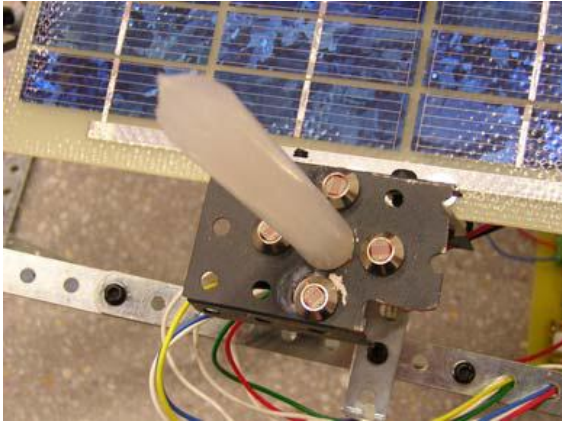


Figura 12: Instrumentación con LDR's

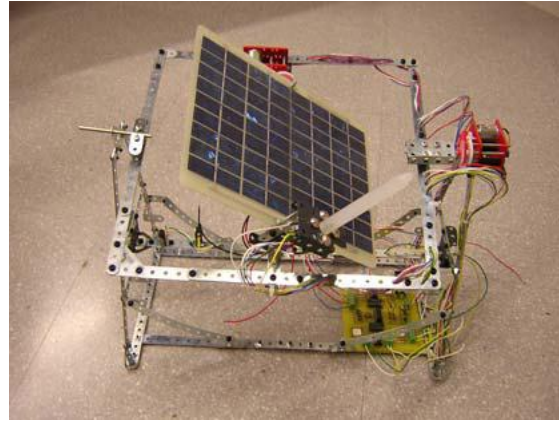


Figura 13: Sistema Solar Fotovoltaico

Hipótesis de trabajo

Es posible mejorar el tradicional calentador solar doméstico incorporando un sistema de seguimiento solar a un colector parabólico, el cual permitirá captar durante un lapso mayor de tiempo la radiación solar, generando un mejor aprovechamiento de la radiación solar.

Objetivos

Desarrollar un sistema de seguimiento solar de dos grados de libertad en un calentador solar del tipo parabólico que permita coleccionar los rayos solares por lapsos de tiempo mayores que los de un sistema estático tradicional de uso doméstico.

Justificación

El uso actual de energías alternativas a causa de la escasez de energéticos fósiles, ha orillado a retomar la investigación en la utilización y aprovechamiento de este tipo de energías, he aquí la justificación de realizar sistemas de captación solar con mejores características funcionales, apoyándose en el uso de recursos tecnológicos de gran precisión, así como en conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en una formación ingenieril.

Capítulo 1. Sistema de calentamiento solar de agua

El sol, fuente de vida y origen de las diversas formas de energía que el ser humano ha utilizado desde el inicio de su historia, puede satisfacer prácticamente todas nuestras necesidades si aprendemos cómo aprovechar de forma racional su luz.

El sol es una estrella formada por diversos elementos en estado gaseoso, principalmente hidrógeno, en condiciones tales que producen, de forma espontánea e ininterrumpida, un proceso de fusión nuclear, el cual emite luz y calor (13).

Fuerza del Sol

La fuerza del sol que llega a la tierra equivale a 10.000 veces el consumo mundial de energía. Este astro es como una gran estrella corriente, capaz de hacer llegar hasta nosotros grandes cantidades de energía radiante. Se encuentra a una distancia de unos 150 millones de kilómetros de la Tierra y la radiación que emite tarda algo más de ocho minutos en alcanzar nuestro planeta, a una velocidad de 300.000 km/s. Desde el punto de vista cuantitativo se puede decir que sólo la mitad de la radiación solar llega a la superficie de la Tierra. La restante se pierde por reflexión y absorción en la capa de aire.

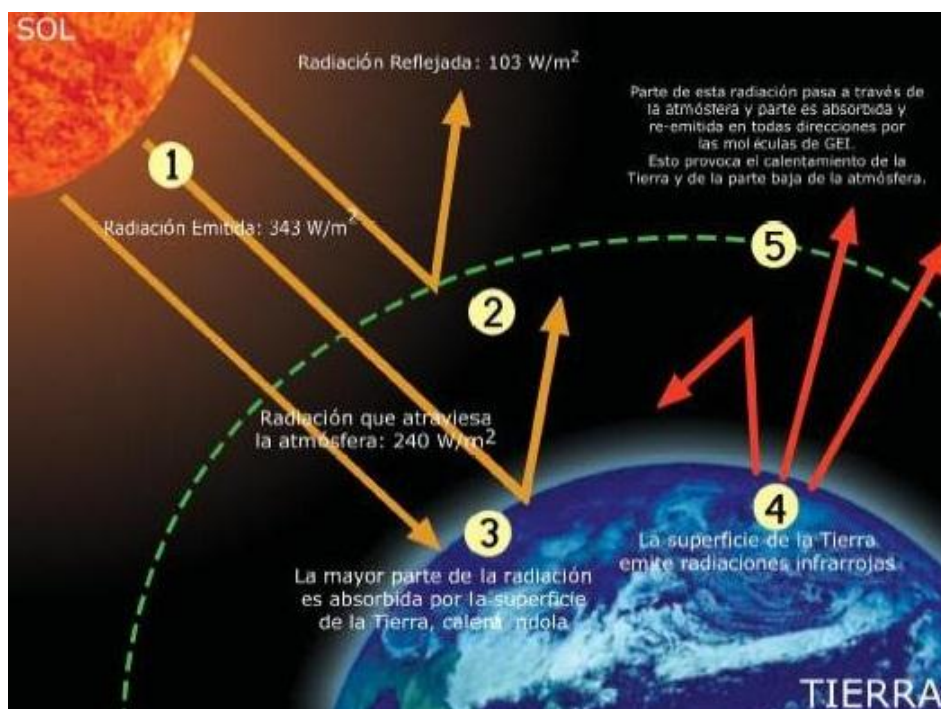


Figura 14: Radiación solar

El aprovechamiento térmico del sol era conocido ya por los romanos. Ellos sabían que un cuerpo negro absorbe más el calor que un cuerpo claro, pero fue hasta la gran crisis del petróleo de los años setenta en el siglo pasado, cuando se empezó la difusión masiva de los sistemas solares térmicos.

La energía solar presenta dos características especiales muy importantes que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales: dispersión e intermitencia.

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

b. **Intermitencia:** La energía solar no es continua, lo cual hace necesarios sistemas de almacenamiento (14).

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

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

El aprovechamiento activo de la energía solar requiere de dispositivos especializados que permitan captarla, dichos dispositivos son diseñados de acuerdo a las características para las cuales se realiza la captura, como pueden ser placas fotovoltaicas, colectores solares y cocinas solares (13).

Se analizarán los diferentes sistemas de colectores solares, en los cuales se basa el aprovechamiento activo que se está estudiando y se pretende mejorar.

1.1 Tipos de sistemas

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

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

- De baja temperatura (menos de 90°C): aplicado para calentamiento de agua y preparación de alimentos.
- De mediana temperatura (menos de 300°C): para aplicaciones industriales.
- De alta temperatura (hasta 4.000°C): aplicado para la generación de electricidad (14).

1.1.1 Sistema de calentamiento de piscinas

El calentamiento del agua de las piscinas constituye una de las aplicaciones de la energía solar más lógicas en América Central, por las claras ventajas de economía y sencillez que presenta frente a otros sistemas que utilizan energías convencionales. Dado que los colectores utilizados aquí únicamente deberían ser capaces de mantener una

temperatura no mayor de 30°C, lo ideal es usar unos plásticos sin recubrimiento, los cuales son mucho más económicos que aquellos para calentar agua de uso doméstico.

Los fabricantes usan colectores de material plástico negro, los cuales son resistentes a los rayos ultravioleta del sol y a las condiciones climáticas. Los tres materiales más usados son polipropileno, polietileno y un monómero de etileno propileno conocido como EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer). Los colectores plásticos trabajan con una eficiencia muy alta, en un rango de temperaturas entre 20-28°C, ya que las pérdidas de calor son mínimas, debido a las temperaturas bajas de operación (14).

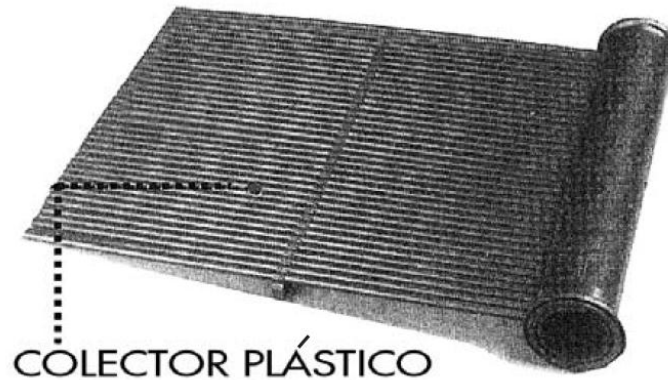


Figura 15: Colector solar plástico

1.1.2 Sistema solar para hoteles

En hoteles son más recomendables los sistemas solares tipo forzado, por cuanto la cantidad requerida de agua caliente es elevada y debe estar disponible siempre. Por su parte, en los sistemas termosifones los tanques tienen mucho peso, lo cual puede presentar un problema para la estabilidad de la estructura (15).



Figura 16: Sistema solar para hotel

1.1.3 Sistemas para uso doméstico

Los sistemas solares para uso doméstico son una alternativa a los convencionales para calentamiento de agua: tanques eléctricos, termoduchas o calentadores a gas. Para lograr temperaturas elevadas (entre 40 y 70 grados centígrados), se requiere el empleo de colectores planos que cuenten con un recubrimiento (normalmente de vidrio) que provoque un efecto invernadero dentro de ellos.

El colector plano tiene cuatro componentes principales. Dentro de un marco de aluminio aislado se encuentra el absorbedor (registro de tubos de cobre, soldados a una lámina delgada de cobre pintado de negro, donde circula el agua), así como un vidrio especial de alta transmisión sellado a su marco. Para aumentar la eficiencia del absorbedor, se utilizan placas selectivas (aleaciones de varios metales con tratamientos especiales de la superficie) (16).

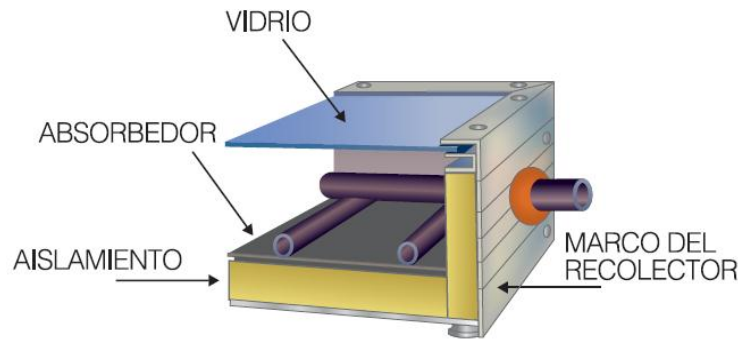


Figura 17: Corte de colector solar plano

1.1.4 Sistema Integrado

Para lugares en el trópico (con temperaturas promedio superiores a los 25° C, existe la posibilidad de generar agua caliente a un costo sumamente atractivo por la facilidad de construcción que presentan estos sistemas. La gran diferencia entre los sistemas tradicionales y el integrado es su construcción. Mientras el termosifón cuenta con dos componentes (colector y tanque), y el forzado con tres (colector, tanque y grupo hidráulico), el integrado solamente necesita un solo componente, el cual une las funciones de absorber calor y almacenar agua caliente.

El sistema integrado tiene un costo significativamente menor que el termosifón y el forzado, pero su mayor problema es la alta pérdida de calor durante las horas sin sol, a través del recubrimiento transparente, por la falta de un buen aislamiento (14).

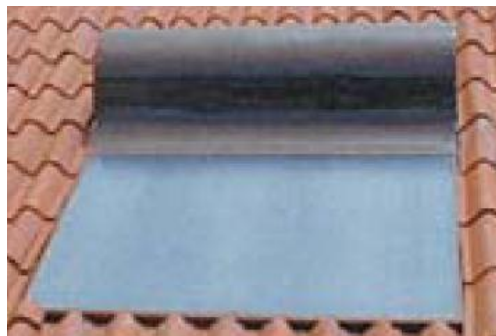


Figura 18: Sistema integrado

1.1.5 Sistema Drain Back

El sistema *Drain Back* es un sistema solar de circulación forzada con drenaje del líquido caloportador o vaciado del circuito primario a un sistema de acumulación normalmente abierto. Cuando la bomba del primario se para, los captadores se vacían de líquido. De esta forma no hay peligro de heladas ni de sobrecalentamientos. Suelen ser

equipos domésticos para ACS de acumulaciones relativamente pequeñas, 150, 200 o 300 L. Muy utilizado en piscinas. En zonas de bajas temperaturas en invierno para prevenir las heladas (17).

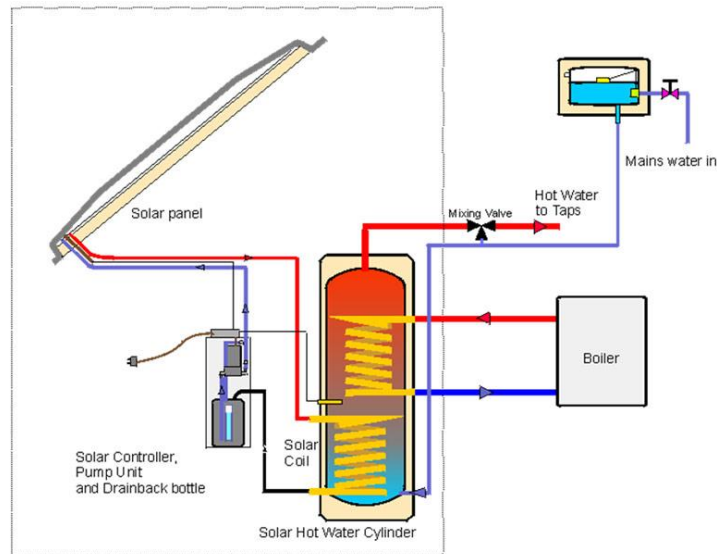


Figura 19: Sistema Drain Back

1.1.6 Sistema de concentración solar

El sistema de concentración solar se basa en la focalización del elemento colector y de una superficie parabólica, encargada de realizar la colección de los rayos solares, disminuyendo consigo los elementos necesarios encargados de transmitir la radiación solar (18).



