

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

FACULTAD DE INGENIERIAS

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR
SOLAR PARABÓLICO GIRATORIO DE MEDIANA
TEMPERATURA.

AUTORES:

IBARRA SALAZAR BYRON ALEJANDRO

ROJAS PACHECO FRANKLIN JAVIER

DIRECTOR:

ING. TOMÁS IBUJÉS VILLACÍS

Quito, 2012

Certifico que la presente tesis fue
realizada en forma total por los
señores:

Byron Alejandro Ibarra Salazar y
Franklin Javier Rojas Pacheco.

Ing. Tomás Ibujés Villacís

DIRECTOR DE TESIS

Octubre 2012

AGRADECIMIENTO

A Dios, por habernos permitido llegar hasta este punto y dado la salud para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A nuestros familiares por su apoyo incondicional a lo largo de nuestras vidas y dentro de la carrera.

A nuestro director de tesis Ing. Tomás Ibujés Villacís, por el apoyo brindado en todos estos meses, dándonos la oportunidad de contar con sus conocimientos, habilidades y disposición de tiempo para contribuir al desarrollo y culminación de la tesis.

DEDICATORIA

Dedicamos este triunfo a nuestros
padres:

Enma Pacheco (Franklin R.)

Vicente Ibarra y Ana Salazar (Byron I.)

Y a nuestros hijos:

Josué Rojas (Franklin R.)

Miguel Ibarra (Byron I.)

INDICE GENERAL

Contenido	Página
Planteamiento del problema.....	IX
Justificación.....	X
Alcance.....	XI
Objetivos.....	XII
Objetivo general.....	XI
Objetivos específicos.....	XII

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1	Introducción.....	1
1.2	Mecanismos de transferencia de calor.....	1
1.2.1	Conducción.....	2
1.2.1.1	Conductividad térmica.....	4
1.2.2	Convección.....	5
1.2.3	Radiación.....	7
1.2.3.1	Emisividad.....	8
1.2.3.2	Absortividad, reflectividad y transmisividad.....	9
1.3	Energía solar.....	12
1.3.1	Generalidades.....	12
1.3.2	Introducción.....	12
1.3.3	El Sol.....	13

1.3.4	Características físicas.....	13
1.3.5	Efecto atmosférico sobre la radiación.....	14
1.3.6	Irradiación y constante solar.....	14
1.3.7	Componentes de la radiación en la superficie.....	15
1.3.8	Recurso solar en el Ecuador.....	19
1.4	Colectores solares térmicos (CST).....	21
1.4.1	Definición.....	21
1.4.2	Características de los colectores solares térmicos.....	21
1.4.3	Clasificación de los colectores solares térmicos.....	22
1.4.4	Colectores solares de baja temperatura.....	23
1.4.4.1	Colector solar plano.....	23
1.4.4.2	Colector solar de tubos al vacío.....	24
1.4.5	Colectores solar de mediana y alta temperatura.....	25
1.4.5.1	Colectores solar cilíndricos parabólicos.....	25
1.4.5.2	Colectores solares de concentración parabólico.....	26
1.4.5.3	Torre receptora con heliostatos.....	27

CAPITULO II: DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR PARABÓLICO

2.1	Introducción.....	28
2.2	Instalaciones para el suministro de agua potable.....	28
2.2.1	Generalidades.....	28
2.2.2	Materiales utilizados para el suministro de agua potable.....	28
2.2.2.1	Tubería de plomo.....	29
2.2.2.2	Tubería de acero galvanizado.....	29
2.2.2.3	Tuberías de plástico.....	30
2.2.2.4	Tubería de cobre.....	31
2.3	Determinación de la ecuación de la parábola.....	34
2.3.1	Parábola.....	34

2.4	Determinación del intercambio de calor por radiación.....	38
2.4.1	Absortividad, reflectividad y transmisividad.....	38
2.4.2	Radiación incidente en Quito DM.....	39
2.4.3	Energía total incidente.....	41
2.4.4	Temperatura de salida del agua del colector vs. Tiempo de calentamiento.....	44
2.5	Mecanismo de seguimiento del colector al sol.....	47
2.5.1	Sistema del seguimiento al sol utilizando motores a pasos (automático – eléctrico).....	48
2.5.1.1	Selección y control del motor a pasos a utilizar en el colector.....	50
2.5.1.2	Software de control para el motor a pasos.....	52
2.5.1.3	Determinación del peso del colector.....	53
2.5.1.4	Cálculo de la potencia del motor a pasos.....	54
2.5.2	Sistema de seguimiento al sol por el sistema de péndulo (mecánico – manual).....	55
2.5.2.1	Funcionamiento del sistema péndulo.....	55
2.5.2.2	Cálculo de la longitud del péndulo aplicado al colector.....	57
2.5.2.3	Relación de transmisión del mecanismo de engranajes.....	58
2.5.2.4	Cálculo del torque necesario para mover el sistema.....	60
2.5.2.5	Peso requerido del péndulo.....	62
2.5.2.6	Diseño de engranajes y ejes para el sistema.....	63
2.5.2.7	Diseño de la estructura principal.....	68

CAPÍTULO III: CÁLCULO DE COSTOS

3.1	Generalidades.....	72
3.2	Costos de mecanizado.....	72
3.3	Cuadro de elementos a construir.....	73

3.4	Cuadro de elementos normalizados.....	74
3.5	Costo de mecanizado.....	75
3.6	Costo de materiales.....	76
3.7	Costo final.....	77

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	Conclusiones.....	78
4.2	Recomendaciones.....	79

	Protocolo de pruebas.....	80
	Pruebas de apariencia.....	81
	Pruebas dimensionales.....	82
	Medida de resultados.....	83
	Bibliografía.....	84
	Bibliografía electrónica.....	85
	Glosario.....	86

INDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
CAPITULO I	
Figura 1.1	Conducción de calor a través de un pared plana..... 3
Figura 1.2	Absorción, reflexión y transmisión de la radiación por un material semitransparente 10
Figura 1.3	Relación de tamaños y distancia tierra – sol..... 13
Figura: 1.4	Radiación solar exterior a la atmósfera y en superficie según la región del espectro electromagnético.....15
Figura: 1.5	Atenuación de la radiación solar por la atmósfera..... 16
Figura 1.6	Movimiento del sol sobre el firmamento..... 19
Figura 1.7	Clasificación de los colectores solares térmicos..... 22
Figura 1.8	Colector solar plano..... 23
Figura 1.9	Colector solar de tubos al vacío..... 24
Figura 1.10	Colector solar cilíndrico parabólico..... 25
Figura 1.11	Colector solar de concentradores parabólicos..... 26
Figura 1.12	Torre receptora con helióstatos..... 27
CAPITULO II	
Figura 2.1	Parábola.....34
Figura 2.2	Parábola del colector..... 35
Figura 2.3	Refracción de rayos solares según un espejo plano..... 36
Figura 2.4	Motor paso a paso..... 48
Figura 2.5	Ubicación de polos en un motor a pasos..... 49

Figura 2.6	Tipos de motores a pasos.....	50
Figura 2.7	Ilustración de ubicación del motor y fines de carrera.....	51
Figura 2.8	Diagrama de control (analogía eléctrica).....	52
Figura 2.9	Escape de áncora.....	56
Figura 2.10	Mecanismo de reloj de péndulo.....	56
Figura 2.11	Torques y fuerzas en los juegos de engranajes.....	61
Figura 2.12	Diagrama de cuerpo libre entre ejes 1, 2 y 3.....	63
Figura 2.13	Dimensiones de perfil tipo G.....	69

INDICE DE TABLAS

Contenido	Página
-----------	--------

CAPITULO I

Tabla 1.1	Conductividades térmicas de algunos materiales a la temperatura ambiente.....	4
Tabla 1.2:	Valores aproximados de coeficiente de convección h	6
Tabla 1.3	Emisividad de los materiales.....	9
Tabla 1.4	Irradiancia global y difusa en diferentes condiciones.....	18
Tabla 1.5	Porcentajes de radiación recibida y la absorbida por la tierra.....	18
Tabla 1.6	Porcentaje de energía solar reflejada.....	19
Tabla 1.7	Valores mensuales promedio de irradiación solar para Quito y Guayaquil.....	20

CAPITULO II

Tabla 2.1	Tubería de cobre tipo M normas ASTM B88.....	33
Tabla 2.2	Absortividad solar y emisividad de superficies.....	38
Tabla 2.3	Energía total útil en el colector.....	43
Tabla 2.4	Valores de temperatura calculada en función del clima.....	46
Tabla: 2.5	Determinación del peso del colector.....	54
Tabla 2.6	Valores típicos de Y en la base al número de dientes del piñón...	66
Tabla 2.7	Propiedades de perfiles tipo G.....	69
Tabla 2.8	Cargas admisibles para columnas según su esbeltez.....	70

CAPITULO III

Tabla 3.1	Costo de hora máquina.....	72
Tabla: 3.2	Elementos a construir.....	73
Tabla: 3.3	Elementos normalizados.....	74
Tabla: 3.4	Costos de mecanizado.....	75
Tabla: 3.5	Costo de materiales.....	76
Tabla: 3.6	Costo total de mecanizado y materiales.....	77
Tabla: 3.7	Costo más insumos.....	77

INDICE DE ANEXOS

Contenido	Página
Anexo I: Manual de mantenimiento.....	90
Manual de operación.....	92
Anexo II: Planos.....	93
Anexo III: Despiece.....	94
Anexo IV: Diagrama de procesos.....	95
Anexo V: Fotos del colector.....	96
Anexo VI: Facturas.....	100

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estado Ecuatoriano tiene un problema con el uso del gas licuado de petróleo (GLP) doméstico. La producción de GLP en el Ecuador es insuficiente para cubrir la demanda¹, la misma que en alrededor de un 70% se la cubre con importaciones. La comercialización de GLP para uso residencial se la realiza a precios subsidiados por el gobierno.

En los últimos años los precios del petróleo han ido en aumento por lo que los costos de la energía se han incrementado, cabe recalcar que las demás fuentes de energía basadas en combustibles fósiles son un gran contaminante para el medio ambiente, por lo que es necesario utilizar fuentes de energía que sean renovables, accesibles y que no representen ningún daño al medio ambiente.

¹http://www.petrocomercial.com/wps/documentos/noticias/noticias_template_solo/ruedadepresaoctubre.html

JUSTIFICACIÓN

El sol es una fuente de energía abundante, ilimitada y disponible, la misma que al depender de zonas climáticas se puede recibir en un rango de altas o bajas intensidades. Esta fuente inagotable en términos prácticos de energía es preciso utilizarla para satisfacer las necesidades del ser humano, como es el propósito del presente proyecto, construir un sistema solar térmico (SST) para el calentamiento de agua.

Un SST es un colector solar parabólico, el cual captura energía calórica del sol y la convierte en energía térmica aprovechable; el calor producido tiene varios usos prácticos como son:

- Calentamiento de agua para uso sanitario residencial o industrial.
- Climatización de piscinas.
- Calefacción de hogares.

Las aplicaciones indicadas, permiten confirmar que la energía solar es particularmente importante como fuente alterna de energía y que la implementación de un SST favorece al desarrollo tecnológico del País y a la mejor utilización de los recursos disminuyendo así el impacto ambiental.

ALCANCE

El colector solar parabólico, recepta el calor de forma directa para calentar el agua que pasa por una tubería ubicada en el foco del mismo por transferencia de calor (radiación y convección), además el sistema se provee de un movimiento giratorio para tener un seguimiento a la posición del sol, lo cual supone una mayor eficiencia. La eficiencia teórica de este tipo de colectores es del 70% con lo cual se prevee alcanzar una temperatura de 40 °C (con una entrada de agua a temperatura ambiente).

Con el fin de aprovechar la energía solar que llegará al receptor, el método de seguimiento al sol se realizará en base al sistema usado para el momento de un reloj de péndulo por simple gravedad con un escape llamado de ancora, el mismo que cuenta con un contrapeso, el cual evita que por efecto del aire y la misma inercia tienda a detenerse y cuenta además con un sistema de trinquete en la parte superior que mueve una rueda dentada tipo dientes de sierra que evita el retroceso del mismo.

Se denomina de mediana temperatura, porque la temperatura de trabajo de los fluidos dentro del campo de colectores solares, no supera los 100°C.

OBJETIVOS:

Objetivo General.

Diseñar y construir un prototipo de colector solar parabólico giratorio de mediana temperatura.

Objetivos Específicos:

- Obtener valores teóricos de la radiación solar incidente, sobre un colector cilíndrico parabólico para un aprovechamiento de energía para el calentamiento de agua de uso doméstico.
- Analizar sistemas de seguimiento de la trayectoria del sol: eléctrico - automático y mecánico - manual.
- Diseñar y construir un prototipo de colector solar parabólico de 1 m² de área efectiva aproximada.
- Realizar mediciones de temperaturas en el prototipo durante varios días y horas, en el lugar de funcionamiento del colector.
- Elaborar planos para la construcción del colector solar parabólico.
- Comparar los resultados teóricos con los obtenidos en el campo para realizar un análisis de variación de temperaturas.
- Hacer recomendaciones para el mejoramiento del prototipo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.5 Introducción

En el presente capítulo se realizará un estudio de los diferentes temas que son necesarios conocer para el diseño del colector solar cilíndrico parabólico, siendo estos:

- Los diferentes métodos de transferencia de calor.
- Las características principales del sol, los diferentes componentes de radiación que llegan de éste a la tierra.
- Analizar los tipos de colectores solares existentes para el calentamiento de agua.

1.6 Mecanismos de transferencia de calor

La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura.

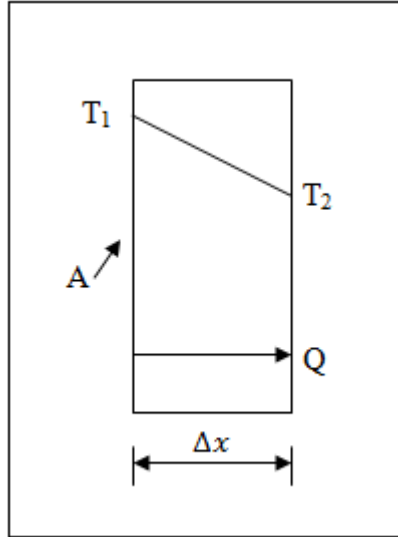
Hay tres formas diferentes en las que el calor puede pasar de la fuente al receptor, aún cuando muchas de las aplicaciones en la ingeniería son combinaciones de dos o tres de estos métodos, siendo estos: conducción, convección y radiación.

1.6.1 Conducción.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres, por ejemplo llegará el momento en que una bebida enlatada fría en un cuarto cálido se calienta hasta la temperatura ambiente como resultado de la transferencia de calor por conducción del cuarto hacia la bebida a través del aluminio.

La velocidad de conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material del que esté hecho así como la diferencia de temperatura a través de él.