Figura 20: Sistema de concentración parabólico

1.2 Ventajas y desventajas de los sistemas

| Sistema | Ventajas | Desventajas |
|------------------------------|--|--|
| De calentamiento de piscinas | Económico, debido a la construcción con elementos como el plástico. | Temperaturas no mayores a 30° El termotanque(piscina) requiere de recubrimientos Elementos fijos, disminuyen la captación solar por periodos |
| Para hoteles | Agua caliente durante lapsos constantes de tiempo Temperaturas adecuadas para uso sanitario | Tanques de almacenamiento grandes Estructuras grandes, complejas y costosas Elementos fijos, disminuyen la captación solar por periodos |
| Para uso domestico | Temperaturas adecuadas para uso sanitario Dimensiones pequeñas | Los elementos que integran el sistema son costosos Elementos fijos, disminuyen la captación solar por periodos |
| Integrado | Temperaturas adecuadas para uso sanitario Sistema compacto Económico | Pérdidas de calor durante la noche Elementos fijos, disminuyen la captación solar por periodos Flujo ACS inconstante |
| Drain Back | Previene congelamiento en zonas frías Temperaturas adecuadas para uso sanitario | Costoso por los elementos que lo conforman (refrigerante, serpentín) |
| De concentración solar | Económico Temperaturas adecuadas para uso sanitario | Diseño complicado Requiere de elementos móviles |

La tabla anterior nos permite conocer las características generales de cada sistema, así como conocer las diferencias que pueden ser favorables o desfavorables en el diseño de acuerdo a las necesidades geográficas, climáticas e incluso sociales que envuelven el medio donde operará el sistema a desarrollar.

Las características generales que afectan el desempeño de un sistema colector solar, es la ubicación geográfica, la cual determina la cantidad de radiación solar captada por metro cuadrado, así como de las trayectorias solares de acuerdo a la temporada climatológica. Si consideramos las condiciones geográficas del DF, podemos saber que la radiación solar promedio captada es equivalente a 5.46 kWh/m² y una temperatura mínima de 12.8°C según la base de datos *NASA Surface meteorology and Solar Energy* (19), podemos conocer dos características importantes en nuestro diseño, una de ellas es que la energía captada por metro cuadrado es de los promedios más altos mundialmente, esto debido a la localización cercana al ecuador, y lo que nos indica que un diseño del

colector compacto puede generar buenos resultados térmicos; la temperatura mínima también es un elemento que nos permite conocer las condiciones extremas bajo las cuales deberá operar el sistema y la que nos permite saber que la congelación de nuestro flujo de agua será poco probable de originarse.

La posición geográfica también nos puede proporcionar las trayectorias solares de acuerdo la temporada y con ello conocer que las variaciones de incidencia de los rayos solares en el panel colector, sabiendo así que un sistema de seguimiento de un solo eje (vertical, azimutal u horizontal) no tendría una incidencia totalmente perpendicular al panel la cual garantizaría una mejor absorción (reduce la reflexión en los materiales, aumenta la cantidad de radiación captada), de esta manera conocemos que necesitamos un diseño con dos ejes de libertad para captar de manera perpendicular y eliminar un error de hasta 35° de inclinación según el modelo de trayectorias solares (20).

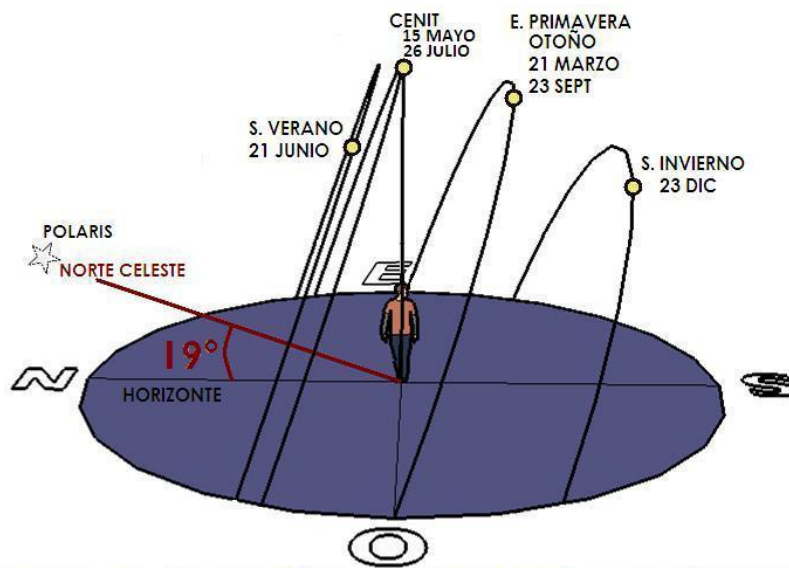


Figura 21: Movimiento del sol a lo largo del año, a una latitud de 19 ° N

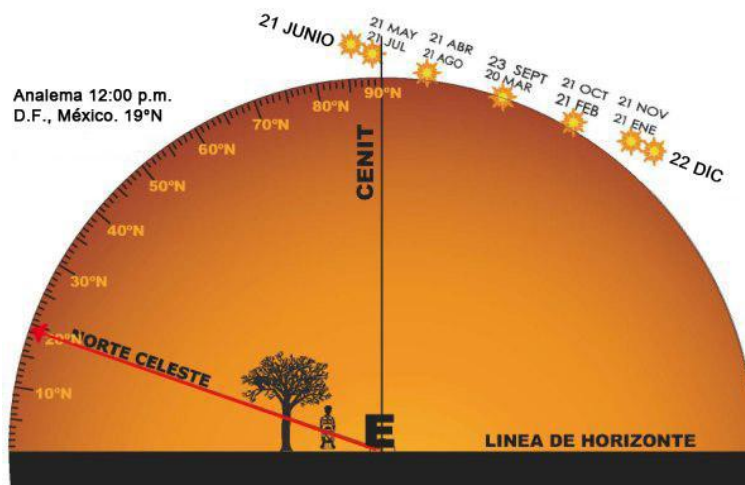


Figura 22: Trayectoria solar a lo largo del año

El factor social nos revela otros dos elementos de trascendencia para el diseño de nuestro colector, uno de ellos es el rango de temperaturas entre las cuales se utiliza el agua con fines sanitarios y el cual oscila entre los 28 y 35 °C dependiendo de los hábitos higiénicos y de confort personales. El otro elemento de relevancia para el diseño es el modo de uso de agua sanitaria que incluyen el consumo por persona para una ducha con un promedio de 40 l/persona y de los habitantes por hogar de 4.5, lo que indica un consumo diario para uso sanitario en duchas de 180 litros, es decir necesitamos un termotanque con una capacidad de 180 litros y un panel colector que tenga una capacidad mínima de 35°C ó un termotanque de la mitad de la capacidad es decir 90 litros con una capacidad mínima de 49°C.

1.3 Justificación del sistema elegido

Las características anteriores permitirán realizar un análisis de las condiciones necesarias que nos proporciona cada sistema, para incluso tomar de cada una de ellas los mejores elementos y combinarlos para realizar un modelo más eficiente y compacto planteando el siguiente procedimiento:

Necesidades:

- Que caliente más el agua que un sistema comercial.
- Que sea más eficiente que un sistema tradicional.
- Que pueda utilizarse en lugares pequeños.

Especificaciones:

- ✓ Colector con levantamiento de temperatura del agua 36°C.
- ✓ Que reciba más de 5 horas efectivas de sol diariamente.
- ✓ Colector que reciba los rayos solares en un ángulo de 90° a la superficie del panel.
- ✓ Sistema con dimensiones no mayores a 2 m².

Dichas estas especificaciones podemos conocer que elementos de los sistemas pueden ser de ayuda para cumplir con los parámetros mencionados, analizándolos por separado para conocer mejor a dichos elementos.

Sistema de calentamiento de piscinas: Este sistema no tiene termotanque por la naturaleza del uso del agua, la cual es almacenada en la propia piscina, el elemento de captura (colector) al ser de elementos plásticos, reduce el costo necesario que implica ampliar el área de captura, pues dicho sistema debe aumentar la temperatura de grandes cantidades de agua. Sin embargo, las necesidades necesarias para el calentamiento de agua de uso sanitario, requiere un elemento de almacenamiento que proporcione agua

caliente en todo momento. Otro de los elementos que limitan el diseño es la gran pérdida de energía durante la noche, pues dicho colector queda expuesto a la intemperie.

Sistema para hoteles: Este tipo de sistema cuenta con un termotanque de gran capacidad que permite almacenar mayor cantidad de ACS, además de contar con colectores más grandes para poder realizar el calentamiento de mayor flujo de agua. Es una réplica del sistema para uso doméstico, con la particularidad de trabajar con colectores en una configuración paralela. Tiene las desventajas de ser costoso, complejo, además de ser fijo lo que reduce la captación de radiación por periodos de tiempo.

Sistema de uso doméstico: Este sistema suele ser la variante reducida del sistema para hoteles, con la constante desventaja de reducir el tiempo de captación por tener elementos fijos, además de tener un termotanque pequeño que disminuye la continua alimentación de ACS durante periodos como la noche.

Sistema de uso integrado: En este sistema se cuenta con un sistema compacto, el cual concentra el colector solar y el tanque de almacenamiento en un mismo elemento, sin embargo este tipo de sistemas tiene la desventaja de tener pérdidas de calor durante la noche lo que nos provoca un flujo de ACS inconstante, otra de las desventajas de este sistema es que no posee elementos móviles y limita la captación por periodos de tiempo.

Sistema *Drain Back*: Este tipo de sistema es utilizado normalmente en zonas donde se alcanzan temperaturas de congelación del agua por el riesgo que el fluido una vez congelado reviente las tuberías o impida el libre flujo del agua a través de dicho sistema, este sistema requiere de elementos de gran capacidad aislante para el recubrimiento de elementos expuestos a la intemperie, de un líquido anticongelante que será el fluido que absorberá la energía calorífica y de un serpentín, elemento donde se realizará el intercambio de energía del anticongelante con el agua para uso sanitario. Dicho sistema como ya ha sido mencionado, es utilizado en lugares donde el registro de las temperaturas en épocas frías supera el punto mínimo de congelamiento del agua. Como el sistema se está diseñando para condiciones ambientales en la Ciudad de México, no se requerirá de utilizar dicho sistema.

Sistema de concentración solar: este sistema requiere de elementos con diseño de partes específicas y precisas, como es el caso de la superficie parabólica y la ubicación del tubo concentrador a través de brazos con dimensiones precisas, sin embargo este sistema cuenta con la gran ventaja de ahorro de materiales para la construcción del colector, pues es elemento del sistema de calentamiento solar de agua que impacta directamente sobre el costo de dicho sistema. Otra de las razones importantes que hacen a este sistema más eficiente es que dicho sistema está diseñado para realizar un seguimiento solar y con ello mejorando la forma y el tiempo de incidencia sobre el elemento colector. Es así que se elige a este sistema para desarrollar el proyecto en estudio.



Figura 23: Trayectoria solar (México)

Diseño conceptual:

De acuerdo a las especificaciones, se requiere de un sistema de seguimiento de dos grados de libertad para poder obtener las condiciones de perpendicularidad además de lograr captar un mínimo de 5 horas efectivas de sol diarias con la ayuda sensores dependiente de luz (LDR's); Al necesitar un sistema compacto, se requiere del aprovechamiento total del área de captura lo cual se puede lograr a través de un sistema parabólico, el que opera bajo el principio de convergencia de radiación a su foco, garantizando la reflexión total de la radiación captada.

Es decir, el sistema debe de ser móvil para mantener un estado de perpendicularidad y mayor tiempo de captación, dicho movimiento puede ser realizado por actuadores del tipo motorreductor de C.D. que por sus características (compactos, fáciles de controlar, potentes y económicos) pueden otorgar simplicidad al diseño, lo que no es posible con motores pasos (control más complejo, menor capacidad de torque, más caros) o motores A.C. (difícil el control de dirección).

Para el control de los actuadores, existen diferentes formas de realizarlo, sin embargo las futuras aplicaciones (autoapagado, sensado de temperatura, monitoreo de ángulos) hacen optar por un microcontrolador capaz de llevar registros, con encendido por interrupciones, conversión analógica-digital además de una amplia serie de puertos de entradas y salidas; dentro de la gama de microcontroladores con este espectro de capacidades encontramos a la familia de Microchip PIC16F (gama media) agregando que por cuestiones de precio el PIC 16F887 puede suplir un control con amplificadores operacionales sumando simplicidad en el circuito electrónico.

Los sensores ópticos que otorgan las mejores condiciones de respuesta ante pequeñas variaciones de luz captada, sencillez en su cableado y acondicionado, como elemento económico gracias a su comercialización son los sensores dependientes de luz (LDR's) capaces de otorgar una solución sencilla debido a su funcionamiento con un semiconductor capaz de absorber los fotones captados dando a los electrones la energía suficiente para saltar la banda de conducción, disminuyendo la capacidad resistiva ante un incremento de luz percibida. Proporcionando un amplio rango sensibilidad (desde los ohms hasta los megaohms), que es útil para poder diferenciar pequeñas variaciones.

Capítulo 2. Sistema de seguimiento solar

El diseño del sistema de seguimiento solar es sumamente importante en este proyecto puesto que se espera un aumento de eficiencia considerable con la implementación de dicho sistema dado que permitirá la captación de la energía de manera eficiente de forma que se logrará una incidencia de los rayos solares perpendicularmente a la superficie del colector, lo cual se logrará a través del posicionamiento con un sistema de dos grados de libertad.

2.1 Conceptualización del proceso

Los elementos que conforman al proceso de diseño del sistema de seguimiento solar, son elementos electrónicos, mecánicos e informáticos (algoritmos programables), a través de los cuales podemos asegurar que el panel colector estará perpendicular en todo momento de incidencia de los rayos solares.