Considere una ecuación de estado estacionario de calor a través de una pared plana grande de espesor $\Delta x = L$ y área A , como se muestra la figura 1.1. La diferencia de temperatura de uno a otro lado de la pared es $\Delta T = T_2 - T_1$. Los experimentos han demostrado que la velocidad de la transferencia de calor Q , a través de la pared se duplica cuando se duplica la diferencia de temperatura ΔT de uno a otro lado de ella o bien se duplica el área A , perpendicular a la dirección de la transferencia de calor, pero se reduce a la mitad cuando se duplica el espesor L de la pared.



Fuente: CENGEL Yunus A., Transferencia de calor, pág. 18

Figura 1.1 Conducción de calor a través de una pared plana

Por tanto se concluye que la velocidad de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa, es decir:

$$\text{Velocidad de conducción de calor} = \frac{(\text{Area})(\text{Diferencia de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

O bien:

$$Q_{cond} = KA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x}$$

$$Q_{cond} = -KA \frac{dT}{dx} \quad [\text{w}] \quad \text{ec. (1.1)}$$

En donde la constante de proporcionalidad K es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. En el caso límite de $\Delta x \rightarrow 0$, la ecuación se reduce a la forma diferencial:

$$Q_{cond} = -KA \frac{dT}{dx} [w] \quad \text{ec. (1.2)}$$

Donde dT/dx es el gradiente de temperatura y el signo menos indica que la conducción de calor es en la dirección decreciente de la temperatura.

1.6.1.1 Conductividad Térmica

La conductividad térmica de un material se puede definir como la velocidad de transferencia de calor a través de un espesor unitario de material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura. Es una medida de la capacidad del material para conducir el calor. Un valor elevado de la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo indica lo contrario o que es un aislante.

En la Tabla 1.1 se da la conductividad térmica de algunos materiales sólidos comunes a temperatura ambiente.

Material	K, W/m °C
Diamante	2300
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Vidrio	0.78

Fuente: CENGEL Yunus A., Transferencia de calor, pág. 20

Tabla 1.1 Conductividad térmica de algunos materiales a temperatura ambiente

1.6.2 Convección²

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y los movimientos de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las velocidades de esa transferencia.

Considere el enfriamiento de un bloque caliente al soplar aire frío sobre su superficie superior, la energía se transfiere primero a la capa de aire adyacente al bloque por conducción, enseguida esta energía es acarreada alejándola de la superficie por convección, es decir por los efectos combinados de la conducción dentro del aire que se debe al movimiento aleatorio de moléculas de éste, y del movimiento masivo o macroscópico de ese aire que remueve al aire calentado cercano a la superficie y lo reemplaza por otro más frío.

A pesar de la complejidad de la convección se observa que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento como:

$$Q_{conv} = hA_s (T_s - T_\infty) \quad (\text{W}) \quad \text{ec.} \quad (1.3)$$

² CENGEL Yunus A, Transferencia de calor, pág. 24

En donde:

- h : Es el coeficiente de transferencia de calor por convección, en $[\text{W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}]$
 A_s : Es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección, perpendicular al flujo de calor, y es $[\text{m}^2]$
 T_s : Es la temperatura de la superficie en $[\text{ }^\circ\text{C}]$
 T_∞ : Es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie.

El coeficiente de transferencia de calor por convección h no es una propiedad del fluido, es un parámetro que se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades de éste y la velocidad masiva del movimiento. En la tabla 1.2 se dan valores típicos de h .

Tipo de convección	h $[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}]$
Convección libre de gases	2 – 25
Convección libre de líquidos	10 – 1000
Convección forzada de gases	25 – 250
Convección forzada de líquidos	50 – 20000
Ebullición y condensación	2500 - 100000

Fuente: CENGEL Yunus A, Transferencia de calor, pág. 26

Tabla 1.2 Valores aproximados de coeficiente de convección h .

1.6.3 Radiación³

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas o fotones como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio interpuesto. La transferencia de energía por radiación es la más rápida a la velocidad de la luz y no sufre atenuación en el vacío, de esta manera llega a la tierra la energía del sol.

Para el presente caso es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura, es diferente a las otras formas de radiación como los rayos x, los rayos gama, las microondas, las ondas de radio y la televisión, que están relacionadas con la temperatura. Todos los cuerpos arriba del cero absoluto emiten radiación térmica.

La radiación es un fenómeno volumétrico, todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados, sin embargo la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de ese tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia adentro de dichos sólidos.

³ CENGEL Yunus A, Transferencia de calor, pág. 27

La velocidad máxima de radiación que puede ser emitida desde una superficie a una temperatura T_S (en ° K o ° R), se expresa por la ley de Stefan-Boltzmann como:

$$Q_{\text{emitida max}} = \sigma A_S T_S^4 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right] * [m^2] * [K^4] = [W] \quad \text{ec. (1.4)}$$

Donde $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$, es la constante de Stefan-Boltzmann. La superficie idealizada que emite radiación a esta velocidad máxima se llama cuerpo negro y la radiación emitida por este es la radiación del cuerpo negro. La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo a la misma temperatura y se expresa como:

$$Q_{\text{emitida max}} = \varepsilon \sigma A_S T_S^4 [W] \quad \text{ec. (1.5)}$$

En donde:

ε : Es la emisividad de la superficie.

A_S : Área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor.

1.6.3.1 Emisividad

La emisividad de una superficie representa la razón entre la radiación térmica emitida por una superficie u objeto a una temperatura dada y la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura. Es la transferencia de calor debida a la emisión de ondas electromagnéticas entre dos superficies y no necesita de un medio para llevarse a cabo.

El coeficiente de emisividad (ϵ), cuyo valor está en el intervalo $0 \leq \epsilon \leq 1$, es una medida de cuán próxima está una superficie de ser un cuerpo negro, para el cual $\epsilon = 1$. En la tabla 1.3 se dan las emisividades de algunas superficies.

Material	Emisividad
Hoja de aluminio	0.09
Oro pulido	0.03
Pulido	0.03
Acero inoxidable	0.17
Pintura negra	0.98
Pintura blanca	0.90
Suelo	0.93 – 0.96
Agua	0.96

Fuente: CENGEL Yunus A, Transferencia de calor, pág. 28

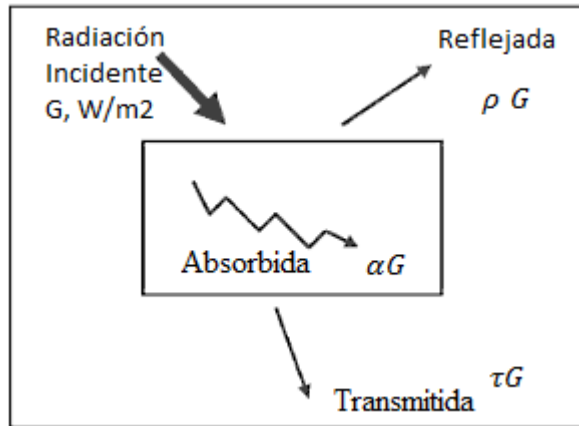
Tabla 1.3 Emisividad de los materiales

Un cuerpo negro, por consiguiente, tiene un coeficiente $\epsilon = 1$, mientras que en un objeto real, ϵ siempre se mantiene menor a 1.

1.6.3.2 Absortividad, reflectividad y transmisividad

Todo lo que nos rodea emite radiación en forma constante y la emisividad representa las características de emisión de esos cuerpos. Esto significa que todo cuerpo incluyendo el nuestro, es constantemente bombardeado por la radiación proveniente de todas direcciones en un intervalo de longitudes de onda. La radiación que incide sobre una superficie se llama irradiación y se denota por G .

Cuando la radiación choca con la superficie, parte de ella es absorbida, parte de ella es reflejada y la parte restante, si hay, es transmitida, como se ilustra en la figura 1.2



Fuente: CENGEL Yunus A, Transferencia de calor, pág.: 684

Figura 1.2 Absorción, reflexión y transmisión de la radiación por un material semitransparente

La fracción de irradiación absorbida por la superficie se llama absorptividad (α), la fracción reflejada por la superficie recibe el nombre de reflectividad (ρ), y la fracción transmitida es la transmisividad (τ); es decir:

$$\text{Absorptividad: } \alpha = \frac{\text{Radiación absorbida}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{abs}}{G} \quad 0 \leq \alpha \leq 1.$$

$$\text{Reflectividad: } \rho = \frac{\text{Radiación reflejada}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{ref}}{G} \quad 0 \leq \rho \leq 1.$$

$$\text{Transmisividad: } \tau = \frac{\text{Radiación transmitida}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{tr}}{G} \quad 0 \leq \tau \leq 1.$$

G es la energía de la radiación que incide sobre la superficie y G_{abs} , G_{ref} y G_{tr} son las porciones absorbida, reflejada y transmitida a ella respectivamente, la primera ley de la termodinámica requiere que la suma de energía de radiación absorbida reflejada y transmitida sea igual a la radiación incidente esto es:

$$G_{\text{abs}} + G_{\text{ref}} + G_{\text{tr}} = G \quad \text{ec. (1.6)}$$

Dividiendo cada término de esta relación entre G se obtiene:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad \text{ec. (1.7)}$$

Para las superficies opacas, $\tau = 0$, por tanto:

$$\alpha + \rho = 1 \quad \text{ec. (1.8)}$$

Esta es una relación importante ya que nos permite determinar tanto la absorptividad como la reflectividad de una superficie opaca.

1.7 Energía solar

1.7.1 Generalidades

El uso de energías renovables se configura como una exigencia inevitable tanto desde un punto de vista social como técnico. El aumento exponencial del consumo de energía relacionado con el desarrollo tecnológico de las sociedades post-industriales y las afecciones ambientales que conlleva con la nueva regulación es que limitan las emisiones de CO₂, conducen a la búsqueda de energía no contaminante y especialmente aquellas que aprovechan el ciclo natural de nuestro planeta y no interfieren en él.

1.7.2 Introducción⁴

La energía solar, es la energía recibida directamente del sol. La radiación solar incidente en la tierra puede aprovecharse por su capacidad para calentar o directamente a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es un tipo de energía renovable y limpia lo que se conoce como energía verde, la cual puede ser transformada en energía térmica o eléctrica. Es una de las fuentes de energía renovable que más desarrollo está experimentando en los últimos años y con mayores expectativas para el futuro. El aprovechamiento de la energía solar consiste en captar por medio de diferentes tecnologías la radiación del sol que llega a la tierra con el fin de emplear esa energía para diferentes usos como calentar agua, generar electricidad, etc.

⁴ PLANA Ibáñez ,Tecnología Solar, pág.: 21

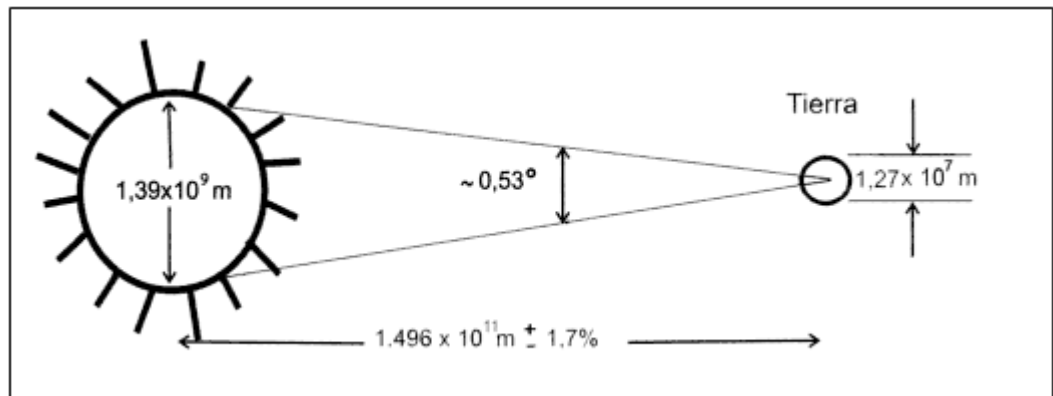
1.7.3 El Sol⁵

El sol es una fuente inagotable de energía debido a las reacciones nucleares. Es la estrella más cercana a la tierra y el mayor elemento del sistema solar. El sol es también nuestra principal fuente de energía que se manifiesta sobre todo en forma de luz y calor.

El astro irradia en un segundo más energía que la consumida por la humanidad en toda su historia. El sol contiene más del 99% de toda la materia del sistema solar. Ejerce una fuerte atracción gravitatoria sobre los planetas y los hace girar a su alrededor.

1.7.4 Características físicas

El sol es una inmensa esfera de gases a alta temperatura de 1.39×10^9 m de diámetro y situado a la distancia media de 1.5×10^{11} m de la tierra, unos 8 minutos de viaje a la velocidad de la luz (figura 1.3). Visto desde la tierra el sol rota alrededor de su eje una vez cada cuatro semanas. La edad estimada de la estrella es de 5 millones de años, restándole otros 8 millones de años más de vida.



Fuente: PLANA Ibáñez, Tecnología solar, pág. 21

Figura 1.3 Relación de tamaños y distancia tierra – sol.

⁵ PLANA Ibáñez, Tecnología Solar, pág. 21

La parte externa de esta región recibe el nombre de fotósfera y es considerada como la superficie del sol por ser ésta una región opaca desde donde se emite la gran mayoría de la radiación solar hacia el espacio.

1.7.5 Efecto atmosférico sobre la radiación⁶

La distribución temporal de la energía solar que alcanza la superficie es muy irregular. No obstante varía la insolación máxima diaria sino que la radiación solar es más o menos atenuada según la composición instantánea de la atmósfera que atraviesa. En término medio sólo el 47% de la radiación incidente sobre la atmósfera terrestre alcanza la superficie del planeta. El 31% lo hace directamente y el otro 16% después de ser dispersada por polvo en suspensión, vapor de agua y moléculas del aire. La energía restante un 53% es reflejada hacia el espacio exterior o absorbida en la atmósfera.

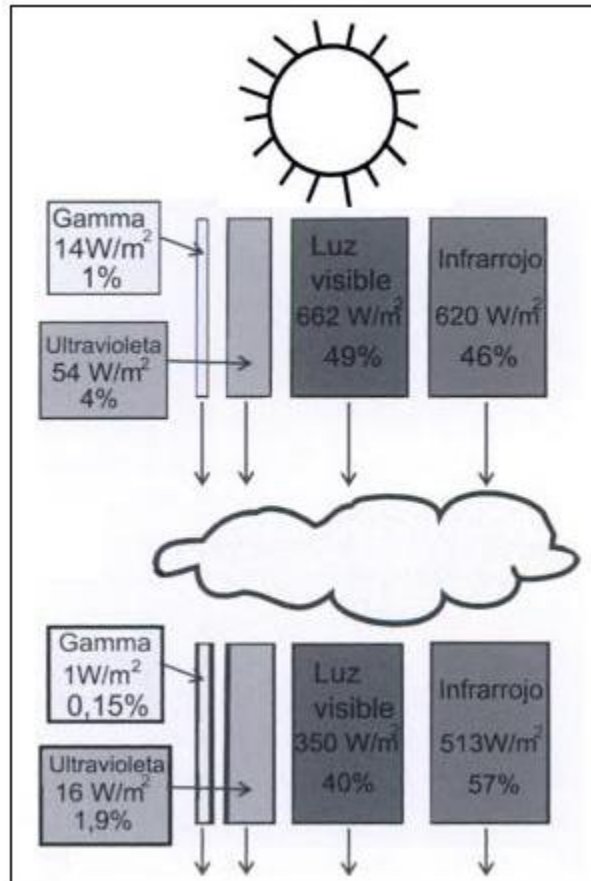
1.7.6 Irradiación y constante solar⁷

La potencia de la radiación solar que se recibe en un instante determinado sobre un metro cuadrado de superficie se conoce como irradiancia (I_s) y se expresa en W/m^2 . Para una distancia media tierra – sol, se conoce como constante solar (S_s).