El proceso comienza con la identificación de necesidades que nos orientarán a la conceptualización del sistema, las necesidades por resolver son:

- Sistema electrónico de seguimiento solar de dos grados de libertad
 - ❖ Algoritmo de seguimiento solar

- Sistema mecánico de soporte del colector solar
 - ❖ Soporte mecánico (sistema de rotación z, sistema de rotación xy)
 - ❖ Actuadores para rotaciones (“z” y “xy”)

El diseño del sistema de seguimiento se ha desarrollado en dos etapas para facilitar el análisis de los elementos que conforman el sistema, la etapa de desarrollo del algoritmo de seguimiento y la etapa de desarrollo del sistema mecánico.

2.2 Algoritmo de seguimiento

Dicho algoritmo está diseñado para ser integrado en un microcontrolador de la familia 16F y con la configuración específica para un PIC 16F887; Dicho microcontrolador ha sido elegido por la sencilla configuración electrónica que requiere con respecto a elementos como amplificadores operacionales, timers, compuertas lógicas, multiplexores, gales o algunas memorias.

Tres características con las que se cuenta este microprocesador, características como conversión analógica-digital, precisión, versatilidad (ajuste a través de programación), configuración electrónica sencilla, timer integrado, función de comparación e integración de más funciones en el mismo elemento.

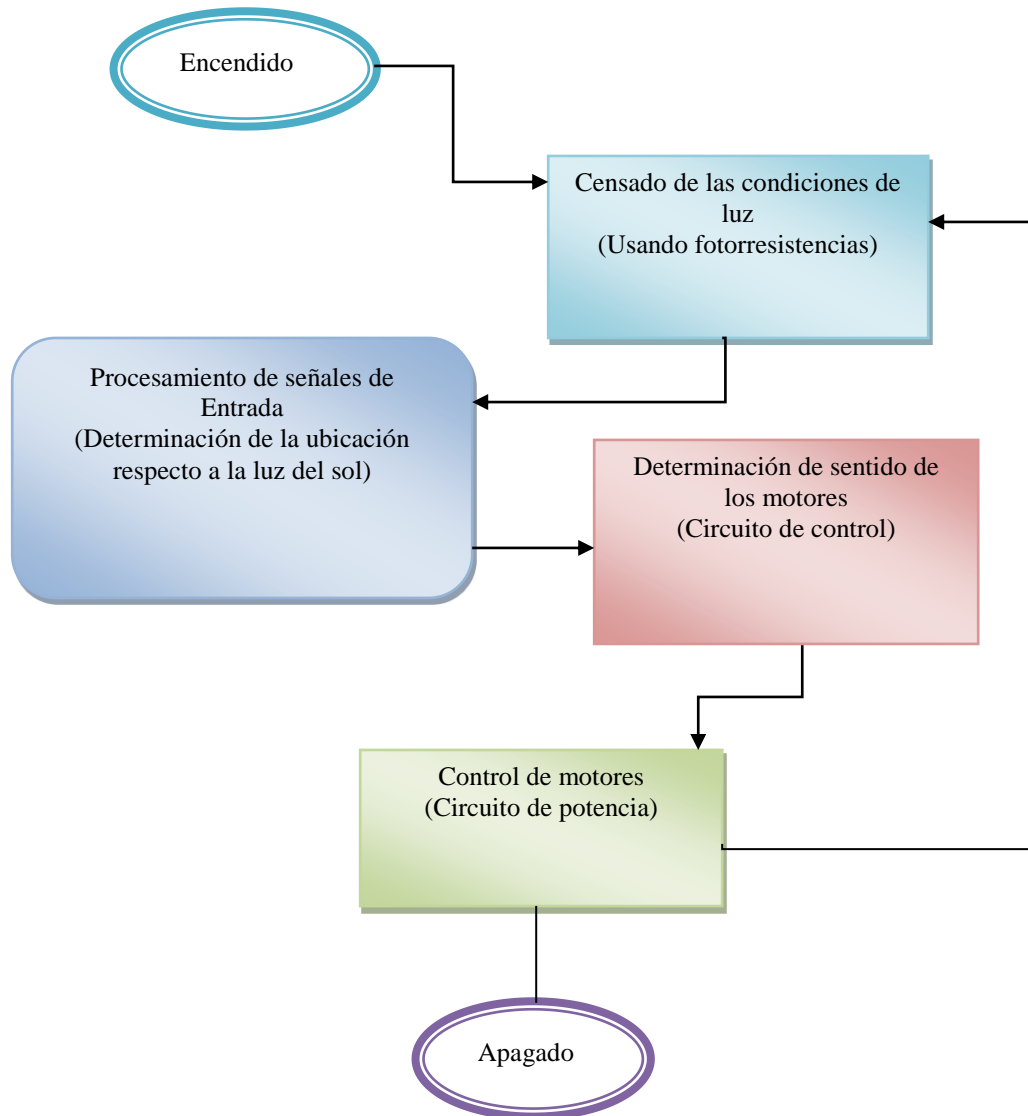


Figura 24: Algoritmo de seguimiento

2.2.1 Sistema electrónico

En la siguiente imagen podemos ver a los cuatro LDR's conectados al microcontrolador, los LDR's (resistencias dependientes de luz), están encargadas de sensar la luz ambiental y con ello incrementar o decrementar la resistencia y registrar aumentos o caídas en voltaje.

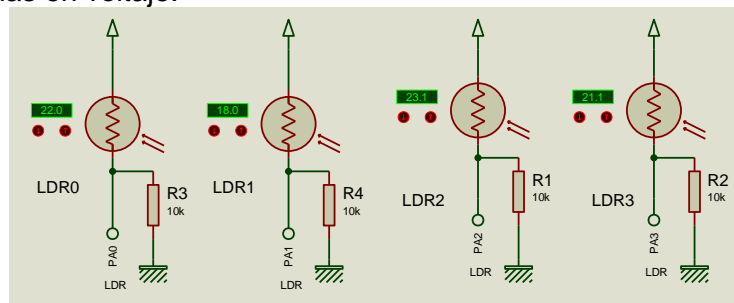


Figura 25: Sensado (LDR's)

El microcontrolador es el encargado de realizar la comparación entre los valores de voltaje registrados a sus entradas, de acuerdo a dichos valores determina si la diferencia (entre parejas de LDR's) es lo suficientemente grande para realizar un ajuste del panel con los motorreductores correspondientes.

El Puente H es el componente electrónico conectado a la salida del microcontrolador que está encargado de abastecer de la potencia adecuada a los actuadores, si las instrucciones del microcontrolador así lo indican.

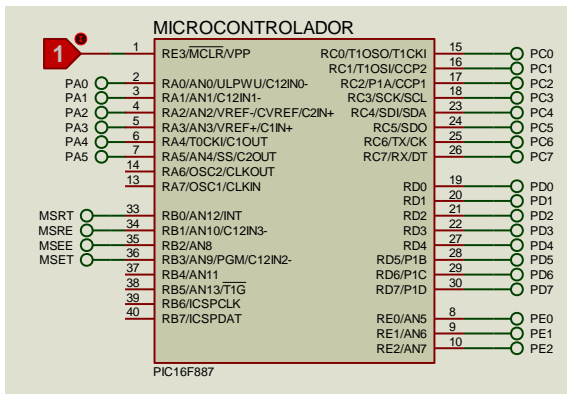


Figura 26: Microcontrolador

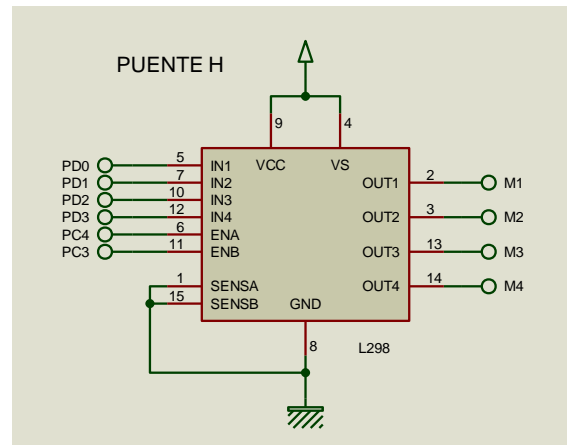


Figura 27: Puente H

Además de la ya mencionada etapa de potencia, los actuadores se encuentran conectados al Puente H, para otorgar el sentido de giro apropiado de acuerdo a las instrucciones enviadas por el microcontrolador.

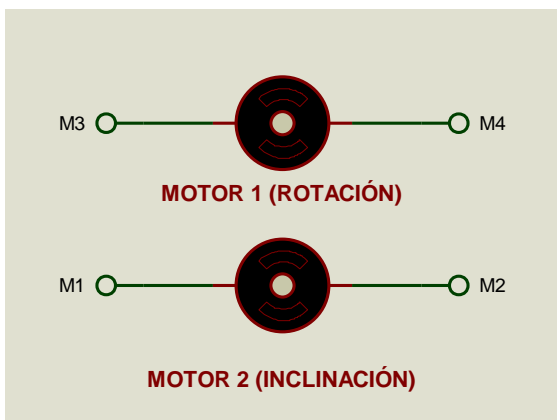


Figura 28: Actuadores

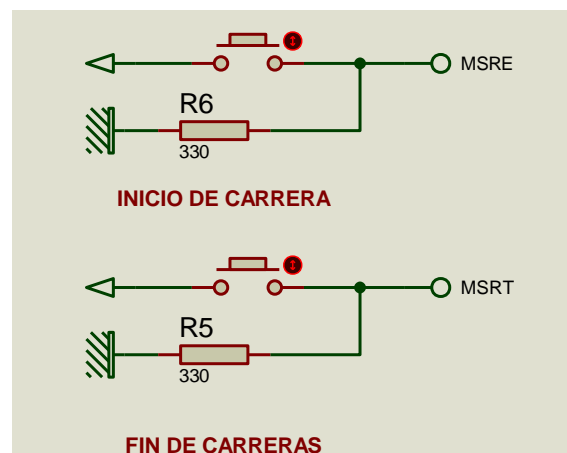


Figura 29: Sensores de inicio y fin de carrera

En la siguiente imagen se muestra el circuito electrónico completo, donde podemos visualizar de manera detallada y específica las conexiones entre los elementos electrónicos.

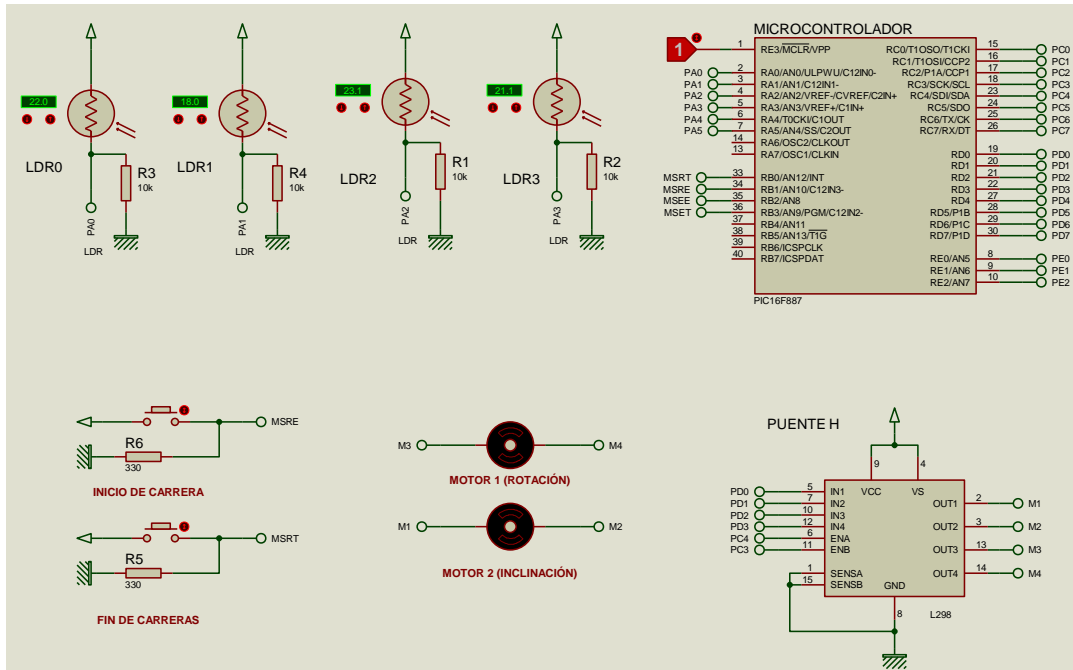


Figura 30: Circuito electrónico

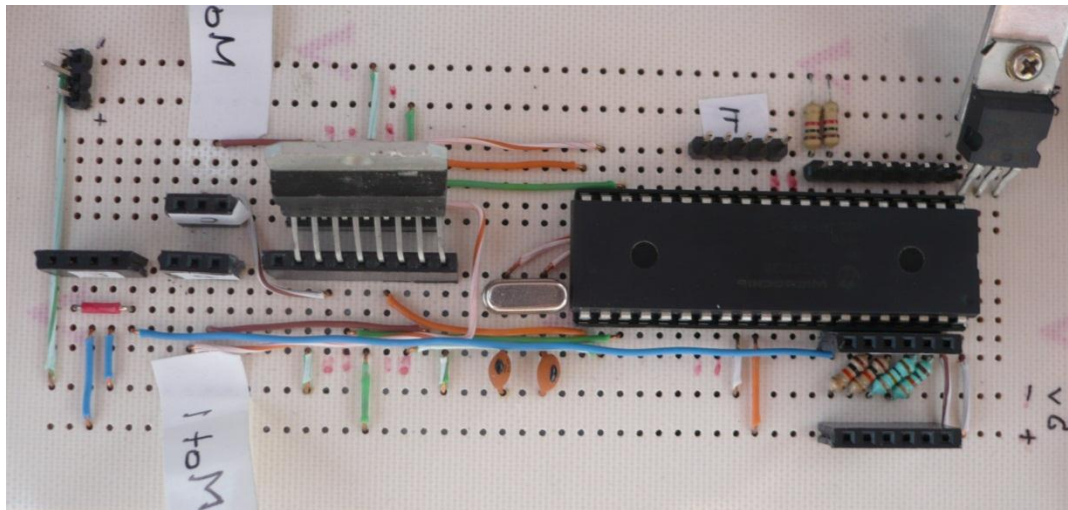


Figura 31: Circuito electrónico (modelo físico)

2.3 Prototipo de sistema mecánico

El sistema mecánico consiste en tres elementos principales que componen al sistema colector y un elemento más que compone termotanque. El sistema colector está compuesto de la base, de la estructura de giro y del panel parabólico.