El valor determinado por la NASA indica que la constante solar es de $1.353 W/m^2$ ($\pm 1.6\%$). En un estudio detallado del espectro revela que un 5% de la energía corresponde al intervalo de longitudes de onda inferiores a $0.38 \mu m$ y el 46% restante a longitudes de onda superiores a las $0.78 \mu m$ figura 1.4

⁶ M. Ibáñez Plana, J.R. Rosell, Tecnología Solar, pág. 26

⁷ M. Ibáñez Plana, J.R. Rosell, Tecnología Solar, pág. 26



Fuente: PLANA Ibáñez, Tecnología solar, pág. 27

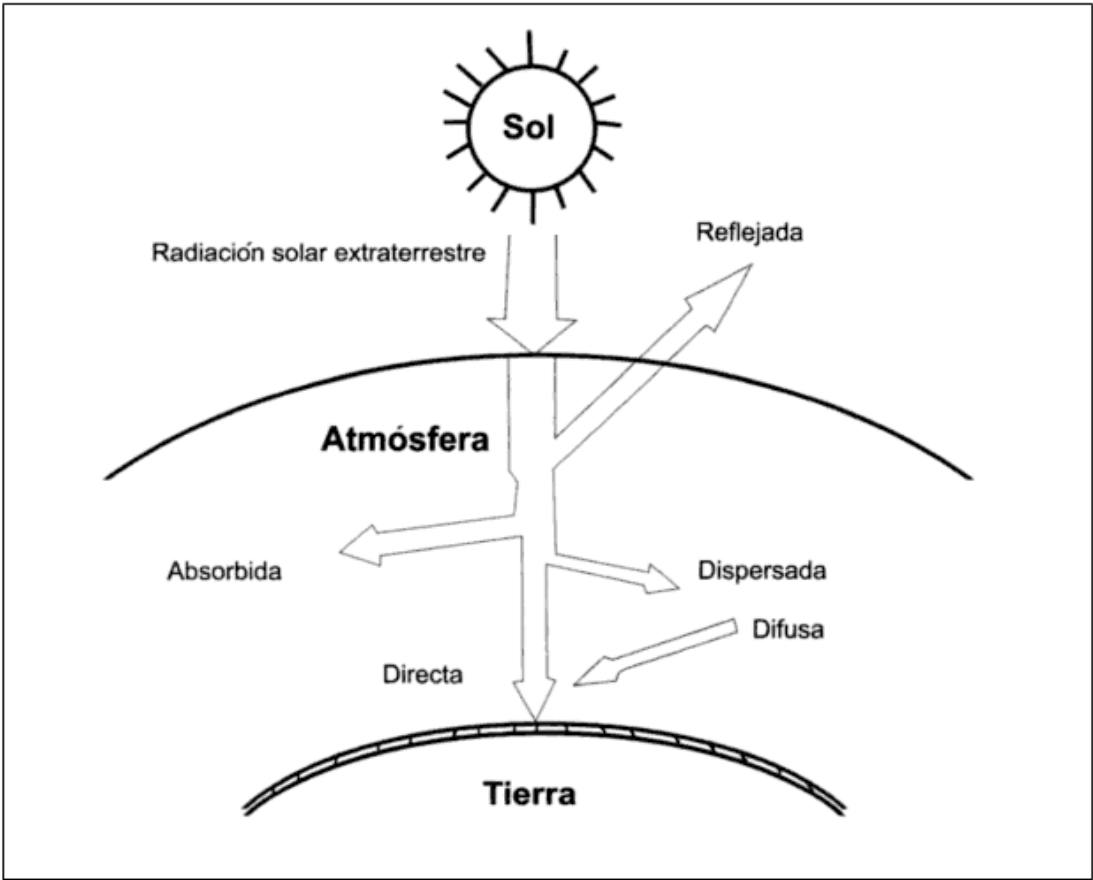
Figura: 1.4 Radiación solar exterior a la atmósfera y en superficie según la región del espectro electromagnético

1.7.7 Componentes de la radiación en la superficie⁸

La atmósfera terrestre está constituida por gases, nubes y partículas sólidas en suspensión. Los diversos constituyentes de la atmósfera provocan la atenuación de la radiación. A medida que la radiación solar atraviesa la masa de aire sufre procesos de absorción, reflexión y refracción (figura 1.5)

⁸ PLANA Ibáñez, Tecnología Solar, pág. 23

A consecuencia de la interacción de la radiación solar con la atmósfera la energía que llega a la superficie tiene diferentes componentes nombradas como:



Fuente: PLANA Ibáñez, Tecnología solar, pág.: 24

Figura: 1.5 Atenuación de la radiación solar por la atmósfera.

- **Radiación directa**

Es aquella que llega directamente del sol sin haber sufrido [cambio](#) alguno en su [dirección](#). Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

- **Radiación difusa.**

Parte de la radiación que atraviesa la [atmósfera](#) es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación que se denomina difusa, va en todas direcciones como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, [árboles](#), edificios, el propio [suelo](#), etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos.

- **Radiación reflejada.**

La radiación reflejada como su nombre indica, es aquella reflejada por la superficie terrestre. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

- **Radiación global.**

Es la radiación total es la suma de las tres radiaciones. En un día despejado con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa, ver tabla 1.4

Condiciones climatológicas	Irradiancia (W/m ²)	Componente difusa (%)
Cielo claro	750 – 1.000	10 – 20
Parcialmente nublado	200 – 500	20 – 29
Completamente cubierto	50 – 150	90 – 100

Fuente: PLANA Ibáñez, Tecnología solar, pág. 25

Tabla 1.4 Irradiancia global y difusa en diferentes condiciones

En las tablas 1.5 y 1.6, se observa cómo se distribuye el 100% de la energía proveniente del sol un 34% tabla 1.6, regresa al espacio exterior de forma directa (24%) o indirecta (10%). Un 19% de la energía es absorbida por la atmósfera, mientras que la tierra recibe un 47%, ambas serán regresadas al espacio exterior (ver tabla 1.5). Esta distribución de la energía hace posible el balance energético en la tierra.

Radiación recibida por la tierra	Porcentaje (%)	Radiación absorbida por la tierra	Porcentaje (%)
Directa a la tierra	26%	Por la atmósfera	16%
Indirecta a la tierra.	11%	Por las nubes.	2%
Difusa a la tierra.	14%	Por ozono y otros gases.	1%
Pérdida de radiación por reflexión.	4%	-----	-----
Total de radiación	47%	-----	19%

Fuente: <http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/cienciasTierra/Tema6.html>

Tabla 1.5 Porcentajes de radiación recibida y la absorbida por la tierra

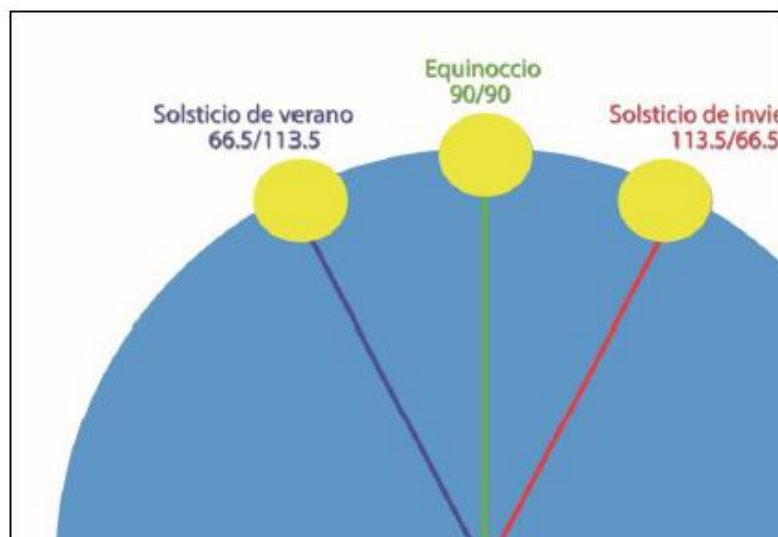
Energía solar reflejada	Porcentaje (%)
Radiación reflejada por los materiales terrestres (indirectamente)	10%
Radiación reflejada por las nubes (directamente)	24%
Total	34%

Fuente: www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/cienciasTierra/Tema6.html

Tabla 1.6 Porcentaje de energía solar reflejada

1.7.8 Recurso solar en el Ecuador.

Al estar atravesado por la línea equinoccial, el Ecuador tiene poca variabilidad en la posición del sol durante todo el año, (ver figura 1.6), lo cual favorece la aplicación de la energía solar para producir electricidad y calor, ya que en promedio hay 12 horas de sol durante el día. La variación en el zenit (cuando el sol está perpendicular a la Tierra, a las 12 del día) es de +/- 23.5°, es decir que el sol se desplaza 47° en el año entre el solsticio de verano (21 de junio) y el solsticio de invierno (21 de diciembre).



Fuente: NEC 10 Sistemas de calentamiento de agua con energía solar para uso sanitario en el Ecuador, 2006

Figura 1.6 Movimiento del sol sobre el firmamento

Para Quito y Guayaquil, los valores promedio mensuales de radiación solar global se aprecian en la tabla 1.7

Radiación solar global promedio mensual en Quito y Guayaquil kWh/m2. Día			
Sitio	Quito centro	Quito norte	Guayaquil
Latitud	0,22seg	0,13seg	2,2seg
Longitud	78,48W	78,48W	79,88W
Elevación	2850m	2812m	6m
Años de lectura	25	4	9
Ene.	4,48	4,94	4
Feb.	4,6	4,64	4,17
Mar.	4,68	4,78	4,67
Abr.	4,35	4,53	4,58
May.	4,55	4,83	4,56
Jun.	4,28	4,69	3,86
Jul.	5,22	5,53	4,17
Ago.	5,1	5,47	4,5
Sep.	5,11	4,89	4,67
Oct.	4,68	5,25	4,56
Nov.	4,39	5,14	4,31
Dic.	4,69	5,14	4,44
Promedio	4,68	4,99	4,37

Fuente: Norma ecuatoriana de construcción NEC 10, Sistemas de calentamiento de agua con energía solar para uso sanitario en el Ecuador, 2006

Tabla 1.7 Valores mensuales promedio de irradiación solar para Quito y Guayaquil

Mientras no se disponga de un sistema actualizado de la información de radiación solar en el Ecuador, se pueden usar estos datos confirmándolos con datos reales medidos en el sitio donde se instalará el sistema solar térmico al menos con datos de 12 meses anteriores.

1.8 Colectores solares térmicos (CST)

En este apartado se realizará una descripción generalizada de las características, clasificación y tipos de colectores solares, según diferentes autores en función de su aplicación.

1.8.1 Definición

Un colector solar es un intercambiador de calor que convierte la energía irradiada por el sol en energía térmica. Los colectores solares aprovechan de las cualidades de absorción de la radiación y transmisión de calor de algunos materiales y del efecto invernadero que se produce cuando otro material, por ejemplo: el vidrio es transparente a la radiación de onda corta del sol y opaco a la radiación de onda larga que emiten los cuerpos que están calientes.

1.8.2 Características de los colectores solares térmicos

Un colector solar térmico consta de:

- Una superficie absorbente usualmente una superficie oscura y térmicamente conductora.
- Serpentin conductor del fluido de trabajo.
- Cubierta transparente que deja pasar las longitudes de onda más cortas y bloquea las longitudes de onda más larga transmitida por el absorbedor.
- Medio o flujo que transfiere el calor como puede ser agua, aire.
- Aislante térmico.
- Marco o estructura del colector.
- Soportes externos.

De acuerdo al rango de temperatura de salida del flujo de trabajo, los colectores tienen diferentes características y ello depende mucho de la utilización que se les quiera dar. Por lo tanto el diseño de los colectores solares y el tipo de flujo de trabajo depende de las temperaturas que se quieran alcanzar y de la aplicación.

1.8.3 Clasificación de los colectores solares térmicos.

Los colectores se dividen en dos grandes grupos: los captadores de baja temperatura, utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y ACS (hasta los 100°C), y los colectores de alta temperatura, conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir energía eléctrica (mayor de 100°C y pueden alcanzar temperaturas de cercanas a 1000°C). Ver figura 1.7.

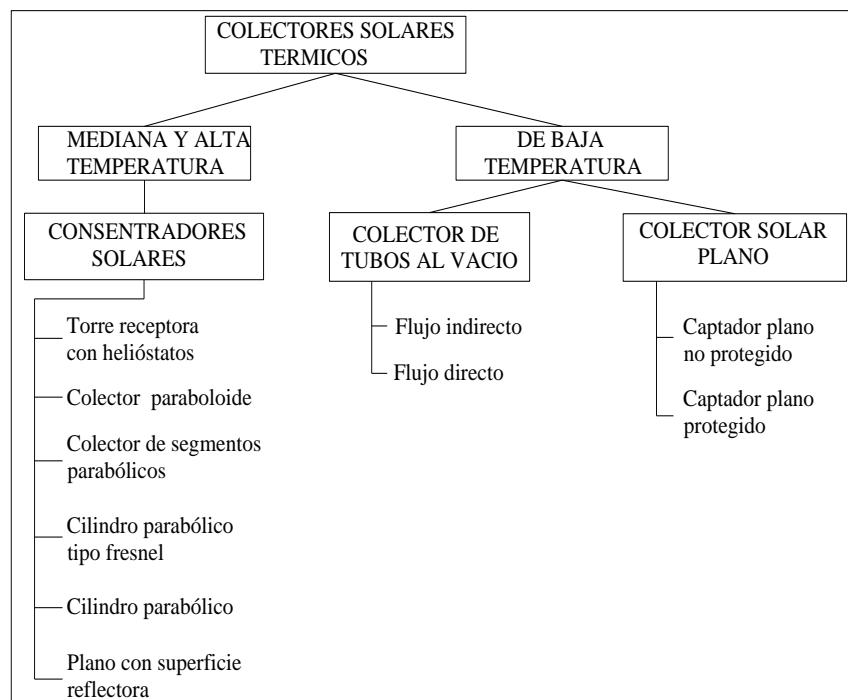


Figura 1.7: Clasificación de los colectores solares térmicos⁹

⁹ ASHRAE, (1999), “handbook Fundamentals Ed. American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning engineers”.