2.3.1 Base

La base está diseñada para funcionar como soporte y riel de la estructura de giro, el soporte principal es hecho sobre el eje motorizado. El material elegido ha sido el perfil de C-100 (perfil cuadrado) zintro, que es un perfil de acero galvanizado de una pulgada

por lado, la unión de la estructura se realizó a través de soldaduras para ofrecer mayor resistencia en esta.

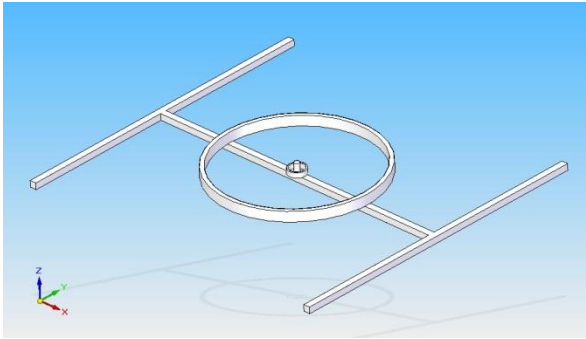


Figura 32: Base con riel

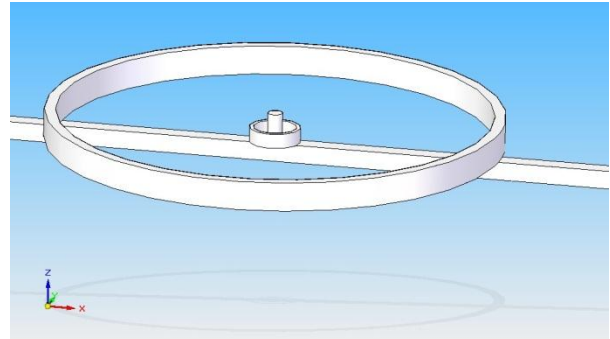


Figura 33: Acercamiento del riel

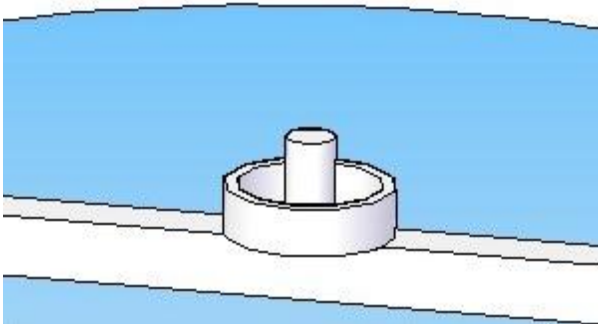


Figura 34: Acercamiento del eje principal

2.3.2 Estructura de giro

La estructura de giro aloja a los motores encargados de la rotación de la estructura y de la rotación del panel parabólico. Los materiales utilizados en esta estructura son similares a los de la base, es decir perfil C-100, además de un perfil recto de una pulgada para el ajuste de los motores de inclinación a dicha estructura. Las uniones fueron a través de soldadura, exceptuando el acople de los motores y los rodamientos, que fueron realizados con tornillos de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

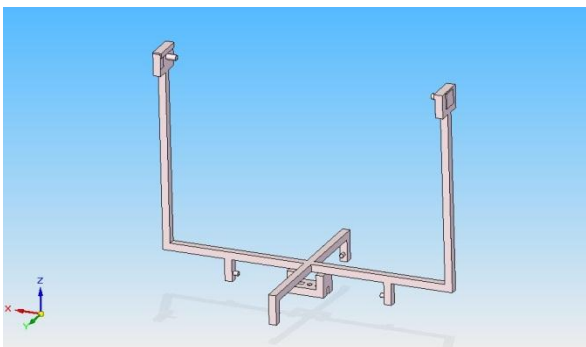


Figura 35: Estructura de giro

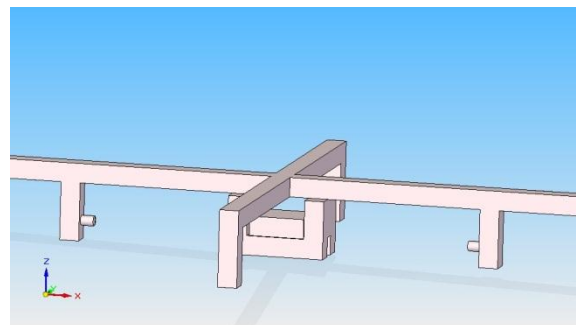


Figura 36: Estructura (motor de rotación de la estructura)

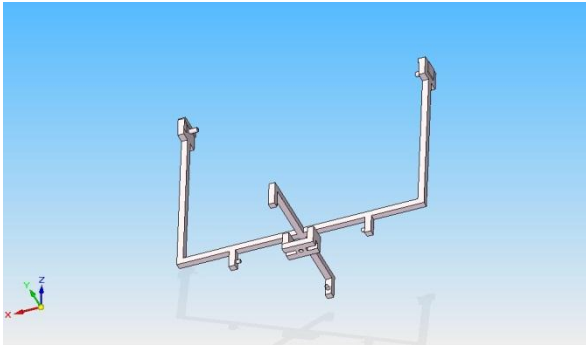


Figura 37: Estructura de giro (vista inferior)

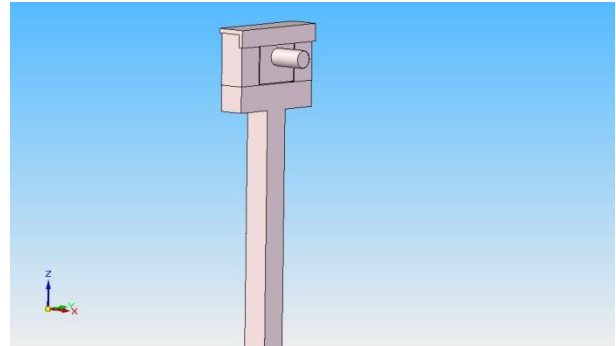


Figura 38: Brazo de la estructura de giro

2.3.3 Panel colector y actuadores para rotaciones

La estructura del panel se realizó con madera Triplay con un recubrimiento impermeable y con laca blanca para aumentar la impermeabilidad y evitar daños por condiciones atmosféricas, además de proporcionar ligereza y rigidez a la estructura contenedora de la parábola. El perfil parabólico está formado por una lámina de acero inoxidable con terminado espejo para ofrecer la mejor reflexión posible, el panel lateral contiene el perfil parabólico para alojar a la lámina.

El actuador que se requiere para realizar el trabajo de rotar al sistema, es calculado en base a las pruebas una vez que se cuente con el modelo físico, con dichas pruebas se puede obtener el torque necesario mínimo que debe de ofrecer un motorreductor para poder romper con la inercia rotacional del sistema.

Las pruebas realizadas se efectuaron con el panel montado y con dinamómetro situado a 42 cm del centro en el panel de incidencia y a 30 cm del eje de rotación principal.



Figura 39: Panel montado (pruebas)

| Prueba (No) | Panel en inclinación (N) | Distancia al eje de inclinación (cm) | Panel en rotación (N) | Distancia al eje de rotación (cm) |
|-------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1 | 8 | 42 | 4 | 30 |
| 2 | 7 | 42 | 5 | 30 |
| 3 | 7 | 42 | 4 | 30 |
| 4 | 8 | 42 | 5 | 30 |
| 5 | 7 | 42 | 5 | 30 |

Figura 40: Tabla de prueba de torque

Una vez que obtenemos los valores máximos, calculamos el torque necesario para poder ser rotado y mantenido en posición de captura.

$$T = d * F$$

Dónde:

d: es la distancia del centro a donde se aplica la fuerza

F: es la fuerza necesaria para comenzar el movimiento (el panel en inclinación para iniciar movimiento en posición de captura)

Lo cual representa un valor máximo para el panel en inclinación a 9(N) y con una d=42 cm

$$T = 8 \text{ (N)} * 42 \text{ (cm)}$$

$$T = 336 \text{ (N*cm)}$$

Para el panel de rotación tenemos que el valor máximo con los 5(N) y con una d=30 cm

$$T = 5 \text{ (N)} * 30 \text{ (cm)}$$

$$T = 150 \text{ (N*cm)}$$

En base a estos datos de torque se puede determinar que se necesitan dos motores en el panel de inclinación para dividir la carga entre ambos y así utilizar tres motores para realizar los dos movimiento (inclinación y rotación).

Las características de un motor comercialmente usado son las siguientes:

Voltaje de operación: 18-30 V
 Revoluciones: 1.85 RPM (24V)
 Torque: 22 Kg*cm (24 V) = 215 N*cm

Por lo que tendríamos para el panel de inclinación:

Dos motorreductores:

$$T = 2 * 215 \text{ (N*cm)}$$

$$T_{\text{Total}} = 430 \text{ (N*cm)}$$

Torque necesario: 336 (N*cm)

$$\text{Factor de carga} = \frac{T_{\text{total}}}{T_{\text{nece}}}$$

Factor de carga = $430 \text{ (N*cm)} / 336 \text{ (N*cm)}$

Factor de carga = 1.28

Y para la rotación de la estructura:

Un motorreductor:

$T_{\text{Total}} = 215 \text{ (N*cm)}$

$T_{\text{nece}} = 150 \text{ (N*cm)}$

Factor de carga = 1.43

Con lo cual decidimos que es apropiado para realizar el prototipo, puesto que los motores se encuentran sobrecargados en al menos 28 %.



Figura 41: Motorreductor seleccionado



Figura 42: Motorreductor en vista lateral

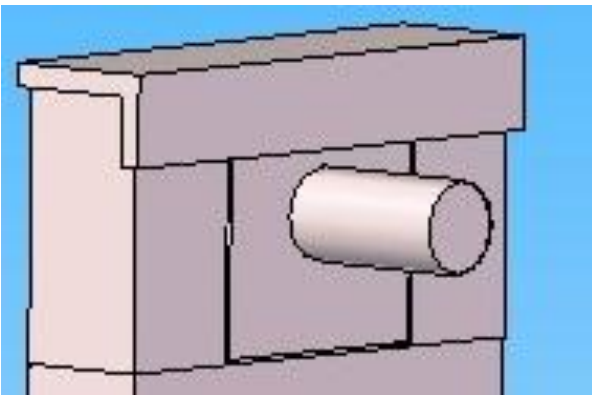


Figura 43: Acercamiento al motor de rotación del panel

2.3.4 Panel parabólico

El panel parabólico está compuesto por la lámina de reflexión ubicada sobre las placas laterales de perfil parabólico, encargado de dar forma a la lámina de reflexión, dichas placas están soportadas sobre las barras, las cuales otorgan la estructura sólida y robusta para el panel.

El diseño del perfil parabólico fue realizado en base a la ecuación conocida de la misma, la cual corresponde a:

$$y^2 = 4ax$$

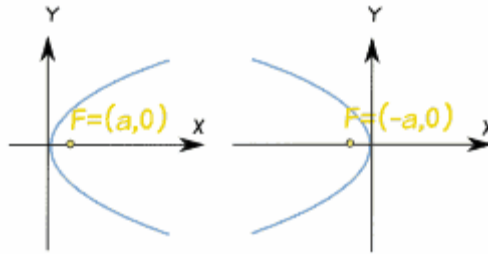


Figura 44: Perfil parabólico con centro en el origen

Donde:

a: es la distancia constante (en el eje x) del foco al origen.

Si consideramos una; a= 25 cm (parámetro para compactar la parábola)

Y remplazándola en la ecuación de la parábola tenemos para cada valor en x :

| x(cm) | y(cm) |
|-------|-------|
| 0 | 0.0 |
| 0.2 | 4.5 |
| 0.4 | 6.3 |
| 0.6 | 7.7 |
| 0.8 | 8.9 |
| 1 | 10.0 |
| 2 | 14.1 |
| 3 | 17.3 |
| 4 | 20.0 |
| 5 | 22.4 |
| 6 | 24.5 |
| 7 | 26.5 |
| 8 | 28.3 |
| 9 | 30.0 |
| 10 | 31.6 |
| 11 | 33.2 |
| 12 | 34.6 |
| 13 | 36.1 |
| 14 | 37.4 |

| | |
|----|------|
| 15 | 38.7 |
| 16 | 40.0 |
| 17 | 41.2 |
| 18 | 42.4 |
| 19 | 43.6 |
| 20 | 44.7 |
| 21 | 45.8 |
| 22 | 46.9 |
| 23 | 48.0 |
| 24 | 49.0 |
| 25 | 50.0 |
| 26 | 51.0 |
| 27 | 52.0 |
| 28 | 52.9 |
| 29 | 53.9 |
| 30 | 54.8 |

Con dichos valores se desarrolla el perfil de la parábola sobre las placas laterales de manera que pueda ser ajustada la lámina dentro de las placas.

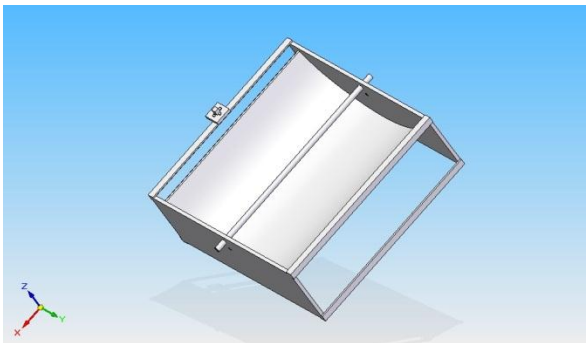


Figura 45: Panel parabólico (vista superior)

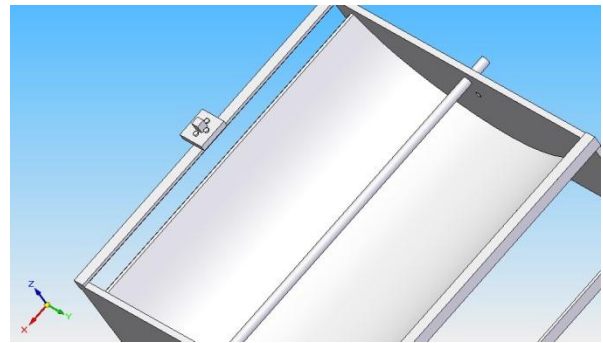


Figura 46: Acercamiento de panel parabólico

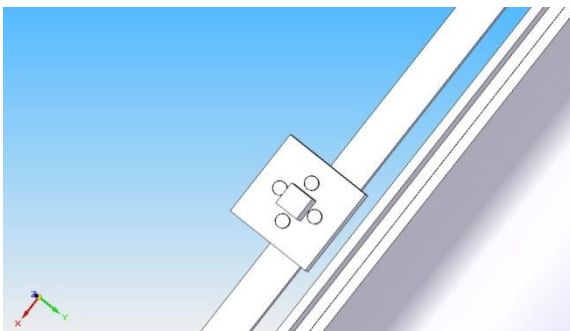


Figura 47: Acercamiento a sensores (LDR's)

2.3.5 Termotanque

El termotanque se desarrolló con dos contenedores de diferente tamaño, con el objeto de instalar al pequeño dentro del grande y así aislar al interno de las condiciones ambientales, esto se logra con una capa de espuma de poliuretano entre ambos contenedores, la espuma de poliuretano se logró tras la reacción química de los componentes y el llenado del espacio libre.

El uso de espuma de poliuretano se utilizó debido a su gran propiedad de aislamiento térmico, con lo cual se puede garantizar un almacenamiento con pérdidas mínimas

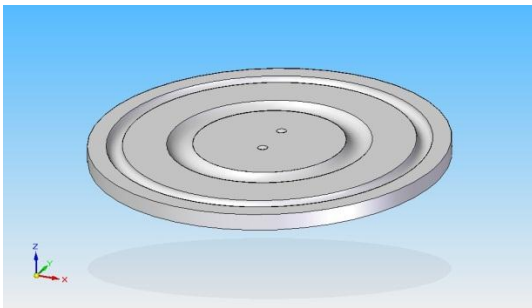


Figura 48: Tapadera con respiración

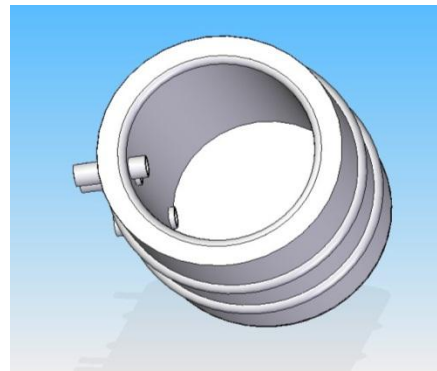


Figura 49: Termotanque (vista superior)

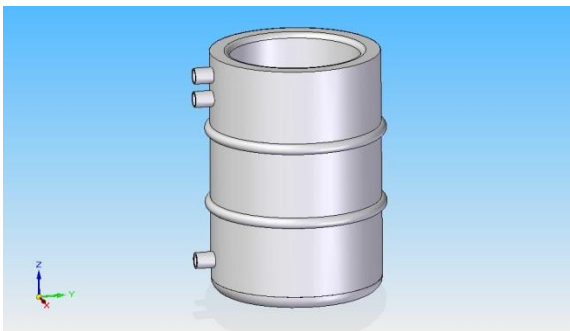


Figura 50: Termotanque vista lateral

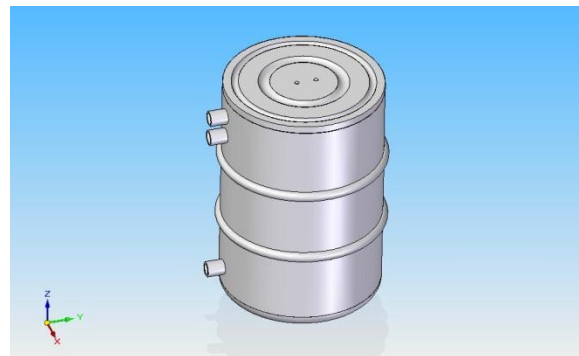


Figura 51: Termotanque cerrado

El termotanque cuenta con tres conexiones las cuales sirven para: 1. La entrada de agua desde un tinaco (conexión superior), 2. Entrada de agua caliente proveniente del panel colector con una conexión "T" para abastecer la "salida" hacia la regadera (conexión media) y 3. Salida de agua hacia el panel colector (conexión inferior).



Figura 52: Termotanque con conexiones

2.4 Simulación del sistema mecánico

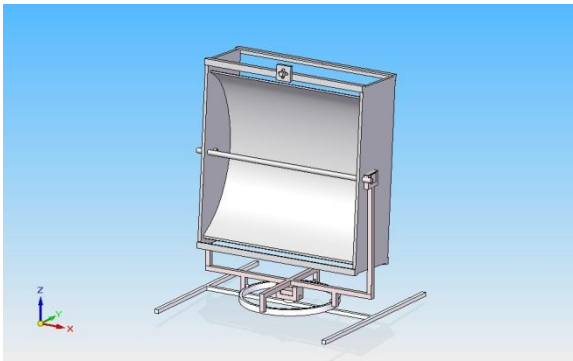


Figura 53: Ensamble del colector (posición inicial)

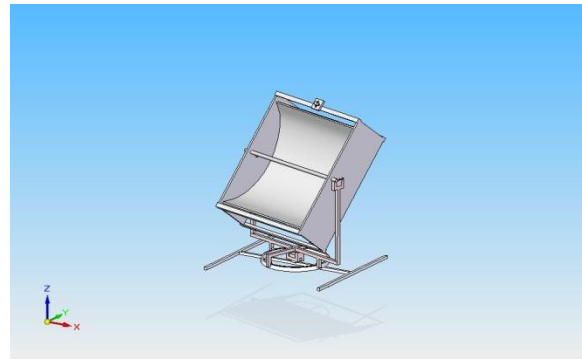


Figura 54: Ensamble (posición intermedia)

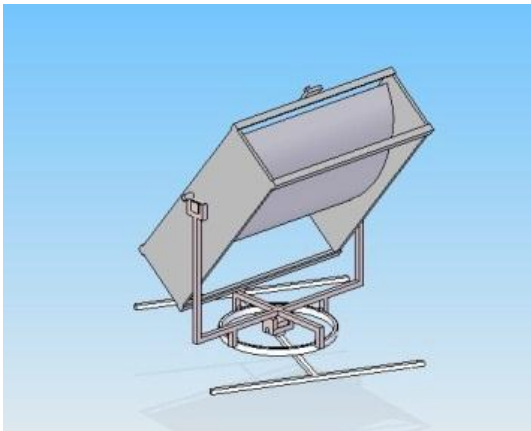


Figura 55: Ensamble (posición intermedia) vista posterior

Capítulo 3. Experimentación

3.1 Ventajas de la unión de sistemas

Las principales ventajas de esta unión son la recolección de rayos solares por periodos más largos, la recolección de manera perpendicular permite aprovechar la totalidad del área de incidencia, además de lograr una independencia en el posicionamiento adecuado a la temporada, dado que la trayectoria del sol no es la misma durante todo el año.

Estas ventajas permiten que los rayos solares incidan de manera perpendicular, reduciendo los reflejos de radiación solar, lo que mejora el aprovechamiento de la misma, además de captarla por periodos de tiempo más largos, incrementando la temperatura del agua hasta su consumo, de manera que la circulación se realiza una mayor cantidad de tiempo.

3.2 Variables involucradas

Entre las variables más importantes tenemos:

- T1: Temperatura en el tanque
- T2: Temperatura en la tubería
- T3: Temperatura en la tubería del panel de incidencia
- α : Angulo de incidencia
- β : Angulo de dirección
- t1: Torque del motor 1
- t2: Torque del motor 2
- t3: Torque del motor 3
- R1: Resistencia del LDR1
- R2: Resistencia del LDR2
- R3: Resistencia del LDR3
- R4: Resistencia del LDR4
- t: Tiempo de exposición
- TA1: Tiempo de almacenaje

Las variables de temperatura se encuentran relacionadas directamente con la variable de tiempo de exposición, la cual representa la cantidad de tiempo en que el colector se encuentra captando de manera correcta la radiación solar; otras de las variables importantes que se relaciona de manera indirecta con las temperaturas, son los valores de los sensores, encargados de realizar un reposicionamiento para mantener de manera perpendicular la radiación solar a la directriz de la parábola, manteniendo de manera confiable al tubo colector en el foco de dicha parábola.

Otras de las variables relacionadas indirectamente con los valores sensados, son los ángulos de incidencia y de rotación que son mantenidos los torques generados en los motores que a su vez están controlados por el algoritmo encargado de realizar compensaciones en los actuadores para obtener un estado estable en la captura de luz de los sensores. Dando por resultado una interrelación entre variables de temperatura,

tiempo de incidencia, voltaje (sensores), ángulos de rotación y torques desarrollados por los motores (motorreductores).

3.3 Etapa de acoplamiento de sistemas

Los sistemas requirieron de adaptaciones especiales para lograr su funcionalidad, dichas adaptaciones se realizaron en el panel colector incorporando dos motores para su rotación, que a su vez se encuentran montados sobre los brazos de rotación, en la base de dichos brazos se aloja un tercer motor que permite rotar el sistema, es decir los brazos y el panel colector.



Figura 56: Motor en vista posterior



Figura 57: Motor vista frontal



Figura 58: Sistema colector

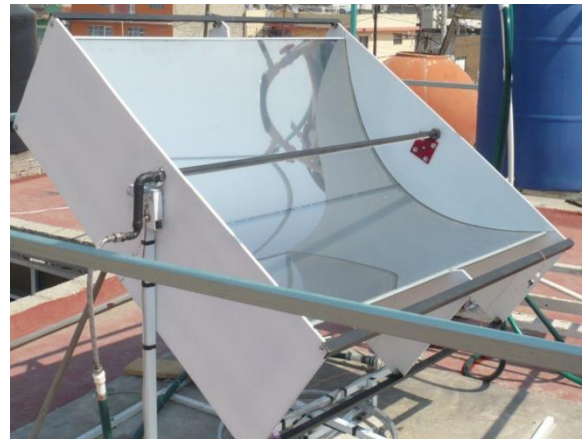


Figura 59: Panel colector (vista lateral)

La estructura de rotación requirió de una adaptación en el acople del motor al eje principal, con un perfil hecho sobre el mismo. Otro elemento modificado se realizó en las llantas que se desplazan sobre el riel, agregando un elemento que otorgara un regreso y una adaptación entre riel-llanta.



Figura 60: Llantas con rodamientos

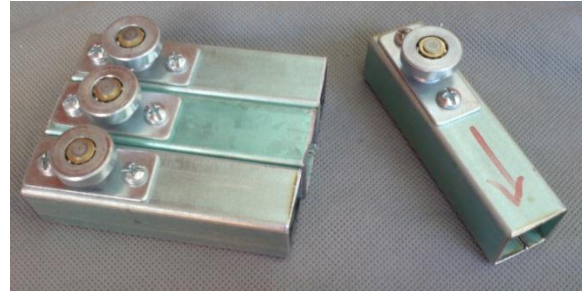


Figura 61: Rodamientos para adaptación



Figura 62: Riel y llantas montadas



Figura 63: Riel y llanta montada (acercamiento)

Los sensores fueron colocados en cada uno de los 4 lados del panel colector, además de que fueron colocados sobre de manera provisional para un posible ajuste en la cantidad de luz recibida.

3.4 Etapa de sensibilidad

Existen variaciones mínimas en la cantidad de luz captada por los LDR's que pueden alterar los resultados de la comparación en el algoritmo y generar movimiento no deseados.

Durante la etapa de pruebas se realizó el ajuste de la sensibilidad de los cuatro sensores (LDR's) por medio de una lámpara de baterías y posteriormente se realizó el ajuste con luz solar, percibiendo de manera experimental que la sensibilidad programada era la correcta.



Figura 64: Sensor superior



Figura 65: Sensor lateral derecho

3.5 Etapa de calibración

Los sensores fueron reubicados a 5 cm de distancia del borde del panel, garantizando un reposicionamiento en al menos cada 2 min, lo que representa menos de $\frac{1}{2}^\circ$ antes del siguiente reposicionamiento.

$$\begin{aligned} 360^\circ &\rightarrow 24 \text{ h} \\ 15^\circ &\rightarrow 1 \text{ h} \\ .25^\circ &\rightarrow 1 \text{ min} \\ 1^\circ/4 \text{ min} & \text{ (Un grado cada 4 min)} \end{aligned}$$

Esto significa que por cada 2 minutos la incidencia de los rayos solares cambia $\frac{1}{2}^\circ$, sin embargo el reposicionamiento lo hace en menos de 2 minutos y con esto obtenemos reposicionamiento con diferencias entre si menores a un grado.



Figura 66: Colector en operación 10 a.m.



Figura 67: Colector en operación 1:00 p.m.



Figura 68: Colector en operación 1 p.m.



Figura 69: Colector en operación 3 p.m.