Además también existen consideraciones para clasificar a los colectores que son menos utilizadas pero no menos importantes y se las realiza tomando en cuenta:

- a. Tipo de fluido de trabajo
- b. Si concentra o no los rayos solares
- c. Estático o con seguimiento de la trayectoria solar.

1.8.4 Colectores solares de baja temperatura

1.8.4.1 Colector solar plano

Consistente en una caja plana metálica por la que circula un fluido que se calienta a su paso por el panel (figura 1.8), es el más común de los colectores que se utilizan hoy en día, siendo el más económico y apropiado para convertir energía solar en calor para temperaturas de hasta 100°C. Las ventajas de este captador es su simple construcción, su costo relativamente bajo, fácil de reparar y durabilidad, encontrándose muchos modelos comerciales en el mercado. Absorben tanto radiación solar directa como difusa, por lo que tienen una gran ventaja en los climas nublados. Éste es conectado a un termotanque de almacenamiento que puede tener capacidad de 115 a 200 litros, aunque los hay de mayor capacidad.



Fuente: <http://www.bioeco.com.mx/Productos-ColectoresPlanos.html>

Figura 1.8 Colector solar plano

Puede ser a su vez:

- **Captador plano protegido:** con un vidrio que limita las pérdidas de calor.
- **Captador plano no protegido:** sistema más económico y de bajo rendimiento, utilizado esencialmente para climatización de piscinas.

1.8.4.2 Colector solar de tubos al vacío

Estos captadores están formados por cilindros concéntricos siendo el exterior de vidrio, el espacio entre ellos es evacuado. El vacío reduce las pérdidas por convección y conducción entre el cristal y el absorbedor, por lo que estos captadores pueden trabajar a mayores temperaturas que en los colectores planos (figura 1.9). Las temperaturas de operación están entre los 100°C y los 200°C, su capacidad depende del área de transferencia de calor de los tubos que alimentan a tanques de 150, 200, 250 litros.



Fuente: <http://cmcmotilla34.blogspot.com/2010/06/colector-solar-de-tubos-de-vacio.html>

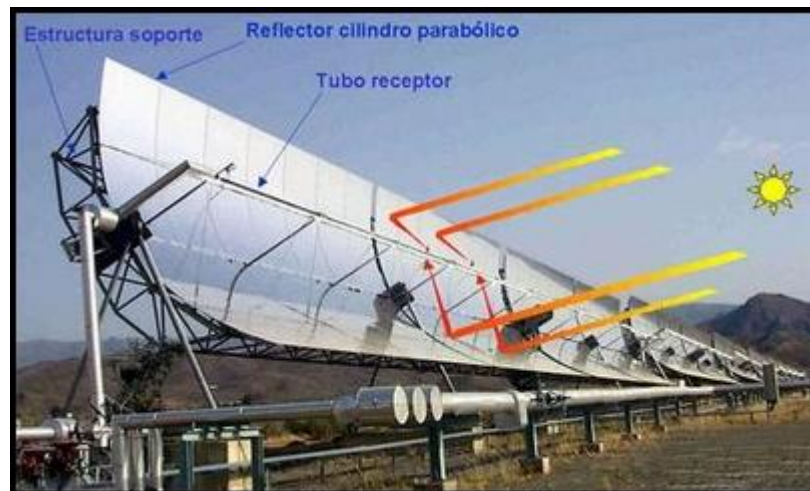
Figura 1.9 Colector solar de tubos al vacío

1.8.5 Colectores solar de mediana y alta temperatura

Para aplicaciones en las que se necesite energía a altas temperaturas, es necesario disminuir el área donde se producen mayor transferencia de calor. Los colectores concentrados usan reflectores o lentes para focalizar la radiación solar procedente desde una gran área hasta un foco o área muy pequeña, así se consigue altas temperaturas.

1.8.5.1 Colectores solar cilindricos parabólicos

Son aquellos colectores que tienen una superficie especular semicilíndrica y cuya sección recta es una parábola (Fig. 1.10). Utilizan seguimiento al sol en un eje. Tienen una superficie reflectora de forma que los rayos solares se concentran en un tubo absorbedor (foco lineal), el fluido térmico que circula por éste tubo puede ser agua o aceite. Las temperaturas máximas de operación alcanzables cuando se utiliza el aceite, pueden estar en torno a los 350-380°C. Cuando por los tubos absorbedores pasa el agua, se puede obtener vapor directamente.



Fuente: <http://cmcmotilla34.blogspot.com/2010/06/colector-solar-de-tubos-de-vacio.html>

Figura 1.10 Colector solar cilíndrico parabólico

1.8.5.2 Colectores solares de concentración parabólicos

Estos colectores poseen un reflector parabólico donde la mitad derecha e izquierda forman dos parábolas truncadas, de forma que los rayos que pasen por uno de los bordes del receptor es focalizado en la parábola opuesta, así los rayos solares que pasen por la abertura van a concentrarse en el absorbedor, su principal aplicación es la producción de vapor en una central térmica (figura 1.11).

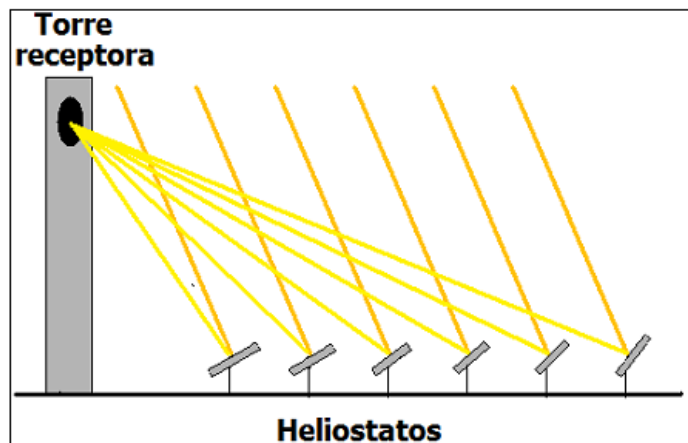


Fuente: <http://cmcmotilla34.blogspot.com/2010/06/colector-solar-de-tubos-de-vacio.html>

Figura 1.11 Colector solar de concentradores parabólicos

1.8.5.3 Torre receptora con heliostatos

Temperaturas entre 500 y 1000°C adecuadas para una planta térmica de generación de electricidad, pueden alcanzarse con un campo de espejos planos con seguimiento solar, llamado heliostatos, concentrando la radiación solar en un receptor que es localizado en lo alto de la torre central (fig. 1.12).



Fuente: <http://www.cconstruccion.net/portal/index.php/revista/articulos/124-gemasolar>

Figura 1.12 Torre receptora con heliostatos

Una vez analizado los diferentes tipos de colectores solares, a continuación se estudiará el diseño para la construcción de un sistema de colector solar circular parabólico.

CAPITULO II

DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR PARABÓLICO

2.1 Introducción

En este capítulo, se realizará los estudios necesarios para la construcción del colector solar parabólico, siendo éstos:

- Los materiales óptimos para la construcción del colector solar parabólico.
- El intercambio de calor por radiación, la energía total incidente en el mismo.
- Los métodos apropiados para el seguimiento de la trayectoria del sol, para el óptimo funcionamiento.

2.6 Instalaciones para el suministro de agua potable.

2.6.1 Generalidades.

El conocimiento de los diferentes tipos de tuberías utilizados para la conducción de agua potable con sus respectivas ventajas y desventajas, dará un conocimiento para su elección, teniendo en cuenta sus sistemas de unión, características a considerar de acuerdo a la naturaleza del material a sus usos y aplicaciones.

2.6.2 Materiales utilizados para el suministro de agua potable

La selección del material de una tubería para un sistema de distribución de agua potable se basa en diversos factores. Algunos de ellos dependen del material mismo, de la aplicación y las condiciones de instalación.

Las variables claves a considerar son:

- Las propiedades del material.
- La degradación de la tubería por corrosión o calor.
- Los requerimientos específicos de instalación.
- Los métodos para unir la tubería.
- Economía y mantenimiento.

2.6.2.1 Tubería de plomo

Tradicionalmente se ha utilizado el plomo en las conducciones de agua, pero debido a su comprobada toxicidad ha sido sustituido por otros materiales.

El plomo era usado por los antiguos en la construcción, los romanos lo utilizaban para conductos y tuberías de acero.

2.6.2.2 Tubería de acero galvanizado

Son tubos negros de acero en bajo contenido de carbono, cuyas superficies, exterior e interior han sido recubiertas de zinc, por cualquier procedimiento que satisfaga como mínimo las especificaciones contenidas en la norma ASTM A 53.

Esta tubería deberá ser colocada sobre soportes de concreto, metal o mamposterías de piedra.

2.6.2.3 Tuberías de plástico

Los tubos de plástico se obtienen por lo general por inyección-presión, es decir, haciendo pasar el material reblandecido por el calor, a través de una tobera calibrada al diámetro del tubo a obtener.

La materia prima utilizada para la fabricación de tubos plásticos es el cloruro de polivinilo (PVC) o el polietileno.

- **Cloruro de polivinilo PVC**

Es la fabricada de policloruro de vinilo rígido, para conducción de agua fría a presión.

- **Polietileno**

Tienen las características diferentes, si son de baja densidad PEBD (blandos) los cuales son muy flexibles y manejables, y los de alta densidad PEAD (duros) que soportan mejor las altas temperaturas hasta 70°C.

Ventajas

- Es una de las tuberías más ligeras en el campo de redes de abastecimiento, bastante inertes a la agresividad de las aguas y de las tierras.
- La superficie interior es completamente lisa, siendo la tubería que proporciona pérdidas de carga más pequeñas.

Desventajas

- Su limitada presión de trabajo 25 atmósferas máximo.
- Su alteración o envejecimiento con determinados medios, fundamentalmente al aire y al sol.

2.6.2.4 Tubería de cobre

En los últimos 75 años, las instalaciones de cobre han sido la opción más confiable y eficiente en función de sus beneficios a largo plazo, para entregar agua limpia y fresca en todas las partes de las instalaciones de suministros de agua, tanto en construcciones de carácter unifamiliar, multifamiliar, hospitalarios, comerciales e industriales. Las instalaciones de cobre se pueden montar tanto fuera como dentro de la obra, debido al grado de pureza de hasta 99.9%.

Tipos de tubos de cobre

Los tubos de cobre usados en fontanería para instalaciones de agua y gas se fabrican en diversas dimensiones, largo, diámetro y espesor de pared y son denominados tipos K, L, M, de acuerdo con estas dimensiones. Se fabrican en cobre desoxidado de alto contenido de fósforo residual según los requerimientos de la norma ASTM B 88

a. Tubería tipo K (Pared gruesa)

Los tubos de cobre de tipo K son de paredes gruesas, se fabrican en temple blando y duro, se presentan en tiras de 6 m y en rollos hasta de 18 m.

Se aplican en:

- Servicios subterráneos de presión e instalaciones para gas licuado.
- Para presión de trabajo superior a $1.4 \text{ kg/cm}^2 - 20 \text{ Lbs./pulg}^2$.
- Transporte de vapor, oxígeno, lubricantes, gas, combustible.
- Servicio de agua para grandes presiones

b. Tubería tipo L (pared mediana)

Se fabrican según normas ASTM B 88, se encuentran en temple duro y blando, la presentación es en tiras rectas y en rollos para los mismos largos y diámetros que los tubos tipo k.

Se aplican en:

- Riego de jardines.
- Protección contra incendio.
- Líneas principales de edificios de gran altura.
- Instalaciones de vapor o gas licuado en baja y media presión (hasta 1.4 kg/cm^2 - 20 Lbs. /pulg^2).

c. Tubería tipo M (pared delgada)

Se aplican en instalaciones cuya presión es de menor exigencia y donde el diseño de ingeniería lo admite. Igual que en los dos casos anteriores se presentan en tiras y rollos, fabricándose en ambos temples. Las dimensiones y diámetros que se encuentran se pueden apreciar en la tabla 2.1

Aplicaciones:

- Riego de jardines
- Sistemas de energía solar.
- Drenajes de lluvias o nieve derretida.
- Calefacciones basadas en paneles radiantes.

Tipo	Diámetro nominal (pulg.)	Diámetro exterior (pulg.)	Diámetro exterior (mm)	Espesor pared (pulg.)	Espesor pared (mm)	Peso Kg / m	Presión trabajo
M	3/8	1/2	12,7	0.025	0.63	0.216	840
M	1/2	5/8	15,87	0.028	0.71	0.304	760
M	3/4	7/8	22,22	0.032	0.81	0.488	610
M	1	1 1/8	28,57	0.035	0.89	0.692	515
M	1 1/4	1 3/8	34,92	0.042	1.07	1.015	515
M	1 1/2	1 5/8	41,27	0.049	1.24	1.399	510
M	2	2 1/8	53,97	0.058	1.47	2.173	450
M	2 1/2	2 5/8	66,67	0.065	1.65	3.021	410
M	3	3 1/8	79,37	0.072	1.83	3.988	385
M	3 1/2	3 5/8	92,07	0.083	2.11	5.328	385
M	4	4 1/8	104,7	0.095	2.41	6.935	380

Fuente: http://www.metalex.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=66

Tabla 2.1 Tubería de cobre tipo M norma ASTM B88

Por consiguiente, para la construcción del colector solar parabólico se escoge la tubería de cobre tipo M por las características propias del material (propiedad de conductividad térmica) y de acuerdo al trabajo que para el caso se necesita.

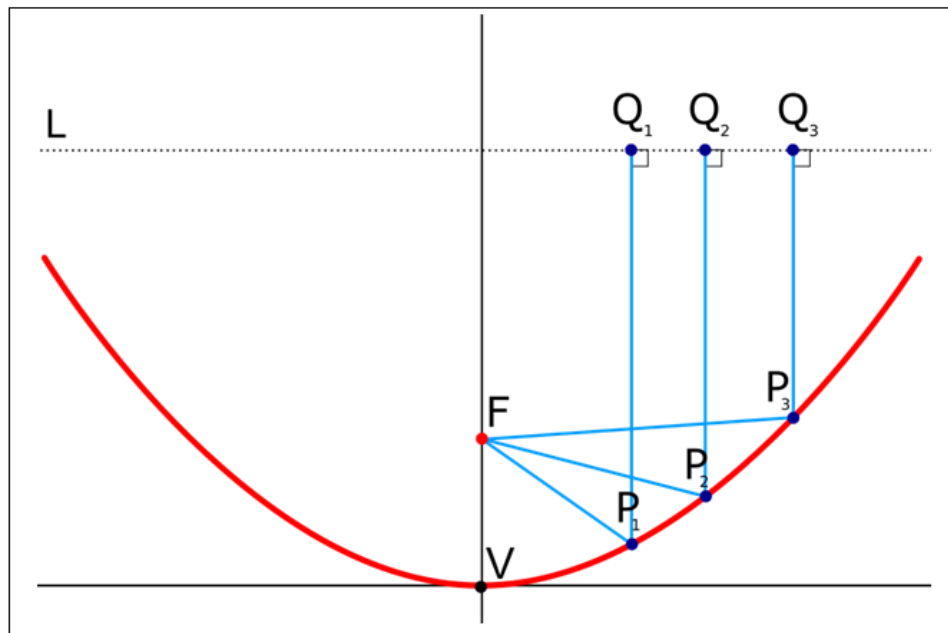
2.7 Determinación de la ecuación de la parábola

En éste sub-capítulo se estudia la parábola con la finalidad de entender cómo es que los rayos incidentes del sol, llegan de forma perpendicular a toda el área efectiva del colector y éstos a su vez reflejan los rayos hacia un punto fijo llamado foco de la parábola, en la figura 2.1, se puede apreciar gráficamente de las reflectividad de la radiación incidente al colector hacia el foco de la misma.