Figura 70: Reflexión en el tubo colector



Figura 71: Panel solar (vista frontal)

3.6 Pruebas

En las pruebas hechas se encontraron los siguiente valores de acuerdo a la variable tiempo y representada según la Zona Horaria UTC-6:00 Ciudad de México el día 28 de marzo (antes del cambio de horario), bajo condiciones de un día soleado con temperatura de 18°C al amanecer y 25°C como máxima ambiental.

| Hora | Temperatura ambiental (°C) | Temperatura en el termotanque (°C) | Ángulo de rotación estructura (°) | Ángulo de inclinación panel (°) |
|-------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 8:00 | 18 | 18 | 0 | 0 |
| 8:30 | 18 | 20 | 8 | 30 |
| 9:00 | 19 | 22 | 15 | 34 |
| 9:30 | 19 | 24 | 23 | 38 |
| 10:00 | 20 | 26 | 30 | 44 |
| 10:30 | 20 | 28 | 38 | 50 |
| 11:00 | 21 | 30 | 45 | 55 |
| 11:30 | 22 | 33 | 53 | 60 |

| | | | | |
|-------|----|----|-----|----|
| 12:00 | 23 | 35 | 60 | 64 |
| 12:30 | 24 | 38 | 68 | 68 |
| 13:00 | 25 | 41 | 75 | 72 |
| 13:30 | 25 | 44 | 83 | 76 |
| 14:00 | 25 | 47 | 90 | 80 |
| 14:30 | 24 | 50 | 98 | 75 |
| 15:00 | 24 | 53 | 105 | 72 |
| 15:30 | 24 | 55 | 113 | 68 |
| 16:00 | 23 | 57 | 120 | 62 |
| 16:30 | 23 | 59 | 128 | 55 |
| 17:00 | 23 | 60 | 135 | 50 |
| 17:30 | 22 | 61 | 143 | 46 |
| 18:00 | 22 | 62 | 150 | 42 |
| 18:30 | 22 | 62 | 158 | 37 |
| 19:00 | 22 | 63 | 165 | 32 |

Figura 72: Bitácora de pruebas

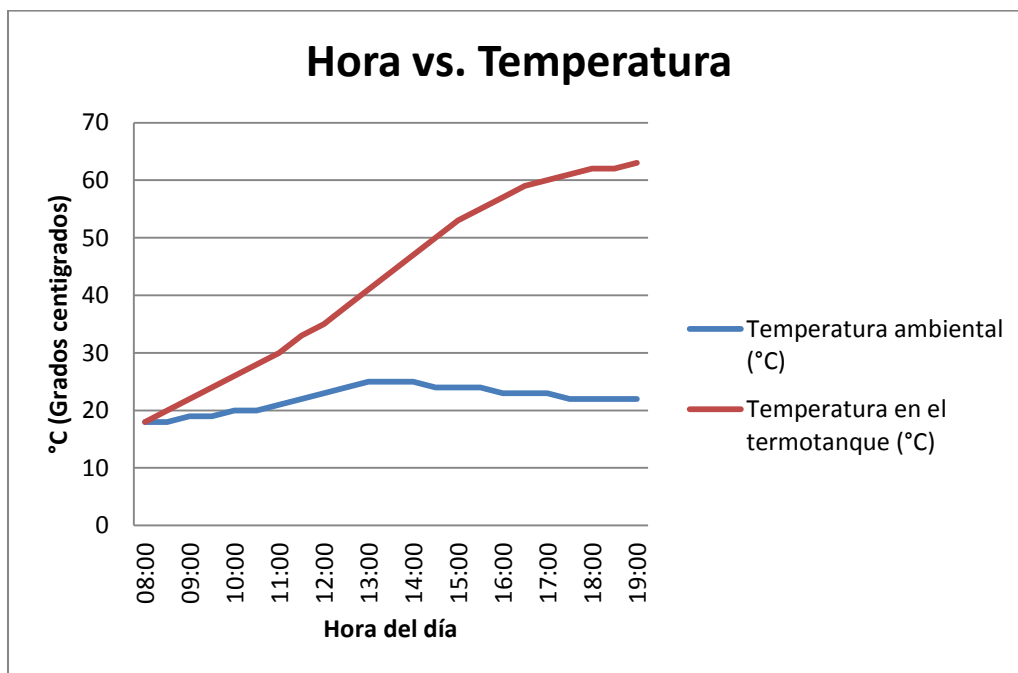


Figura 73: Gráfica "Hora vs Temperatura"

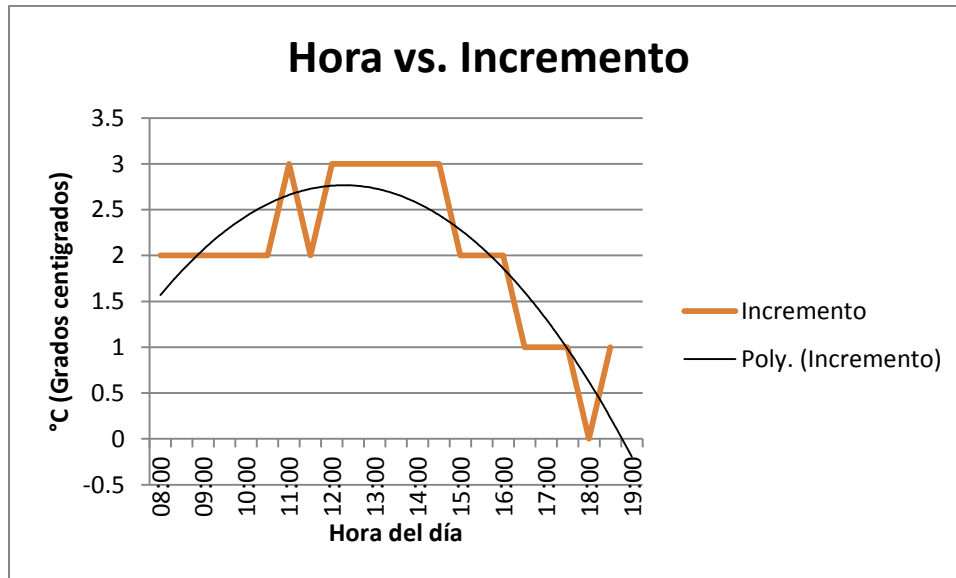


Figura 74: Gráfica "Hora vs. Incremento"

Como podemos observar en la gráfica de Hora vs. Incremento, los aumentos de temperatura más grandes con respecto al tiempo transcurrido, se llevaron entre las 11:00 y las 15:00 con 23°C, sin embargo entre las 8:00 y las 11:00 así como de entre las 15:00 y 18:00 tenemos un acumulado de 22 °C con un total de 9 horas de captura, siendo así un sistema capaz de aprovechar mejor la radiación captada, mejorando a un sistema comercial con 5 horas de captura con incrementos totales que no superan los 28°C.

Con esto podemos demostrar que un sistema con colector parabólico de dos grados de libertad tiene mejores resultados a los de un sistema tradicional, debido al mejor aprovechamiento de los recursos, tanto materiales como energéticos.

Capítulo 4. Análisis de resultados

4.1 Análisis de etapas

Durante las pruebas realizadas al sistema se encontraron elementos que realizaban su trabajo de forma inadecuada debido a factores no considerados durante el diseño de los sistemas. Entre los factores no considerados que originaron operaciones inadecuadas, fue el acarreo de elementos de conducción, es decir conductos del fluido (mangueras). Dicho acarreo incremento de manera considerable la carga total que debían soportar los motores de rotación del panel y el motor de rotación de la estructura. Además del acarreo de los conductos, el factor viento aumento la carga de los motores de rotación y produjo palanca sobre el eje principal, lo que deformó el riel en ciertas secciones. Estos factores acarrearono consigo un aumento sobre la carga que debían soportar los motores en más del doble, generando puntos máximos de carga, en donde los motores se estancaban o trababan con un elemento de seguridad interno para el mismo motor.

A través de estos elementos críticos se puede realizar un análisis de mejora para cada sistema, además de otros puntos clave que durante el ensamble y pruebas se visualizaron.

El algoritmo de seguimiento resultó funcionar de manera adecuada, lo cual se pudo comprobar al realizar la estabilización del panel, que consiste en reubicar el panel de manera perpendicular a los rayos solare, en esta etapa se comprobó el funcionamiento de posicionamiento y tiempo de respuesta al reubicar el panel, dicho tiempo de respuesta lo logra realizar de manera secuenciada hasta ubicar el panel de manera correcta en cada ciclo de las secuencias.

4.2 Mejoras posibles al sistema

El desarrollo de modificaciones posteriores al sistema total, radica en la operación correcta, disminución de costos, aumento de eficiencia y de una apariencia más liviana, sencilla y amigable para su operación. La disminución de costos reside en el mejor aprovechamiento de los materiales, eliminando partes inactivas o sobrantes, con lo que también ayudamos a la disminución de peso bruto de elementos móviles reduciendo el uso de energía utilizada para moverlo; agregando elementos aerodinámicos que reduzcan la fuerza del viento a través del corte del mismo, generando un efecto invernadero que reduzca pérdidas con el medio ambiente y aumente las temperaturas alcanzadas en el colector.

4.2.1 Sistema electrónico seguidor

Entre las posibles mejoras al sistema electrónico se considera el ahorro de energía a través del cambio de las secuencias del programa por instrucciones de interrupción en el microcontrolador, las cuales permitirían apagar temporalmente al sistema electrónico durante periodos de tiempo donde los cambios de la radiación son considerados imperceptibles o durante periodos donde no exista radiación solar como la noche o días nublados.

Otro elemento de mejora e innovación es la futura incorporación de un sensor de temperatura, que permita monitorear la temperatura con el objetivo de conocer si se ha

alcanzado la temperatura ideal para uso sanitario a través de una sencilla interfaz, además de significar otro posible ahorro si cierta temperatura es alcanzada y el agua no es utilizada, el sistema podría entrar en un apagado parcial, pues no se requeriría de más secuencia de calentamiento, además de programar dicha temperatura al sistema de manera personal, evitando la activación de un calentador posterior de resguardo.

4.2.2 Sistema mecánico

En cuanto al sistema mecánico existen tres elementos capaces de mejorar la operación y la eficiencia del sistema total, en cuanto a energía solar térmica aprovechada (aumentaría) y la energía eléctrica utilizada disminuiría.

La sustitución de los motorreductores por unos de mayor capacidad de torque mejoraría la velocidad de respuesta, pues con los motores actuales existe un sobrecargo en la capacidad de torque necesaria para romper con la inercia rotacional además aumentar la carga en más del doble cuando existen condiciones de viento adversas. Además de ser motores con la capacidad adecuada para poder realizar su trabajo en condiciones desfavorables, la adición de un freno electromagnético ayudaría a mantener la posición durante intervalos donde no hay variación, economizando energía en el reposicionamiento continuo, principalmente en el panel de incidencia.

La adición de una placa encargada de romper el viento de manera adecuada en el panel de incidencia puede ayudar además de la reducción de energía para su operación y su correcto posicionamiento, a generar el efecto invernadero en el interior del compartimento, reduciendo pérdidas con el medio ambiente y con ello aumentando su eficiencia.

El material utilizado en las placas laterales que contienen al perfil parabólico, son susceptibles de reducir su peso, generando el perfil sobre una solera de aluminio, eliminando con esto peso muerto que provoca una mayor inercia rotacional que a su vez ocasiona el uso de energía eléctrica innecesaria para su movimiento.

Con las modificaciones en el diseño del panel colector, se pretende además de reducir la masa y los efectos del viento, otorgarle un motorreductor de al menos el doble de capacidad para con ello realizar los giros más uniformes y ágiles.

4.2.3 Sistema de almacenamiento

El sistema de almacenamiento al estar elaborado de uno de los materiales mejor aislantes como es el caso de la espuma de poliuretano, solo resta generar mejoras en la forma de llenado del mismo elemento, puesto que la expansión de dicho elemento, una vez que ha reaccionado, puede resultar poco uniforme en secciones donde existe poca cantidad de aire, es decir, podemos mejorar el proceso de aislamiento en base a la experimentación y caracterizado del proceso.

Un paso previo al almacenado de ACS, es la tubería por donde circula el flujo de agua previamente calentada, es un elemento que puede actuar como disipador del calor captado, situación desfavorable pues puede llegar a descender hasta 5°C durante esta etapa, si dicha etapa se lograra aislar térmicamente, a través de un recubrimiento de fibra de vidrio o de espuma de poliuretano, se reducirían parcialmente las pérdidas aquí generadas, aumentando consigo la eficiencia.

5. Conclusiones

Se desarrolló un sistema de seguimiento solar de dos grados de libertad, en un concentrador solar del tipo parabólico que permite coleccionar los rayos solares por un lapso mayor de tiempo que el de un sistema estático tradicional el cual tiene periodos de captación de entre 5 y 6 horas de las cuales menos del 10 % se realiza de forma perpendicular disminuyendo la eficiencia del colector, mientras que con un sistema de seguimiento se garantiza la captación de más de 8 horas (dependiendo la temporada) y con un 100% captación perpendicular.

El sistema desarrollado permite aprovechar mejor la radiación solar puesto que el sistema parabólico concentra la totalidad de la energía captada en su foco, y con esto requiere de áreas de colección menores para captar la misma cantidad de energía para transferirla a nuestro fluido.

El desarrollo de este sistema de colección permite captar mejor la radiación a lo largo del año puesto que el sistema automatizado de seguimiento mantiene durante cualquier temporada, la colección de la radiación de manera perpendicular al panel, reduciendo la reflexión de esta e incrementando la eficiencia del sistema.

Las aportaciones de este trabajo benefician a la sociedad de manera directa en el uso de elementos tecnológicos que hacen a un calentador más eficiente y sustentable con plazos de recuperación de la inversión menores, además de la satisfacción por el uso de energías limpias que no dañan al medio ambiente.

Con investigación y proyectos en el área energética se pretende realizar un mejor uso de los recursos naturales (energías renovables) con el propósito de si no revertir, disminuir los efectos negativos que se están generando por el consumo desmesurado de energía de fuentes no renovables, pues es la tendencia capitalista de grandes márgenes de utilidad y no el factor tecnológico el que limita desarrollos esta área, y reflexionando sobre la gran cantidad de recursos naturales disponibles con un enfoque en energías limpias, es cómo podemos percibir la tendencia de las futuras fuentes de energía y con ello continuar con la investigación en este sector, de vital importancia para el desarrollo sustentable de empresas y hogares con compromiso social.