2.7.1 Parábola.

El lugar geométrico de los puntos cuya relación de distancias a un punto y una recta fijos es constante recibe el nombre de sección cónica o simplemente cónica.

El punto fijo F se llama foco de la cónica figura 2.1



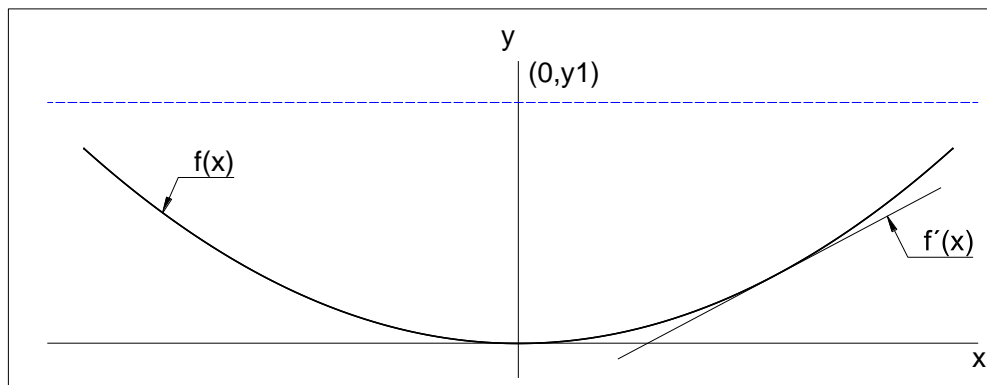
Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Parabola_with_focus_and_arbitrary_line.svg

Figura: 2.1 Parábola

La figura 2.2 representa la parábola del colector a construir y para el caso, el foco pertenece al eje Y, entonces la ecuación general de la parábola es:

$$y = kx^2 \quad \text{ec. (2.1)}$$

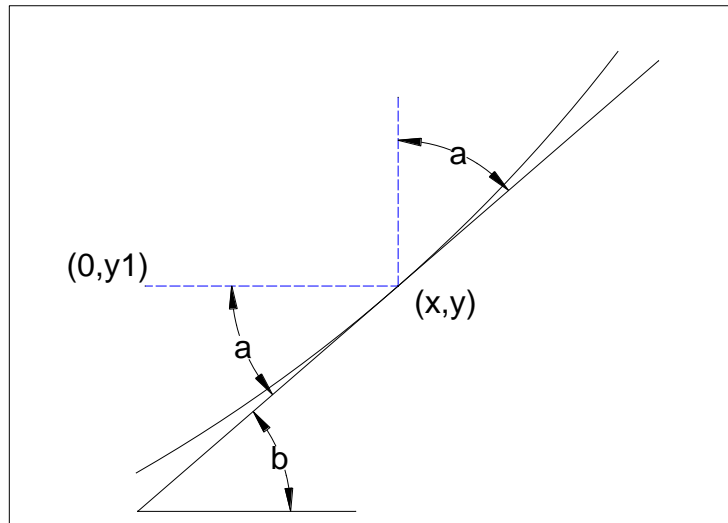
La parábola pasa por el origen, entonces se determinan las coordenadas iniciales del foco de la misma.



Fuente: Autores

Figura: 2.2 Parábola del colector

Se necesita calcular la pendiente de la parábola, al igual que en un espejo la refracción de los rayos solares hacia un punto concreto (fig. 2.3), para esto se deriva la ecuación básica que se tiene.



Fuente: Autores

Figura: 2.3 Refracción de rayos solares según un espejo plano

Obtención de la pendiente $f'(x)$ – derivada de “y” en función de x

$$y = kx^2 \quad \text{ec. (2.1)}$$

$$\frac{dy}{dx} = 2kx \quad \text{ec. (2.2)}$$

Condiciones de frontera de la figura 2.3

$$\text{i) } b = 45^\circ \gg \frac{dy}{dx} = 1 \quad \text{ec. (2.3)}$$

$$\text{ii) } y = y_1 \quad \text{ec. (2.4)}$$

De las ecuaciones (2.4) y (2.1) se obtiene la ec. (2.5)

$$y_1 = kx^2 \quad \text{ec. (2.5)}$$

De las ec. (2.3) y (2.2) se obtiene la ec. (2.6)

$$1 = 2kx \rightarrow x = 1/2k \quad \text{ec. (2.6)}$$

Reemplazar la ec. (2.5) en ec. (2.6)

$$y_1 = k \left(\frac{1}{4k^2} \right)$$

$$k = \frac{1}{4y_1}$$

Por lo tanto:

$$y = \frac{x^2}{4y_1} \quad \text{ec. (2.7)}$$

Esta ecuación general se puede usar para cualquier punto de y_1 (foco) que se desee. Para este trabajo será:

$$y_1 = 300\text{mm}$$

Reemplazar y_1 en la ec. (2.7) y se obtiene:

$$y = \frac{x^2}{1200} \quad [\text{mm}] \quad \text{ec. (2.8) Ecuación de la parábola}$$

Esta ecuación que se ha determinado es esencial para la construcción de las guías del colector ya que de ellas depende la precisión del mismo.

2.8 Determinación del intercambio de calor por radiación

2.8.1 Absortividad, reflectividad y transmisividad¹⁰

En la radiación un material siempre se comporta de tres formas con respecto a la radiación: la absorbe, la refleja y los materiales translucidos la transmiten, en la tabla 2.2 observamos la absortividad y reflectividad de algunos materiales.

De donde se obtiene la ecuación

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.9)$$

En donde:

α : absortividad

ρ : reflectividad

τ : transmisividad \rightarrow para objetos opacos $\tau = 0$

Superficie	Absortividad (α)	Emisividad (e)	α/e
Película de aluminio	0,09	0,03	3
Cuarzo fundido sobre una película de aluminio	0,19	0,81	0,24
Película blanca sobre un sustrato metálico	0,21	0,96	0,22
Pintura negra sobre un sustrato metálico	0,97	0,97	1
Acero inoxidable, como se recibe, mate	0,5	0,21	2,4
Ladrillo rojo	0,63	0,93	0,68
Piel humana	0,62	0,97	0,64
Nieve	0,28	0,97	0,29
Hoja de maíz	0,76	0,97	0,78

Fuente: INCROPERA Frank P., Fundamentos transferencia calor, pág. 684

Tabla 2.2 Absortividad solar y emisividad de superficies.

¹⁰ HOLMAN, Transferencia de Calor, pág. 273

Tomando en cuenta, que al aluminio posee gran reflectividad, se considera hacer la parábola del colector solar con este material, dato obtenido de la tabla 2.2

Así como también se opta por los tubos que llevarán el agua deberán ser pintados de negro (la pintura negra da una alta absorción tabla 2.2).

$$\alpha + \rho = 1 \quad \text{ec. (2.10)}$$

Para el aluminio pulido $\alpha = 0,09 \rightarrow \rho = 0,91 = 91\%$

Para la superficie pintada de negro $\alpha = 0,97 = 97\%$

Esto es importante para determinar de cuanta energía se va a proveer al colector, ya que primero se aprovecha la energía de radiación reflejándola desde la parábola (91%) y luego colectándola en el foco de la misma por donde circulan los tubos pintados de negro (97%), que transportarán el agua.

Para la selección del prototipo se empezará los cálculos matemáticos utilizando tubería de diámetro 1" (tabla 2.1).

2.8.2 Radiación incidente en Quito DM.

Antes de llegar a la tierra, la radiación solar tiene que atravesar una masa gaseosa que representa aproximadamente 8 km de atmósfera. Este último recorrido se traducirá en una disminución sensible del flujo energético por unidad de superficie debido a fenómenos de difusión, absorción y reflexión de los elementos existentes en la atmósfera (nubes, polvo, humo, etc.).

El albedo¹¹ de la tierra, es decir su brillo o capacidad de reflejar la energía, es de alrededor de un 0.3, lo que significa que un 30% de la radiación que se recibe es devuelta al espacio por la reflexión de la tierra. Se calcula que aproximadamente la mitad de este albedo es causado por las nubes, aunque este valor es lógicamente muy variable, dependiendo del lugar y otros factores. El 70% de la energía restante es absorbida.

La intensidad de la radiación solar depende en última instancia de la altura solar, determinada por la longitud de la trayectoria dentro de la atmósfera que han de atravesar los rayos, del lugar y la latitud del punto de interés. Cuanto más cerca de los polos esté el lugar considerado, más grande será la masa atmosférica atravesada y menos potente será entonces el flujo de radiación.

En Quito, como dato fundamental se ha tomado la radiación incidente por área para nuestro país ubicado en la línea ecuatorial como $G = 1000 \text{ w/m}^2$, dato obtenido de la tabla 1.6 del capítulo primero.

Condiciones climatológicas	Irradiancia (W/m^2)	Componente difusa (%)
Cielo claro	750 – 1.000	10 – 20
Parcialmente nublado	200 – 500	20 – 29
Completamente cubierto	50 – 150	90 – 100

Fuente: PLANA Ibáñez, Tecnología solar, pág. 25

Tabla 1.6 Irradiancia global y difusa en diferentes condiciones

¹¹ http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3_Albedo/Investigaci_n_de_los_cambios_en_el_Albedo_6fm.html

2.8.3 Energía total incidente

Para los cálculos matemáticos de la energía total recibida para el colector, es necesario hacer las siguientes consideraciones:

- El área de la parábola (A_1), es la horizontal trazada desde los bordes externos de la misma, es decir en línea recta (no la longitud parabólica) multiplicada por la longitud de ella.

$$A_1 = L_1 \times L_2 \quad \text{ec. (2.11)}$$

Para el dimensionamiento de la parábola, se escoge según lo que en el mercado se encuentra, siendo así las medidas de una plancha de aluminio.

Por consiguiente:

$$A_1 = L_1 \times L_2 = 0,95\text{m} \times 1,2\text{m} = 1,14\text{m}^2 \quad \text{ec. (a)}$$

- El área de los tubos (A_2), está dada por el diámetro exterior del mismo y multiplicada por su longitud efectiva, en este caso es la que absorbe directamente.

$$A_2 = D_e \times L \quad \text{ec. (2.12)}$$

Para el cálculo de A_2 se utiliza los datos del tubo de cobre de una pulgada y la longitud de los mismos que para nuestro caso hemos optado por 1,1m de tubería (ver tabla 2.1)

Por consiguiente:

$$A_2 = D_e \times L = 0,02857\text{m} \times 1,1\text{m} = 0,0314\text{m}^2 \quad \text{ec. (b)}$$

Una vez obtenido las áreas de la parábola y de los tubos, se procede a calcular las energías:

$$E_{\text{refl}} = E_{b_1} * A_1 \quad \text{ec. (2.13)}$$

$$E_{\text{refl}} = \rho * G * A_1$$

$$E_{\text{refl}} = 0,91 \times G(\text{w}/\text{m}^2) \times 1,14\text{m}^2 = \mathbf{1,0374 * G(w)} \quad \text{ec. (c)}$$

$$E_{\text{abs}} = E_{b_2} * A_2 \quad \text{ec. (2.14)}$$

$$E_{\text{abs}} = \alpha * G * A_2$$

$$E_{\text{abs}} = 0,97 \times G(\text{w}/\text{m}^2) \times 0,0314\text{m}^2 = \mathbf{0,03048 * G(w)} \quad \text{ec. (d)}$$

En donde:

E_{refl} : Energía reflejada

E_{abs} : Energía absorbida

E_{b_1} : Radiación incidente en área 1 (parábola)

E_{b_2} : Radiación incidente en área 2 (tubo)

ρ : Coeficiente de reflectividad

α : Coeficiente de absortividad

Entonces la energía total incidente en el colector está dada por la suma de la energía reflejada y absorbida, pero hay que tener en cuenta la energía reflejada es una vez más absorbida por los tubos así que hay que multiplicarla por el coeficiente antes de sumar.

La energía total es igual a la ecuación (c) * α más la ecuación (d)

$$E_{\text{total}} = E_{\text{refl.}} \cdot \alpha + E_{\text{abs}} \quad \text{ec. (2.15)}$$

$$E_{\text{total}} = q = 1,0374 \cdot G(w) \times 0,97 + 0,03048 \cdot G(w)$$

$$E_{\text{total}} = 1,03676 \cdot G(w) \quad \text{ec. (e)}$$

Como se ve en la ecuación (e), la energía total para el colector está dada por la irradiación incidente en la misma, razón por la que no es estable; entonces se utiliza la tabla 1.6 para realizar un promedio de energía total incidente, con posibles condiciones climatológicas ver resultados en la tabla 2.3

Condiciones climatológicas	Irradiación (W/m ²)	Energía total (w)
Cielo claro	750 – 1.000	777,55 – 1036,76
Parcialmente nublado	200 – 500	207,35 – 518,37
Completamente cubierto	50 – 150	51,84 – 155,51

Fuente: Autores

Tabla 2.3 Energía total útil en el colector

2.8.4 Temperatura de salida del agua del colector vs. tiempo de calentamiento

En el siguiente apartado se determinara diferentes variaciones de temperatura con respecto al tiempo de exposición del colector a la irradiación solar.

La energía es igual al trabajo efectuado en un tiempo determinado¹²

$$E = \frac{Q}{t} \left[\frac{W}{\text{seg}} \right]$$

En donde:

E : energía $\left[\frac{W}{\text{seg}} \right]$

Q : trabajo [W]

t : tiempo [seg]

También el trabajo en un fluido que se calienta y conociendo su masa es igual:

$$Q = m \cdot Cp \cdot (Tf - Ti)$$

En donde:

m : masa del fluido [Kg]

Cp : calor especifico del fluido a temperatura inicial (para temperatura de 14°C

$$Cp = 4181,8 \text{ J/Kg} \cdot \text{°C}$$

Tf : temperatura final del fluido [°C]

Ti : temperatura inicial del fluido [°C]

¹² KARLEKAR, Transferencia de Calor, pág. 627

Entonces la ecuación de la energía está dada así:

$$E = \frac{m \cdot Cp \cdot (Tf - Ti)}{t}$$

Despejando se tiene:

$$Tf = \frac{E \cdot t}{m \cdot Cp} + Ti$$

o también:

$$t = \frac{m \cdot Cp \cdot (Tf - Ti)}{E}$$

Para el caso del colector se ha tomado un tanque de almacenamiento de 40 galones, también se sabe que la temperatura promedio en la ciudad de Quito¹³ es 14°C, y se tiene la energía total útil en el colector (ver tabla 1.7)

Con la densidad del agua de 1000 Kg/ Kg/m³ se determina la masa de fluido

$$m = \delta \cdot V$$

En donde:

δ : densidad del fluido [Kg/m³]

V : volumen del fluido [m³]

$$m = 1000 \frac{Kg}{m^3} \times 40 gal \left[\frac{3,78 lit}{1 gal} \right] \left[\frac{1 m^3}{1000 lit} \right] = 151,2 Kg$$

¹³ INAMHI, Ecuador, promedio de temperatura de la Ciudad de Quito, 2011

En el alcance del presente trabajo se planteó conseguir una temperatura de 40°C, para lo cual se puede determinar el tiempo necesario para dicho fin y se tomara la irradiación incidente de un día claro y despejado de 1000 w/m²

$$t = \frac{151,2Kg \left(4181,8 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} \right) (40 - 14)^\circ C \left[\frac{w}{J} \right] \left[\frac{1h}{3600seg} \right]}{1036,76w} = 4,4h$$

Entonces es necesario 4,4 horas a plena capacidad de irradiación solar (1000w/m²), para llegar a dicha temperatura.