Apéndice A (Algoritmo de Seguimiento)

Este programa es el encargado de hacer la comparación entre los pares de valores de voltaje sensados en los LDR's para realizar la estabilización del sistema con la ejecución de instrucciones que posteriormente modificaran el estado de los motores en caso de ser necesario.

```

; PROGRAMA SEGUIDOR SOLAR
__CONFIG __CONFIG1,20F2; ; CONFIGURAMOS PALABRA
__CONFIG __CONFIG2,3FFF; ; CONFIGURAMOS PALABRA

INCLUDE P16F887.INC; ; INCLUIMOS LIBRERIA DEL PIC16F887
#DEFINE PERIODO .255 ; PERIODO EQU .255 LO DEFINIO CMO CONSTANTE Y ES POR
ESO QUE SE PUEDE CARGAR CON LW

; RAM DE PROPÓSITO GENERAL
CBLOCK 0X24 ; DECLARAMOS UN BLOQUE PARA VARIABLES (INICIA EN 0X24)
FR1 ; VARIABLE DESIGNADA AL LDR1
FR2 ; VARIABLE DESIGNADA AL LDR2
FR3 ; VARIABLE DESIGNADA AL LDR3
FR4 ; VARIABLE DESIGNADA AL LDR4
VEL1 ; VARIABLE DESIGNADA PARA DEL MOTOR 1
VEL2 ; VARIABLE DESIGNADA PARA DEL MOTOR 2
TEMP ; VARIABLE DESIGNADA PARA INICIO Y FIN DE CARRERA
RETORNO ; VARIABLE DESIGNADA PARA LA TEMPERATURA
ENDC ; DECLARAMOS QUE EL BLOQUE TERMINA AQUI
ORG 0X00 ; MEMORIA INICIO DEL PROGRAMA
GOTO INICIO ; VE A INICIO
ORG 0X04 ; VECTOR DE INTERRUPCION

INICIO ; INICIA EL PROGRAMA

BANKSEL ANSELH ; CAMBIO DE BANCO A DONDE SE UBICA ANSELH
CLRF ANSELH ; LIMPIAMOS VALORES DE ANSELH CARGANDO CEROS
BANKSEL TRISB ; CAMBIO DE BANCO A DONDE SE UBICA TRISB
MOVLW B'11111111' ; CARGAMOS 11111111 A W
MOVWF TRISB ; CARGAMOS W A TRISB = 11111111

BANKSEL ANSEL ; CAMBIO DE BANCO A DONDE SE UBICA ANSEL
MOVLW B'00001111' ; CARGAMOS EL VALOR 00001111 A W
MOVWF ANSEL ; CARGAMOS EL VALOR CONTENIDO EN W A ANSEL
BANKSEL TRISA ; CAMBIO DE BANCO A DONDE SE UBICA TRISA
MOVLW B'11111111' ; CARGAMOS EL VALOR 11111111 A W
MOVWF TRISA ; CARGAMOS EL VALOR CONTENIDO EN W A TRISA
CLRF TRISD ; LIMPIAMOS DE CUALQUIER VALOR TRISD
CLRF TRISC ; LIMPIAMOS DE CUALQUIER VALOR TRISC
MOVLW PERIODO ; CARGO EL VALOR DE PERIODO DE 255 DEFINIDO AL INICIO
MOVWF PR2 ; SE LO ASIGNO A PR2 (que va a ser el periodo del PWM)
BSF PSTRCON,STRB ; HABILITA LA SEÑAL P1B, MODIFICANDO A CERO EL BIT STRB
BANKSEL T2CON ; CAMBIAMOS DE BANCO A DONDE SE UBICA T2CON
MOVLW B'00000111' ; POS1:1 ENCCENDIDO, PRE 1:1
; PRESCALA LA MAYOR POSIBLE 1:16
MOVWF T2CON ; ASIGNAMOS A T2CON
CLRF PORTD ; LIMPIAMOS PUERTO D
CLRF PORTA ; LIMPIAMOS PUERTO A
MOVLW B'11001100' ; MODO PWM,P1B MODULADA,TODAS LAS SALIDAS ACTIVAS EN 1

```

```

MOVWF    CCP1CON    ; SE LO ASIGNAMOS A CCP1CON
MOVLW    .03        ; CARGO EL VALOR DE 3
MOVWF    CCPR1L     ; SE LO ASIGNAMOS A CCP1RL (INICIO DEL PMW)
MOVLW    B'00001100' ; MODO PWM MODULADO
MOVWF    CCP2CON    ; SE LO ASIGNAMOS A CCP2CON
MOVLW    .0         ; CARGAMOS 0 A W
MOVWF    CCPR2L     ; SE LO ASIGNAMOS A CCPR2L

```

;CONFIGURACION ANALOGICO (AN0 0000 AN1 0001... 10 11)

MOT1

```

MOVLW    B'10000001' ; FOSC/32 AN0, ENCIENDE MODULO
MOVWF    ADCON0      ; SE LO CARGO AL ADCON
CALL    DELAY        ; 19.32us
BSF     ADCON0,GO    ; INICIA CONVERSION
BTFSC   ADCON0,GO    ; PREGUNTA SI TERMINO LA CONVERSION
GOTO    $-1          ; NO, REGRESA
MOVF    ADRESH,W     ; SI MUEVE EL VALOR A W
ADDLW   .15          ; SUMAMOS W= 0+ W (DESIGNADO PARA CALIBRAR)
MOVWF   FR1          ; MOVEMOS EL VALOR DE W A FR1(valor del primer LDR)
CALL    DELAY        ; 19.32us DE RETARDO
CALL    DELAY        ; 19.32us DE RETARDO
MOVLW   B'10000101' ; FOSC/32 AN1, ENCIENDE MODULO
MOVWF   ADCON0      ; SE LO CARGO AL ADCON
CALL    DELAY        ; 19.32us DE RETARDO
BSF     ADCON0,GO    ; INICIA CONVERSION
BTFSC   ADCON0,GO    ; PREGUNTA SI TERMINO LA CONVERSION GO=0?
GOTO    $-1          ; GO=1 NO, REGRESA
MOVF    ADRESH,W     ; GO=0 SI, MUEVE EL VALOR A W
ADDLW   .15          ; SUMAMOS W= 0+ W (DESIGNADO PARA CALIBRAR)
MOVWF   FR2          ; MOVEMOS EL VALOR DE W A FR2(valor del segundo LDR)
CALL    DELAY        ; 19.32us DE RETARDO
CALL    DELAY        ; 19.32us DE RETARDO
MOVF    FR2,W        ; CARGAMOS EL VALOR EXISTENTE EN FR2 A W
SUBWFFR1,W          ; W= FR1 - W(FR2)
BTFSC   STATUS,C     ; REVISO SI HUBO ACARREO
GOTO    POS1         ; C=1 NO HUBO ACARREO, ES POSITIVO FR1 ES MAYOR

```

;C=0, SI HUBO ACARREO ES NEGATIVO (FR2 ES MAYOR)

;AHORA SE HACE FR2 - FR1

```

MOVF    FR1,W        ; CARGAMOS EL VALOR DE FR1 EN W
SUBWFFR2,W          ; AHORA W= FR2 - W (FR1)
MOVWF   VEL1         ; CARGAMOS EL VALOR EN VEL 1
MOVLW   .10          ; CARGAMOS EL VALOR 10 EN W
SUBWF   VEL1,W       ; OPERACION W= VEL1 - W (10)
BTFSC   STATUS,C     ; PREGUNTA SI C=0?
GOTO    AVA11        ; C=1 No,( o sea que vel1 es mayor que 40, pasa la tolerancia)
CLRF    CCPR1L       ; C=0 Si,( esta debajo de la tolerancia, es mejor que no se mueva)
        BCF    PORTC,4 ; DESACTIVAMOS ENABLE MOT1
        BCF    PORTD,0 ; CARGAMOS VALOR DE PD0=0
        BCF    PORTD,1 ; CARGAMOS VALOR DE PD1=0
GOTO    MOT2         ; VAMOS A ETIQUETA MOT2

```

AVA11

```

RRF     VEL1,F        ; DIVIDO ENTRE 2 PARA HACER MAS CHICA LA DIFERENCIA

```

```

BTFSC STATUS,C      ; PREGUNTA SI C=0?
BCF  VEL1,7         ; NO, C=1 HUBO ACARREO Y LIMPIO EL MAS ALTO
                        ; SI, C=0, CONTINUA DESPUES DEL SALTO

MOVLW  .100        ; CARGAMOS 240 EN W
ADDWF  VEL1,F      ; LE SUMO 240 PARA QUE LOGRE MOVER EL MOTOR VEL1=VEL1+240
BSF  PORTC,4      ; ACTIVAMOS ENABLE MOT1
BSF  PORTD,0      ; CARGAMOS VALOR DE PD0=1
BCF  PORTD,1      ; CARGAMOS VALOR DE PD1=0
MOVF  VEL1,W      ; CARGAMOS EL VALOR DE VEL1 A W
MOVWF  CCPR1L     ; LO ASIGNO AL PWM1
GOTO  MOT2        ; VAMOS A ETIQUETA MOT2

```

POS1

```

MOVF  FR2,W      ; CARGAMOS EL VALOR DE FR2 EN W
SUBWFR1,W      ; AHORA FR1= FR1 - W (FR2)
MOVWF  VEL1     ; CARGAMOS EL RESULTADO DE LA OPERACION EN VEL 1
MOVLW  .10      ; CARGAMOS EL VALOR DE 10 EN W
SUBWF  VEL1,W   ; RESTAMOS VEL1 - W
BTFSC STATUS,C ; PREGUNTAMOS SI C=0?
GOTO  AVA12    ; NO, C=1 REBASA LA TOLERANCIA DE 10
CLRF  CCPR1L   ; SI, C=0 ESTA DEBAJO DE LA TOLERANCIA, MENOR DE 10
BCF  PORTC,4   ; DESACTIVAMOS ENABLE MOT1
BCF  PORTD,0   ; CARGAMOS EL VALOR DE PD0=0
BCF  PORTD,1   ; CARGAMOS EL VALOR DE PD1=1
GOTO  MOT2     ; VAMOS A ETIQUETA MOT 2

```

AVA12

```

RRF  VEL1,F      ; DIVIDO ENTRE 2 PARA HACER MAS CHICA LA DIFERENCIA
BTFSC STATUS,C  ; PREGUNTAMOS SI C=0?
BCF  VEL1,7     ; NO, C=1, HUBO ACARREO Y LIMPIO EL MAS ALTO
                        ; SI, C=0, CONTINUA DESPUES DEL SALTO

MOVLW  .240     ; MOVEMOS 240 A W
ADDWF  VEL1,F   ; SUMAMOS VEL1= VEL1 + W (40)
BSF  PORTC,4   ; ACTIVAMOS ENABLE MOT1
BCF  PORTD,0   ; CARGAMOS EL VALOR DE PD0=0
BSF  PORTD,1   ; CARGAMOS EL VALOR DE PD1=1
MOVF  VEL1,W   ; MOVEMOS EL VALOR DE VEL1 A W
MOVWF  CCPR1L  ; MOVEMOS EL VALOR DE W (VEL1) A PWM1
GOTO  MOT2     ; VAMOS A ETIQUETA MOT2

```

MOT2

;CONFIGURACION ANALOGICO (AN0 0000 AN1 0001... 10 11)

```

MOVLW  B'10001001' ; FOSC/32 AN2, ENCIENDE MODULO
MOVWF  ADCON0      ; SE LO CARGO AL ADCON
CALL  DELAY       ; 19.32us
BSF  ADCON0,GO    ; INICIA CONVERSION
BTFSC ADCON0,GO  ; PREGUNTA SI TERMINO LA CONVERSION GO=0?
GOTO  $-1        ; NO, GO=1 REGRESA UNA LINEA
MOVF  ADRESH,W    ; SI, GO=0 MUEVE EL VALOR ADRESH A W
ADDLW  .15       ; SUMAMOS W= 0+ W (DESIGNADO PARA CALIBRAR)
MOVWF  FR3       ; MOVEMOS EL VALOR W EN FR3 (valor del tercer LDR)
CALL  DELAY       ; 19.32us DE RETARDO

```

```

MOVLW  B'10001101' ; FOSC/32 AN3, ENCIENDE MODULO
MOVWF  ADCON0      ; SE LO CARGO AL ADCON

```

```

CALL DELAY ; 19.32us
BSF ADCON0,GO ; INICIA CONVERSION
BTFSC ADCON0,GO ; PREGUNTA SI TERMINO LA CONVERSION GO=0?
GOTO $-1 ; NO, GO=1 REGRESA UNA LINEA
MOVF ADRESH,W ; SI, GO=0 MUEVE EL VALOR ADRESH A W
ADDLW .15 ; SUMAMOS W= 0+ W (DESIGNADO PARA CALIBRAR)
MOVWF FR4 ; MOVEMOS EL VALOR DE W EN FR4 (valor de la cuarta LDR)
CALL DELAY ; 19.32us DE RETARDO

MOVF FR4,W ; MOVEMOS FR4 A W
SUBWFFR3,W ; W= FR3 - W(FR4)
BTFSC STATUS,C ; REVISO SI HUBO ACARREO C=0?
GOTO POS2 ; NO, C=1 NO HUBO ACARREO, ES POSIT FR3 ES MAYOR VA A POS 2
; SI, C=0 SI HUBO ACARREO ES NEGATIVO (FR4 ES MAYOR)
; AHORA SE HACE FR4 - FR3

MOVF FR3,W ; MOVEMOS FR3 A
SUBWFFR4,W ; AHORA W= FR4 - W (FR3)
MOVWF VEL2 ; MOVEMOS W A VEL2
MOVLW .10 ; CARGAMOS 10 A W (TOLERANCIA)
SUBWFVEL2,W ; RESTAMOS VEL2-W
BTFSC STATUS,C ; PREGUNTAMOS SI C=0?
GOTO AVA21 ; NO, C=1, VEL2 ES MAYOR QUE 10 OSEA QUE SUPERA LA TOL.
CLRF CCPR2L ; SI, C=0, VEL2 ES MENOR QUE 10, ESTA DENTRO DE LA TOLERANCIA
BCF PORTC,3 ; DESACTIVAMOS ENABLE MOT2
BCF PORTD,2 ; CARGAMOS PD2=0
BCF PORTD,3 ; CARGAMOS PD3=0
CALL DELAY1
GOTO TEMPE ; VAMOS A ETIQUETA TEMPE

AVA21
MOVLW .240 ; CARGAMOS 240 EN W
ADDWF VEL2,F ; LE SUMO 240 PARA QUE LOGRE MOVER EL MOTOR W=VEL2+(W)240
MOVWF VEL2 ; MOVEMOS A W
BSF PORTC,3 ; ACTIVAMOS ENABLE MOT2
BSF PORTD,2 ; CARGAMOS PD2=1
BCF PORTD,3 ; CARGAMOS PD3=0
MOVF VEL2,W ; MOVEMOS VEL2 A W
MOVWF CCPR2L ; LO ASIGNO AL PWM2
CALL DELAY1
GOTO TEMPE ; VAMOS A ETIQUETA TEMPE

;NO HUBO ACARREO, ES POSITIVO FR3 ES MAYOR

POS2
MOVF FR4,W ; MOVEMOS FR4 A W
SUBWFFR3,W ; AHORA W= FR3 - W(FR4)
MOVWF VEL2 ; MOVEMOS EL VALOR CONTENIDO EN W A VEL2
MOVLW .10 ; MOVEMOS 10 A W
SUBWFVEL2,W ; RESTAMOS VEL2 - W
BTFSC STATUS,C ; PREGUNTAMOS SI C=0?
GOTO AVA22 ; NO, C=1 VEL2 ES MAYOR QUE 10, SUPERA LA TOLERANCIA, SM
CLRF CCPR2L ; SI, C=0 VEL2 ES MENOR QUE 10, DENTRO DE LA TOLERANCIA NM
BCF PORTC,3 ; DESACTIVAMOS ENABLE MOT2
BCF PORTD,2 ; CARGAMOS PD2=0
BCF PORTD,3 ; CARGAMOS PD3=0
CALL DELAY1 ; LLAMAMOS A UN DELAY DE
GOTO TEMPE ; VAMOS A ETIQUETA TEMPE