Es apreciable que estos sistemas no son estables ya que depende de las condiciones climatológicas, a continuación se puede ver en la tabla 2.4 diferentes valores de temperaturas a alcanzar en función de dicha variable y del tiempo de exposición a la irradiación solar dada.

Condición climatológica	Energía total	Tiempo	Temp. final
	(w)	(h)	(°C)
Cielo claro	1036,76	1	19,9
		2	25,81
		3	31,71
	777,55	1	18,43
		2	22,85
		3	27,28
Parcialmente nublado	518,37	1	16,95
		2	19,9
		3	22,85
	207,35	1	15,18
		2	16,36
		3	17,54
Completamente cubierto	155,51	1	14,89
		2	15,77
		3	16,66
	51,84	1	14,3
		2	14,59
		3	14,89

Fuente: Autores

Tabla 2.4 Valores de temperatura calculada en función del clima

2.9 Mecanismos de seguimiento del colector al sol¹⁴

Los sistemas de seguimiento son más indicados en zonas de poca nubosidad, ya que lo que optimizan es la captación de la radiación directa, manteniendo el panel lo más perpendicular posible a los rayos del sol en todo momento.

En relación con el tipo de movimiento de rotación, que los mecanismos de seguimiento producen, éstos se dividen en:

Sistemas de un eje:

Permiten a la estructura y a los paneles girar en torno a un eje horizontal, vertical o inclinado, mediante este giro se puede llevar a cabo un seguimiento del azimut del sol o de su altura pero no de ambas coordenadas simultáneamente.

Sistemas de dos ejes:

En éstos sistemas de dos ejes, además del movimiento de giro este-oeste alrededor del primer eje también es posible un segundo movimiento rotatorio alrededor de un eje horizontal, dicho eje está en la dirección este-oeste, por lo que el movimiento de rotación alrededor de él permitirá variar al ángulo del plano del panel, con respecto al plano horizontal.

La combinación de los movimientos alrededor de ambos ejes hace posible que los rayos del sol incidan en todo momento perpendicular a la superficie del panel, captándose así la mayor cantidad posible de energía solar.

¹⁴AGUILERA Antonio, Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaicas, pág. 33

Para el presente proyecto se analizaran dos tipos de mecanismos:

- Sistema automático – eléctrico.
- Sistema mecánico manual.

2.9.1 Sistema de seguimiento al sol utilizando motores a paso (automático - eléctrico.)

Los motores a pasos son dispositivos electromagnéticos, rotativos, incrementales que convierten pulsos digitales en rotación mecánica.

La cantidad de rotación es directamente proporcional al número de pulsos y la velocidad de rotación es relativa a la frecuencia de dichos pulsos. Los motores por pasos son simples de operar en una configuración de lazo cerrado y debido a su tamaño proporcionan un excelente torque a baja velocidad (figura 2.4).

Los beneficios ofrecidos por estos motores incluyen¹⁵:

- alta confiabilidad
- libres de mantenimiento (no disponen de escobillas)
- lazo abierto (no requieren dispositivos de realimentación)

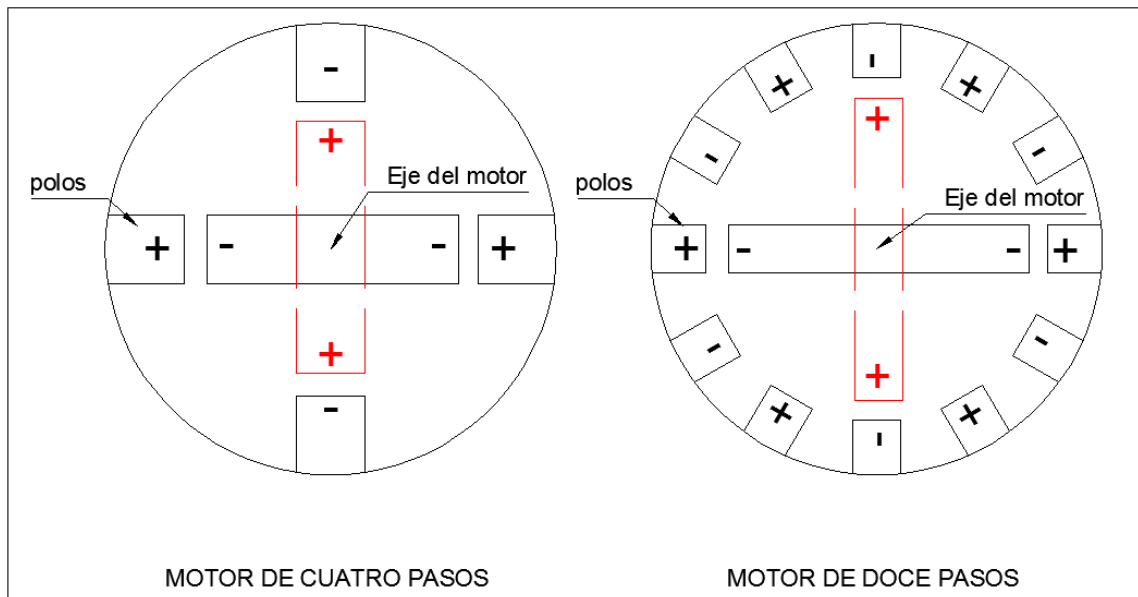


Fuente: <http://www.superrobotica.com/S330300.htm>

Figura 2.4 Motor paso a paso

¹⁵ FUNDAMENTOS DE CONTROL AUTOMÁTICO INDUSTRIAL
http://www.sapiensman.com/motores_por_pasos/#construccion

La característica principal de estos motores¹⁶ es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° ver figura 2.5



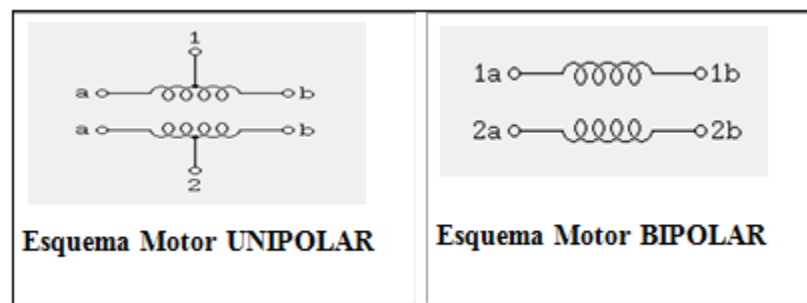
Fuente: Autores

Figura: 2.5 Ubicación de polos en un motor a pasos

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

¹⁶ COLMENARIS APTIZ Javier ,Motores paso a paso, pág: 45

Hay dos tipos básicos de motores paso a paso, los BIPOLARES que se componen de dos bobinas y los UNIPOLARES (figura 2.6), que tienen cuatro bobinas. Externamente se diferencian entre sí por el número de cables. Los bipolares solo tienen cuatro conexiones dos para cada bobina y los unipolares que normalmente presentan seis cables, dos para cada bobina y otro para [alimentación](#) de cada par de éstas, aunque en algunos casos podemos encontrar motores unipolares con cinco cables, básicamente es lo mismo, solo que el cable de alimentación es común para los dos pares de bobinas.



Fuente: COLMENARIS APTIZ Javier, Motores a paso, 2007

Figura: 2.6 Tipos de motores a pasos

2.9.1.1 Selección y control del motor a pasos a utilizar en el colector

En función a las características de los motores a pasos y según las necesidades para el caso, es necesario el uso de un motor con la mayor cantidad de pasos, debido a que la velocidad de desplazamiento del colector es igual a la velocidad de rotación de la tierra, se considera usar un motor de 200 pasos, es decir, $1,8^\circ$ por paso.

Para controlar el motor se utilizará un mini-tablero eléctrico, el cual permite el control del motor y maneja la comunicación serial con el computador.

Se define entonces las condiciones que deberá tener el programa de control.

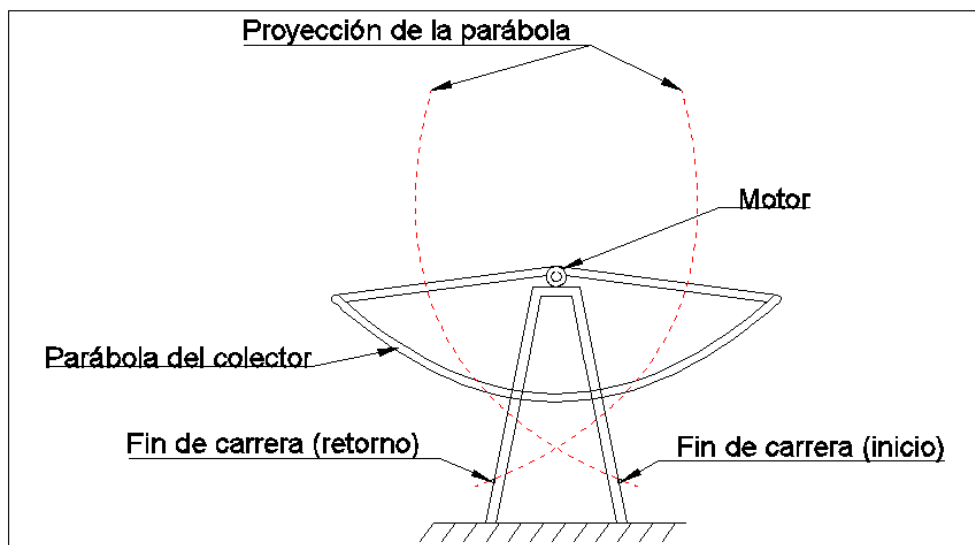
Como el colector tiene una razón de una revolución por día, es decir que el colector tiene esta velocidad, pero esto no significa que gire por 24 horas.

$$1 \text{ día} = 24 \text{ horas} = 1440 \text{ minutos}$$

Entonces, el motor debe dar un paso así:

$$\frac{1440 \text{ minutos}}{200 \text{ pasos}} = 7,2 \text{ minutos/paso.}$$

Se añadirán controles de inicio y fin de carrera (figura 2.7), para limitar el desplazamiento del colector solar, evitando que éste, choque con la estructura del colector y adicionalmente para el control de los tiempos de funcionamiento.



Fuente: Autores

Figura 2.7 Ilustración de ubicación de motor y fines de carrera

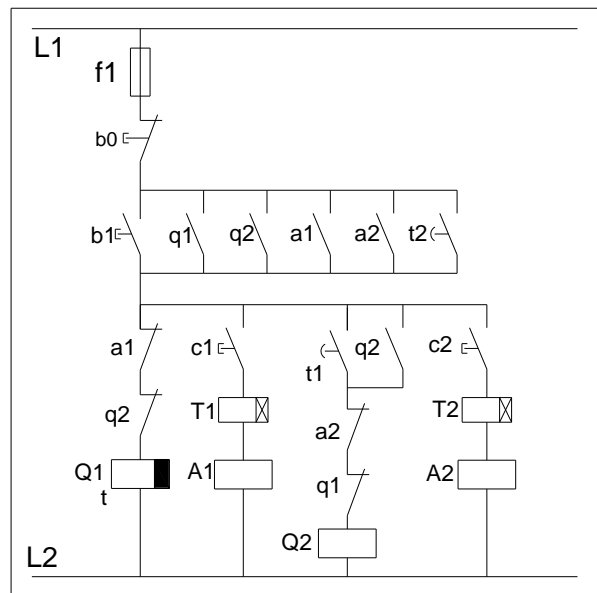
2.9.1.2 Software de control para el motor a pasos.

Existen varios programas de interface entre el computador y un tablero de control que se pueden encontrar en el mercado, para nuestro caso se usara un programa sencillo llamada LOGO y que es desarrollado por la compañía SIEMENS.

Es de fácil uso ya que funciona con el sistema de escalera y también con las condiciones lógicas AND & OR, lo cual facilita las cosas si se tiene un circuito de analogía eléctrica y además evita el exceso de componentes físicos, como relees, fusibles, pulsantes, etc., debido a que estos solo se encuentran en la memoria del programa de forma digital.

Nota.- para un caso de control tan sencillo como el presente es suficiente con un pequeño tablero de control y el uso de un software básico, el querer usar un PLC para este caso sería sub-utilizar sus funciones y no justificaría su costo¹⁷.

En el siguiente diagrama se indica el circuito a utilizar en el programa de control LOGO que usa el panel de control y que consta de elementos básicos de electricidad (figura 2.8)



Fuente: Autores

Figura 2.8 Diagrama de control (analogía eléctrica)

¹⁷ “Lista de precios Ecuador”, Catalogo de SIEMENS, Enero 2012, Sección 5. Automatización Industrial.

En donde:

<i>L</i> :	Fase de línea eléctrica
<i>f</i> :	Fusible
<i>b</i> :	Pulsante
<i>Q₁</i> :	Bobina del motor temporizada (avance)
<i>Q₂</i> :	Bobina del motor (retroceso)
<i>q</i> :	Contactador de la bobina del motor
<i>A</i> :	Relé auxiliar
<i>a</i> :	Contactador del rele auxiliar
<i>c</i> :	Pin de carrera
<i>T</i> :	Temporizador
<i>t</i> :	Contactador del temporizador

Nota. Todos estos componentes son realizados en base a una analogía eléctrica, pero en el programa de control (LOGO), estos no existen físicamente.

Cabe también destacar que en el programa LOGO la interface de temporizadores es regulable para lo cual se usa un display de fácil acceso, en el cual el usuario puede realizar calibraciones.

2.9.1.3 Determinación del peso del colector

Para la determinación del peso del colector, se calcula el volumen de cada pieza influyente y se la multiplica por el peso específico del material que está construido como se muestra en la tabla 2.5 adjunta a continuación:

Elemento	D (CM)	L1 (cm)	L2 (cm)	L3 (cm)	Volumen (cm3)	P. aluminio. (g/cm3)	P. acero (g/cm3)	Peso (Kg)
Parábola	---	100	122	0,1	1220,00	2,7	----	3,29
Guías	---	110	2,5	0,9	247,50	2,7	----	0,67
Brazos	---	230	2	0,3	138,00	----	7,8	1,08
Tensores	0,6	369	---	---	173,89	----	7,8	1,36
Ejes	---	---	---	---	62,02 ¹⁸	----	7,8	0,48
TOTAL								6,88

Fuente: Autores

Tabla: 2.5 Determinación del peso del colector.

Como resultado se obtiene que el peso total del colector solar sería de 6.88 Kg, dato que se necesita para posteriores cálculos para el movimiento del mismo.

2.9.1.4 Cálculo de la potencia del motor a pasos.

Para la determinación de la potencia del motor, una vez obtenido el peso del colector y conociendo la distancia del mismo al foco (300 mm), además se conoce que el motor da un ciclo 7.2 minutos, entonces se determina así:

$$Pot = \frac{P * \hat{y}}{t}$$

En donde:

Pot: Potencia requerida

P: Peso del colector

ŷ: Distancia del centroide¹⁹ del colector al foco

t: Tiempo de ciclos del motor

¹⁸ Volumen obtenido del programa AUTOCAD, previamente dibujándolos en 3D

¹⁹ SOUTAS Robert W, Ingeniería mecánica estática, pág. 190

$$\hat{y} = \frac{3h}{5}$$

$$\hat{y} = \frac{(3 \cdot 300)}{5} = 180 \text{ mm}$$

$$t = 7,2 \frac{\text{minutos}}{\text{paso}}$$

$$t = 432 \frac{\text{seg}}{\text{paso}}$$

$$\text{Pot} = \frac{6,88 \text{Kg} \times 0,18 \text{m}}{432 \text{ seg}} * \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{m}} * \frac{\text{w}}{\text{J/seg}} = \mathbf{0,003 \text{w}}$$

Por consiguiente y como se observa el motor necesario es extremadamente bajo en potencia para la aplicación, por lo tanto para el colector solar parabólico se utilizará un motor de la potencia más baja disponible en el mercado. El motor disponible²⁰ es de 177w.

2.9.2 Sistema de seguimiento al sol utilizando un péndulo (mecánico – manual)

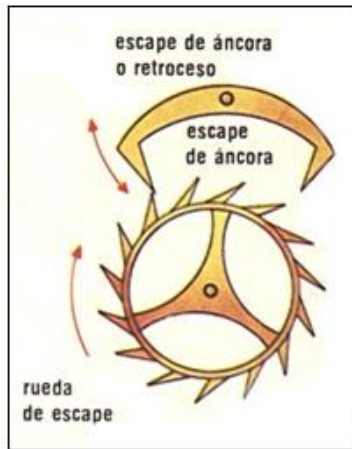
A continuación se analiza el sistema de seguimiento al sol, utilizando el método de péndulo, más común en relojes, teniendo una buena precisión con respecto al tiempo, que es lo que nos interesa para el desarrollo del proyecto.

2.9.2.1 Funcionamiento del sistema péndulo

El péndulo es un peso suspendido de una cuerda que oscila libremente en el aire, para un balanceo suave el péndulo tiene la propiedad que el tiempo entre una oscilación y la siguiente depende únicamente de la longitud del péndulo y de la fuerza de la gravedad.

De esta forma se inventaron mecanismos que permitían un avance fijo del mecanismo del reloj por cada oscilación del péndulo, tales como el escape de áncora figura 2.9

²⁰ http://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-400520180-arduino-motor-de-paso-de-5vdc-nuevo-_JM

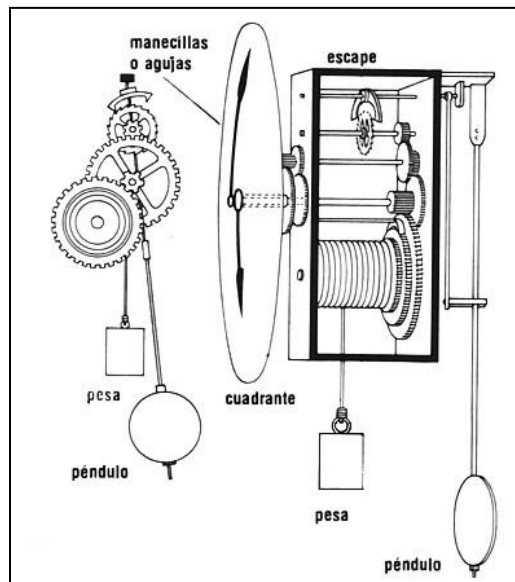


Fuente: <http://notaculturaldeldia.blogspot.com>

Figura 2.9 Escape de áncora

Por cada oscilación se permite a la rueda avanzar un diente, además la forma oblicua de los dientes aporta al péndulo un impulso adicional en cada oscilación que compensa las pérdidas sufridas por el rozamiento.

Para proveer de energía a este sistema se usan unas pesas colgando del sistema de engranajes que van desenrollando una cuerda, ver figura 2.10



Fuente: <http://notaculturaldeldia.blogspot.com/2011/02/como-funciona-un-reloj-de-pendulo.html>

Figura 2.10 Mecanismo del reloj de péndulo

Como es apreciable para el desarrollo del proyecto, se necesita un mecanismo que permita mover al colector 0.5 veces la velocidad del horero, permitiendo el seguimiento al sol durante su trayectoria.

2.9.2.2 Cálculo de la longitud del péndulo²¹ aplicado al colector.

El péndulo matemático describe un movimiento armónico simple en torno a su posición de equilibrio, y su periodo de oscilación alrededor de dicha posición está dado por la ecuación siguiente:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \rightarrow \text{Despejamos } l \text{ (longitud)}$$

$$l = \frac{g * T^2}{4 \pi^2}$$

En donde:

l: Representa la longitud medida desde el punto de suspensión hasta la masa puntual.

g: Es la aceleración de la gravedad en el lugar donde se ha instalado el péndulo.

T: Periodo de oscilación del péndulo

Por facilidad de cálculo el periodo elegido es de 1 segundo.

$$l = \frac{(9.81 \text{ m/s}^2) * 1\text{s}^2}{4\pi^2} * \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = 24.85 \text{ cm}$$

Nota: En la ecuación la longitud está dada por el periodo y la gravedad, sin tener influencia importante el peso del péndulo.

²¹ TIPLER Mosca, Física para la ciencia y la tecnología (2005), pág. 409

2.9.2.3 Relación de transmisión del mecanismo de engranajes

Para todo cálculo de sistema de transmisión es necesario tener ciertas consideraciones, saber o estimar las condiciones de velocidad angular iniciales y finales del sistema, luego de esto se puede jugar con los valores obteniendo sus divisores mínimos y haciendo parejas para estimar un número de juegos de engranajes.

Para un diseñador lo más importante es pocos juegos de engranajes y de varias relaciones por su precisión al construir, ubicación y espacio.

Por ejemplo si se tiene una entrada de valor 1 y una de salida 8, es fácil determinar que se puede usar varias combinaciones como tres relaciones de 1 a 2 (2^3), también es factible usar dos relaciones 1 a 2 y 1 a 4 ($2*4$) o una simple de 1 a 8.

En este caso se sabe que el colector tiene una velocidad de una revolución por día (el colector no gira del todo), además se ha estimado el tiempo de periodo para el péndulo en un segundo ya que como se vio hacerlo más grande significaría tener una longitud de cuerda excesiva, entonces:

$$\text{Un día} = 24 \text{ horas} = 1440 \text{ minutos}$$

Descomponiendo en sus números básicos se tiene:

1440		2
720		2
360		2
180		2
90		2
45		5
9		3
3		3
1		

$$1440 = 2*2*2*2*2*3*3*5 = 2^5*3^2*5$$

En esta parte se puede obtener muchas combinaciones para lograr la relación de una revolución por día.

En este caso se prueba:

$$1440 = 12 * 12 * 10$$

Es una relación de engranajes manejable, pero al existir uno de diferente número y para mayor facilidad en construcción se puede homologar los tres juegos de engranajes así:

$$12 * 12 * 12 = 1728$$

Ahora bien si se divide los 1440 minutos para el número obtenido se tiene.

$$\frac{1440}{1728} \text{ min} = 0,8333333 \text{ min} = 50 \text{ seg.}$$

Lo cual significa que con tres juegos de engranajes de relación 1 a 12 la rueda motriz del péndulo debe dar un giro cada 50 segundos, en consecuencia como se tiene un periodo en el péndulo de un segundo, la rueda dentada del mismo debe ser construida de 50 dientes.

2.9.2.4 Cálculo del torque necesario para mover el sistema

Al tener el centro de gravedad del colector (parábola), y el peso del mismo, tenemos:

$$T = P * \hat{y}$$

$$T = 6.88 \text{ Kg} * 18 \text{ cm}$$

$$T = 123.84 \text{ Kg} * \text{cm}$$

Al tener un sistema de relación de transmisión de tres juegos de 1 a 12, se sabe que el número mínimo permitido para la elaboración de un piñón es de 12 dientes²², en consecuencia la rueda dentada debe ser de 144 dientes.

Para determina el diámetro primitivo del piñón y la rueda se usa la siguiente fórmula:

$$D_p = z * m$$

En donde

z : Número de dientes

D_p : Diámetro primitivo

m : Módulo del diente en mm.

El módulo es libre de escogerse para la construcción de engranajes, en este caso al ser un prototipo se usara el módulo más pequeño disponible.

$$m = 1.25$$

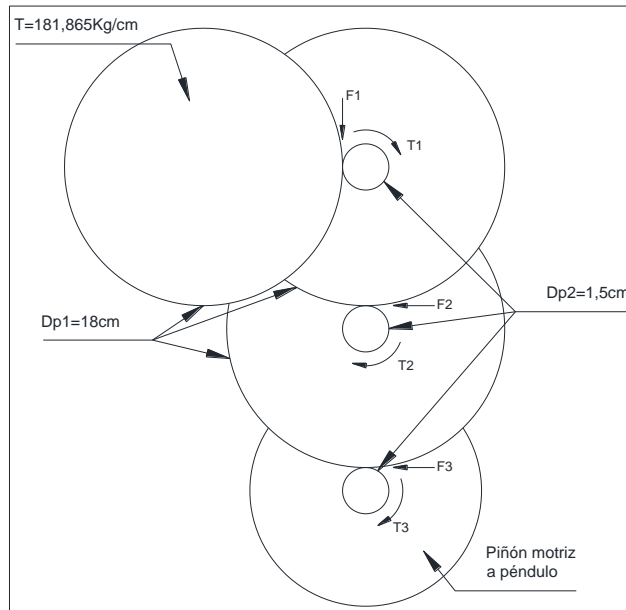
Los diámetros primitivos del piñón y la rueda son:

$$D_{p1} = 144 * 1.25 = 180 \text{ mm}$$

$$D_{p2} = 12 * 1.25 = 15 \text{ mm}$$

²² ALVAREZ, Tomás, Tecnología 2-1, Máquinas Herramientas, pág. 77

En la figura 2.11 se muestra un esquema representativo del juego de engranajes requerido para el movimiento de seguimiento al sol, con los respectivos torques en cada relación del sistema.



Fuente: Autores

Figura: 2.11 Torques y fuerzas en los juegos de engranajes.

Nota: la figura 2.11 es una ilustrativa para determinar el torque necesario del péndulo y el peso del mismo, razón por la que no se representa, además esto no significa que en la construcción se deba realizar en la misma orientación como se muestra.

Se procede a calcular los torques y fuerzas en cada relación de transmisión del sistema, hay que considerar que el torque = fuerza * distancia, pero al trabajar en un sistema de engranajes que siempre es par (rueda – piñón), se puede usar los diámetros y no los radios.

$$F1 = \frac{T}{Dp1} = \frac{123,84 \text{ Kg} * \text{cm}}{18 \text{ cm}} = 6,88 \text{ Kg}$$

$$T1 = F1 * Dp2 = 6,88 \text{ Kg} * (1.5 \text{ cm}) = 10,32 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$F2 = \frac{T1}{Dp1} = \frac{10,32 \text{ Kg} * \text{cm}}{18 \text{ cm}} = 0,57 \text{ Kg}$$

$$T2 = F2 * Dp2 = 0,57 \text{ Kg} * (1.5 \text{ cm}) = 0,86 \text{ Kg}$$

$$F3 = \frac{T2}{Dp1} = \frac{0,86 \text{ Kg} * \text{cm}}{18 \text{ cm}} = 0,047 \text{ Kg}$$

$$T3 = F3 * Dp3 = 0,047 \text{ Kg} * (1.5 \text{ cm})$$

$$T3 = 0,071 \text{ Kg} * \text{cm}$$

T3 es el torque necesario para mover el sistema de engranajes que le hace girar al colector solar.

2.9.2.5 Peso requerido del péndulo

Considerando que la rueda motriz del péndulo es de 50 dientes, sin embargo al utilizar una rueda de escape (ver figura 2.9), la misma puede ser construida de un diámetro conveniente, para este caso por facilidad de cálculo y construcción será de 100 mm de diámetro.

$$P = \frac{T3}{r} = \frac{0,071 \text{ Kg} * \text{cm}}{5 \text{ cm}} = 0.014 \text{ Kg}$$

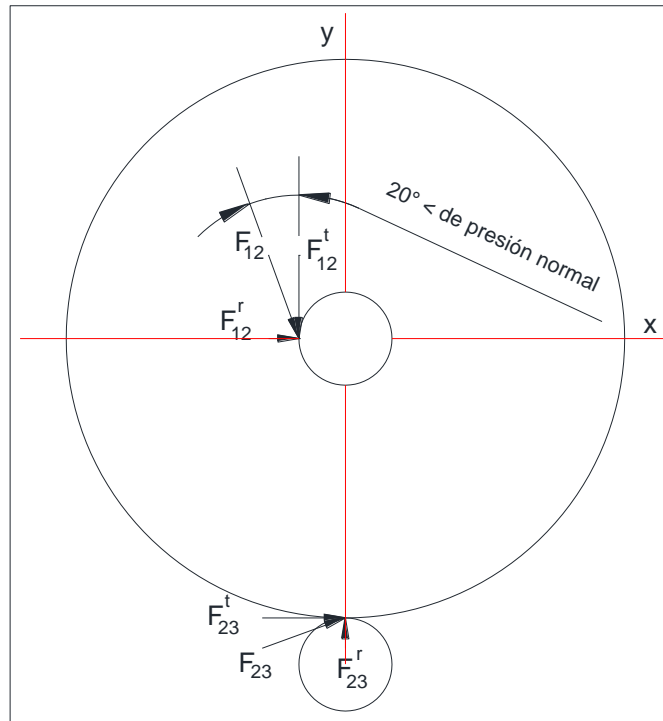
r : Radio de la rueda de escape

P: Peso del péndulo

En consecuencia, el peso del péndulo es el calculado, sin embargo por efectos de rozamiento con el aire el mismo que tiende a detenerlo, se debe considerar un peso mayor y compensarlo con un contrapeso que recupere dicho efecto, es decir, para este caso se tomará un peso de 0.5 Kg y un contrapeso de 0.514 Kg,

2.9.2.6 Diseño de engranajes y ejes para el sistema

Para el diseño de los engranajes y ejes es necesario determinar las fuerzas que se involucran en los mismos, por esta razón se realiza un diagrama de cuerpo libre (ver figura 2.12)



Fuente: Autores

Figura: 2.12 Diagrama de cuerpo libre entre ejes 1, 2 y 3.