```

```

AVA22
MOVLW      .240      ; CARGAMOS 240 EN W
ADDWF      VEL2,F    ; LE SUMO 240 PARA QUE LOGRE MOVER EL MOTOR W=VEL2+(W)240
MOVWF      VEL2      ; MOVEMOS EL VALOR W A VEL2
BSF        PORTC,3   ; ACTIVAMOS ENABLE MOT2
BCF        PORTD,2   ; CARGAMOS PD2=0
BSF        PORTD,3   ; CARGAMOS PD3=1
MOVF       VEL2,W    ; MOVEMOS EL VALOR DE VEL2 A W
MOVWF      CCPR2L    ; MOVEMOS EL VALOR DE W A PWM1
CALL       DELAY1
GOTO      TEMPE      ; VAMOS A ETIQUETA TEMPE

TEMPE
BTFSS     PORTB,0    ; PREGUNTAMOS PB0=1?
GOTO      MOT1      ; NO, VE A MOT1
GOTO      FIN        ; SI, VE A FIN

FIN
BSF        PORTC,4   ; ENCENDENMOS PB4, ENEABLE MOTOR 1
BSF        PORTD,0   ; ENCENDEMOS SECUENCIA DE REGRESO MOTOR 1
BCF        PORTD,1   ; ENCENDEMOS SECUENCIA DE REGRESO MOTOR 1
MOVLW      .255      ; MOVEMOS 255 A W
MOVWF      CCPR1L    ; MOVEMOS EL VALOR DE W A PWM1
CALL       DELAY1    ; LLAMAMOS A UN DELAY1
BTFSS     PORTB,1    ; PREGUNTAMOS SI PB1=1
GOTO      FIN        ; NO, NO HA LLEGADO A P.INICIAL
BCF        PORTC,4   ; SI, APAGAMOS ENEABLE DEL MOTOR1
BCF        PORTD,0   ; APAGAMOS SECUENCIA DE REGRESO
BCF        PORTD,1   ; APAGAMOS SECUENCIA DE REGRESO
GOTO      MOT1      ; VAMOS A ETIQUETA MOT 1
INCLUDE    DSUBPRO.INC ; INCLUIAMOS LIBRERIA DE DELAY
END        ; FIN DEL PROGRAMA

```

Apéndice B (Sub-Programa de Retrasos)

```
                                ; RAM DE PROPOSITO GENERAL
DEL_TMP0    EQU    0X70
DEL_TMP1    EQU    0X71
DEL_TMP2    EQU    0X72

                                ;SUBPROGRAMA CON TRIPLE CICLO ANIDADO
DELAY
    MOVLW    .1                ;W=1
    MOVWF    DEL_TMP0         ;TMP0=W

    MOVLW    .9                ;W=9
    MOVWF    DEL_TMP1         ;TMP0=W

    MOVLW    .2                ;W=2
    MOVWF    DEL_TMP2         ;TMP0=W

    DECFSZ   DEL_TMP2,F       ;TMP2--, TMP2==0?
    GOTO     $-1              ;NO, VE HA DEL2

    DECFSZ   DEL_TMP1,F       ;TMP1--, TMP1==0?
    GOTO     $-5              ;NO, VE HA DEL1

    DECFSZ   DEL_TMP0,F       ;TMP0--, TMP0==0?
    GOTO     $-9              ;NO, REGRESA 9 RENGLONES
    RETURN                                ; FIN DE PROGRAMA

DELAY1
    MOVLW    .105             ;W=105
    MOVWF    DEL_TMP0         ;TMP0=W

    MOVLW    .89              ;W=89
    MOVWF    DEL_TMP1         ;TMP0=W

    MOVLW    .177             ;W=177
    MOVWF    DEL_TMP2         ;TMP0=W

    DECFSZ   DEL_TMP2,F       ;TMP2--, TMP2==0?
    GOTO     $-1              ;NO, VE HA DEL2

    DECFSZ   DEL_TMP1,F       ;TMP1--, TMP1==0?
    GOTO     $-5              ;NO, VE HA DEL1

    DECFSZ   DEL_TMP0,F       ;TMP0--, TMP0==0?
    GOTO     $-9              ;NO, REGRESA 9 RENGLONES

    RETURN                                ; FIN DE PROGRAMA
```

Tabla de Imágenes

| | |
|---|----|
| Figura 1: Seguidor solar fotovoltaico | 8 |
| Figura 2: Seguidor solar de dos ejes | 8 |
| Figura 3: Sistema de seguimiento polar | 9 |
| Figura 4: Seguidor solar azimutal | 9 |
| Figura 5: Sistema de seguimiento horizontal | 10 |
| Figura 6: Panel solar tradicional | 11 |
| Figura 7: Tubo vidrio al vacío | 11 |
| Figura 8: Sistema "Heat Pipe" | 12 |
| Figura 9: Perfil del colector parabólico | 13 |
| Figura 10: Colector industrial Acurex 3001 | 13 |
| Figura 11: PSA (Planta Solar de Almería) | 13 |
| Figura 12: Instrumentación con LDR's | 14 |
| Figura 13: Sistema Solar Fotovoltaico | 14 |
| Figura 14: Radiación solar | 16 |
| Figura 15: Colector solar plástico | 18 |
| Figura 16: Sistema solar para hotel | 18 |
| Figura 17: Corte de colector solar plano | 19 |
| Figura 18: Sistema integrado | 19 |
| Figura 19: Sistema Drain Back | 20 |
| Figura 20: Sistema de concentración parabólico | 20 |
| Figura 21: Movimiento del sol a lo largo del año, a una latitud de 19 ° N | 22 |
| Figura 22: Trayectoria solar a lo largo del año | 22 |
| Figura 23: Trayectoria solar (México) | 25 |
| Figura 24: Algoritmo de seguimiento | 27 |
| Figura 25: Sensado (LDR's) | 27 |
| Figura 26: Microcontrolador | 28 |
| Figura 27: Puente H | 28 |
| Figura 28: Actuadores | 28 |
| Figura 29: Sensores de inicio y fin de carrera | 28 |
| Figura 30: Circuito electrónico | 29 |
| Figura 31: Circuito electrónico (modelo físico) | 29 |
| Figura 32: Base con riel | 30 |
| Figura 33: Acercamiento del riel | 30 |
| Figura 34: Acercamiento del eje principal | 30 |
| Figura 35: Estructura de giro | 30 |
| Figura 36: Estructura (motor de rotación de la estructura) | 30 |
| Figura 37: Estructura de giro (vista inferior) | 31 |
| Figura 38: Brazo de la estructura de giro | 31 |
| Figura 39: Panel montado (pruebas) | 31 |
| Figura 40: Tabla de prueba de torque | 32 |
| Figura 41: Motorreductor seleccionado | 33 |
| Figura 42: Motorreductor en vista lateral | 33 |
| Figura 43: Acercamiento al motor de rotación del panel | 33 |
| Figura 44: Perfil parabólico con centro en el origen | 34 |
| Figura 45: Panel parabólico (vista superior) | 35 |
| Figura 46: Acercamiento de panel parabólico | 35 |
| Figura 47: Acercamiento a sensores (LDR's) | 35 |
| Figura 48: Tapadera con respiración | 36 |
| Figura 49: Termotanque (vista superior) | 36 |
| Figura 50: Termotanque vista lateral | 36 |

| | |
|--|----|
| <i>Figura 51: Termotanque cerrado</i> | 36 |
| <i>Figura 52: Termotanque con conexiones</i> | 37 |
| <i>Figura 53: Ensamble del colector (posición inicial)</i> | 37 |
| <i>Figura 54: Ensamble (posición intermedia)</i> | 37 |
| <i>Figura 55: Ensamble (posición intermedia) vista posterior</i> | 37 |
| <i>Figura 56: Motor en vista posterior</i> | 39 |
| <i>Figura 57: Motor vista frontal</i> | 39 |
| <i>Figura 58: Sistema colector</i> | 39 |
| <i>Figura 59: Panel colector (vista lateral)</i> | 39 |
| <i>Figura 60: Llantas con rodamientos</i> | 40 |
| <i>Figura 61: Rodamientos para adaptación</i> | 40 |
| <i>Figura 62: Riel y llantas montadas</i> | 40 |
| <i>Figura 63: Riel y llanta montada (acercamiento)</i> | 40 |
| <i>Figura 64: Sensor superior</i> | 41 |
| <i>Figura 65: Sensor lateral derecho</i> | 41 |
| <i>Figura 66: Colector en operación 10 a.m.</i> | 41 |
| <i>Figura 67: Colector en operación 1:00 p.m.</i> | 41 |
| <i>Figura 68: Colector en operación 1 p.m.</i> | 42 |
| <i>Figura 69: Colector en operación 3 p.m.</i> | 42 |
| <i>Figura 70: Reflexión en el tubo colector</i> | 42 |
| <i>Figura 71: Panel solar (vista frontal)</i> | 42 |
| <i>Figura 72: Bitácora de pruebas</i> | 43 |
| <i>Figura 73: Gráfica "Hora vs Temperatura"</i> | 43 |
| <i>Figura 74: Gráfica "Hora vs. Incremento"</i> | 44 |

Bibliografía y Mesografía

1. **Empresa de Alumbrado Eléctrico de Ceuta.** FE. [En línea] Febrero de 2007. [Citado el: 14 de Enero de 2011.] <http://www.electricadecruta.com>.
2. **SUMISERAN.** Suministros y Servicios Andaluces. [En línea] Febrero de 2006. [Citado el: 12 de Noviembre de 2010.] <http://www.sumiseran.es/contents/es/d18.html>.
3. *Optimization of solar flat collector inclination.* **Moghadam, Hamid, Farshchi, Farshad y Solfaghari, Ashkan.** Iran : s.n., 18 de Julio de 2009, University of Sistan and Baluchestan.
4. *Non-gray radiative and conductive heat transfer in single and double glazing solar collector glass covers.* **Maatouk, Khoukhi.** Japón : Tohoku University, 2005.
5. **Thermosol S.A. de C.V.** Thermosol. [En línea] Febrero de 2009. [Citado el: 11 de Marzo de 2011.] <http://www.thermosol.com.mx>.
6. *Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters.* **Budihardjo, I. y Morrison, G.L.** Sidney, Australia : University of New South Wales, 16 de Abril de 2008, School of Mechanical and Manufacturing Engineering.
7. *An experimental study of the utilization of heat pipes for solar water heaters.* **Chun, Wongee, Kang, Yong Heack y Kwak, Hee Youl.** Cheju, Corea del Sur : s.n., 1999.
8. *Development of heat pipes for solar water heaters.* **Akyurt, Mehmet.** Saudita, Arabia : King Abdulaziz University, Agosto de 2003, Mechanical Engineering.
9. **Odeh, S.D., Morrison, G.L y Behnia, M.** *Modelling of parabolic trough direct steam generation solar collectors.* Sidney : EORIN VANT-HULL, 1998.
10. **Fernández García, A., y otros, y otros.** *Parabolic-trough solar collectors and their applications.* Almería : Departamento de Física Aplicada, Universidad de Almería, 2009.
11. **Montes, M.J., y otros, y otros.** *Solar multiple optimization for a solar only thermal power plant, using oil as heat transfer fluid in the parabolic trough collectors.* [ed.] Robert Pitz-Paal. Madrid : s.n., 2009.
12. **Navarro, Predro J., y otros, y otros.** *Energía solar fotovoltaica: Seguidor solar en dos ejes.* [ed.] Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena : Departamento de Tecnología Electrónica, 2008.
13. **Ukria Lus, Iñaki y Sebastián.** *Energía renovable práctica.* Navarra : Pamiela, 2003.
14. **BUN-CA.** *Manuales sobre energía renovables. Solar Térmica.* San José : s.n., 2002.
15. **Escoda, Salvador.** *Manual Técnico: Energía Solar Térmica.* Barcelona : E Salvador Escoda S.A., 2009.
16. **Nandwani, Shyam S.** *Calentador solar de agua.* Costa Rica : Universidad Nacional, Heredia, 2006.
17. **Caloryfrio.com.** Aire acondicionado calefacción. *Caloryfrio.com.* [En línea] 5 de Octubre de 2010. [Citado el: 17 de Enero de 2011.] <http://www.electricadecruta.com/portal/index.php?id=energiasolar>.
18. **TecnoDesarrollos.** TecnoDesarrollos. [En línea] [Citado el: 20 de Enero de 2011.] <http://tecnodeesarrollos.com.mx/ConcentradorSolar.html>.
19. **NASAOfficial: John M. Kusterer.** NASA Surface meteorology and Solar Energy. [En línea] NASA Langley ASDC. [Citado el: 5 de Mayo de 2011.] <http://eosweb.larc.nasa.gov>.
20. *Modelo para representar la trayectoria del sol sobre el globo terrestre.* **Lara, Ilce Tlanezi y Fierro, Julieta.** México : Instituto de Astronomía, 2009.