Como se observa el análisis es realizado en el eje central ya que el mismo soporta la mayor cantidad de esfuerzos y por lo tanto el más crítico para su construcción.

$$F_{12}^t = F_1$$

$$F_{12}^t = 10,1036\text{Kg}$$

$$F_{12} = \frac{F_{12}^t}{\cos 20^\circ}$$

$$F_{12} = 10,752\text{Kg}$$

$$F_{12}^r = F_{12}^t * \tan 20^\circ$$

$$F_{12}^r = 3,6774\text{Kg}$$

$$F_{23}^t = F_2$$

$$F_{23}^t = 0,84\text{Kg}$$

$$F_{23} = \frac{F_{23}^t}{\cos 20^\circ}$$

$$F_{23} = 0,8939\text{Kg}$$

$$F_{23}^r = F_{23}^t * \tan 20^\circ$$

$$F_{23}^r = 0,3057\text{Kg}$$

Una vez determinadas las fuerzas que inciden para su análisis, se procede a calcular en condiciones de equilibrio.

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{12}^r + F_{23}^t - F_{b2}^x = 0$$

$$F_{b2}^x = (3,6774 + 0,84)\text{Kg}$$

$$F_{b2}^x = 4,5174\text{Kg}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_{12}^t + F_{23}^r + F_{b2}^y = 0$$

$$F_{b2}^y = (10,1036 - 0,3057)\text{Kg}$$

$$F_{b2}^y = 9,7979\text{Kg}$$

Reacción resultante:

$$F_{b2} = \sqrt{(F_{b2}^x)^2 + (F_{b2}^y)^2}$$

$$F_{b2} = \sqrt{(4,5174)^2 + (9,7979)^2} \text{Kg}$$

$$F_{b2} = 10,7891 \text{Kg}$$

Para la carga que soporta el piñón se utiliza la siguiente formula²³:

$$Wt = \frac{H}{V}$$

En donde:

Wt: carga transmitida

H: Potencia

V: velocidad

Para determinar la velocidad usamos la siguiente ecuación.

$$V = \pi d n$$

$$V = \pi(15\text{mm}) \left(\frac{1\text{rev}}{120\text{min}} \right)$$

$$V = 0,3927 \text{ mm}/\text{min}$$

Entonces:

$$Wt = \frac{1/8\text{HP}}{0,3927\text{mm}/\text{min}} \left[\frac{746\text{w}}{1\text{HP}} \right] \left[\frac{\text{N. m/s}}{\text{w}} \right] \left[\frac{60\text{s}}{1\text{min}} \right] \left[\frac{1000\text{mm}}{1\text{m}} \right] \left[\frac{\text{Kg}}{9,8\text{N}} \right]$$

$$Wt = 1,45 \times 10^6 \text{Kg}$$

²³ SHIGLEY, Diseño de elementos mecánicos, 2008, pág. 870

Por lo tanto la carga que resiste el piñón construido con el modulo mínimo disponible es mucho mayor a la máxima que se tiene $F_{12}=10,1036\text{Kg}=W_{t_{real}}$

Para la determinación del tamaño de los engranajes es necesario ciertos datos para dar cumplimiento a la siguiente formula²⁴:

$$F = \frac{W_{t_{real}} \cdot P}{K_v \cdot Y \cdot \sigma_p}$$

En donde:

F : espesor del piñón (mm)

$W_{t_{real}}$: carga real en el piñón (Kg)

P : paso de los dientes del piñón (dientes/mm)

K_v : factor por velocidad del piñón

Y : factor por el número de dientes del piñón

σ_p : carga admisible para el material del que se construye el piñón (Kg/mm²)

Número de dientes	Y	Número de dientes	Y
12	0,245	28	0,353
13	0,261	30	0,359
14	0,277	34	0,371
15	0,29	38	0,384
16	0,296	43	0,397
17	0,303	50	0,409
18	0,309	60	0,422
19	0,314	75	0,435
20	0,322	100	0,447
21	0,328	150	0,46
22	0,331	300	0,472
24	0,337	400	0,48
26	0,346	Cremallera	0,485

Fuente: SHIGLEY, diseño de elementos mecánicos, 2008, pág. 910

Tabla: 2.6 valores típicos de Y en base al número de dientes del piñón.

²⁴ SHIGLEY, diseño de elementos mecánicos, 2008, pág. 909

Relación de transmisión 1:12

La rueda 1 gira a: $n = 1 \text{ rev/día}$

El piñón 2 gira a: $n = 12 \frac{\text{rev}}{\text{día}} \left[\frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}} \right] = \frac{1}{120} \frac{\text{rev}}{\text{min}}$

Piñón de diámetro mínimo: 12 dientes

Modulo mínimo disponible: $M = 1,25 \text{ mm}$

$Y = 0,245$ (ver tabla 2.6)

Material: acero comercial A36

$S_y = 36 \text{ Ksi}$

Factor de seguridad $f = 4$ (recomendado en construcción de piñones)²⁵

$$\sigma_p = 9 \text{ Ksi}$$

$$p = M\pi$$

$$p = 1,25 \text{ mm}(3,1416)$$

$$p = 3,927 \text{ mm}$$

$$P = \frac{Z}{d}$$

$$P = \frac{12 \text{ dientes}}{15 \text{ mm}}$$

$$P = 0,8 \text{ dientes/mm}$$

$$K_v = \frac{1200}{1200 + v} ; v \gg \text{ unidades en } \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$K_v = 1 \gg$ se debe a que la velocidad es muy baja

$$F = \frac{(10,1036 \text{ Kg}) \left(\frac{0,8 \text{ dientes}}{\text{mm}} \right) [2,22 \text{ lb}]}{(0,2296) \left(\frac{9000 \text{ lb}}{\text{pul}^2} \right) [1 \text{ Kg}]} \left[\frac{(25,4)^2 \text{ mm}^2}{1 \text{ pul}^2} \right]$$

$$F = 5,6024 \text{ mm}$$

²⁵ SHIGLEY, diseño de elementos mecánicos, 2008, pág. 911

Por lo tanto el piñón se puede construir con un espesor mínimo de 6 mm, sin embargo se recomienda²⁶ que el espesor de los engranajes este entre 8 y 10 veces el módulo con el cual es construido.

$$F_{\text{real}} = 8 * M$$

$$F_{\text{real}} = 8 * (1,25 \text{ mm})$$

$$F_{\text{real}} = 10 \text{ mm}$$

2.9.2.7 Diseño de la estructura principal

Para el diseño de la estructura se tomará el simple cálculo por esbeltez, el cual toma la misma según el tipo de apoyo, la longitud de columna y el radio de giro correspondiente a un perfil determinado, tal como sigue²⁷.

$$\lambda = \frac{KL}{r}$$

En donde:

λ : esbeltez

K : coeficiente según el apoyo

L : longitud de la columna (cm)

Además si el radio del giro no está tabulado se lo puede calcular con la siguiente formula²⁸

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

En donde:

I : inercia del perfil según el eje "x" ó "y"

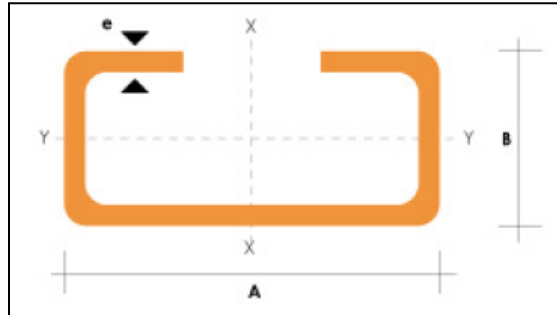
A : área transversal del perfil

²⁶ SHIGLEY, diseño de elementos mecánicos, 2008, pág. 911

²⁷ AISC, Manual of steel construction, pág. 3-16

²⁸ AISC, Manual of steel construction, pág. 3-5

Para este diseño teniendo en consideración las chumaceras que se han montar se a elegido un perfil tipo "G" de dimensiones 80*40*15*2, como se aprecia en la figura 2.13 y tabla 2.7.



Fuente: DIPAC, Catalogo de perfiles 2012, pág. 3

Figura 2.13 Dimensiones de perfil tipo G

DIMENSIONES				PESOS			PROPIEDADES					
A	B	C	e	6metros	1metro	SECCION	EJE X-X					
mm	mm	mm	mm	Kg	Kg	cm ²	I	W	I	I	W	I
							cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
60	30	10	1.5	9.19	1.53	1.95	11.02	3.67	2.38	2.43	1.25	1.12
60	30	10	2.0	11.94	1.99	2.54	13.98	4.66	2.35	3.01	2.85	1.09
60	30	10	3.0	16.98	2.83	3.61	18.90	6.30	2.29	3.87	3.69	1.04
80	40	15	1.5	13.18	2.20	2.80	27.43	6.86	3.13	6.39	2.53	1.51
80	40	15	2.0	16.68	2.78	3.54	35.30	8.81	3.16	8.07	3.18	1.51
80	40	15	3.0	24.06	4.01	5.11	49.00	12.30	3.10	10.80	4.27	1.46
100	50	15	2.0	20.40	3.40	4.34	69.20	13.80	4.00	15.00	4.57	1.86
100	50	15	3.0	29.70	4.95	6.31	97.80	19.60	3.94	20.50	6.25	1.80
100	50	20	4.0	40.26	6.71	8.55	126.70	25.34	3.85	28.50	9.05	1.83
100	50	25	5.0	51.12	8.52	10.86	152.51	30.50	3.75	36.52	12.09	1.83
125	50	15	2.0	22.80	3.80	4.84	116.00	18.60	4.91	16.20	4.69	1.83
125	50	15	3.0	33.24	5.54	7.06	165.00	26.50	4.84	22.20	6.43	1.77
125	50	20	4.0	44.99	7.49	9.55	217.00	34.70	4.77	30.90	9.32	1.80
125	50	25	5.0	57.00	9.50	12.11	264.32	42.29	4.67	39.88	12.46	1.82
125	50	30	6.0	70.78	11.78	14.73	307.13	49.14	4.56	48.69	15.81	1.81
150	50	15	2.0	25.14	4.14	5.34	179.00	23.80	5.79	17.10	4.78	1.79
150	50	15	3.0	36.78	6.13	7.81	255.00	34.00	5.72	23.50	6.56	1.73
150	50	20	4.0	49.68	8.28	10.50	337.00	44.90	5.65	32.90	9.52	1.77

Fuente: DIPAC, Catalogo de perfiles 2012, pág. 3

Tabla: 2.7 Propiedades de perfiles tipo G

También es importante escoger la inercia en el eje de menor tamaño por ser el más crítico.

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{8,07cm^4}{3,54cm^2}}$$

$$r_y = 1,51cm$$

$$\lambda = \frac{KL}{r_y}$$

Además según el apoyo que es fijo emperrado K se toma como 1,25

$$\lambda = \frac{1,25(60cm)}{1,51cm}$$

$$\lambda = 50$$

Con este valor usamos la Tabla 2.8, y obtenemos una carga admisible para la columna

$\frac{KL}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{KL}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{KL}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{KL}{r}$	F_a (ksi)	$\frac{KL}{r}$	F_a (ksi)
1	21.56	41	19.11	81	15.24	121	10.14	161	5.76
2	21.52	42	19.03	82	15.13	122	9.99	162	5.69
3	21.48	43	18.95	83	15.02	123	9.85	163	5.62
4	21.44	44	18.86	84	14.90	124	9.70	164	5.55
5	21.39	45	18.78	85	14.79	125	9.55	165	5.49
6	21.35	46	18.70	86	14.67	126	9.41	166	5.42
7	21.30	47	18.61	87	14.56	127	9.26	167	5.35
8	21.25	48	18.53	88	14.44	128	9.11	168	5.29
9	21.21	49	18.44	89	14.32	129	8.97	169	5.23
10	21.18	50	18.35	90	14.20	130	8.84	170	5.17
11	21.10	51	18.26	91	14.09	131	8.70	171	5.11
12	21.05	52	18.17	92	13.97	132	8.57	172	5.05
13	21.00	53	18.08	93	13.84	133	8.44	173	4.99
14	20.95	54	17.99	94	13.72	134	8.32	174	4.93
15	20.89	55	17.90	95	13.60	135	8.19	175	4.88

Fuente: AISC, Manual of steel construction, 2008, pág. 3-16

Tabla 2.8 Cargas admisible para columnas según su esbeltez

$$F_a = 18,40Ksi$$

Se puede apreciar que con el perfil seleccionado, la estructura soporta una carga admisible mucho más grande que la del colector solar, entonces se escoge este tipo de perfil más por sus dimensiones para el montaje de las chumaceras, adicionalmente para el diseño de la estructura en forma de “A”, ya no requiere un cálculo más exhaustivo a mas de una razón de estética.

La experiencia permite concluir que no es necesario adentrarnos en los cálculos para determinar el tipo de soldadura, basta con la suelda eléctrica y electrodo de baja penetración (E60 13 y E60 11).

CAPÍTULO III CÁLCULO DE COSTOS

3.8 Generalidades

En el presente capítulo se realizará la evaluación económica indicando detalladamente los materiales, elementos normalizados, maquinaria, mano de obra, tiempos de mecanizado empleados en el diseño y construcción del prototipo de colector solar parabólico.

3.9 Costos de mecanizado

Costo de la hora máquina, ver tabla 3.1

Máquina	Costo \$ / hora
Torno	15
Fresadora universal	20
Fresadora CNC	30
Taladro de pedestal	10
Soldadora mig	15
Cortadora de tubos	5
Prensa	3
Suelda autógena	15
Compresor	10

Fuente. Mecánica industrial “Rojas” (dirección: Murialdo y guayacanes esq.)

Tabla: 3.1 Costo de hora máquina

NOTA: Estos costos son establecidos de acuerdo a encuestas realizadas en diferentes microempresas de metal – mecánica como:

- Mecánica industrial H R Hermanos (Dirección: Machachi vía a Latacunga)
- Mecánica industrial “El arte del hierro” (Dirección: Av. de la prensa y Vaca de Castro)
- Mecánica industrial “Rojas” (Dirección: Murialdo y Guayacanes)

3.10 Cuadro de elementos a construir:

En la tabla 3.2 se detallan todos los elementos que se construirán para ensamblar en colector solar.

Nº.	Cant.	Descripción	Número de plano
1	1	Estructura	1200-1225-10M-001
2	1	Eje 1	1200-1225-10M-002
3	1	Eje 2	1200-1225-10M-003
4	1	Eje 3	1200-1225-10M-004
5	3	Bocines	1200-1225-10M-005
6	2	Guía de la parábola	1200-1225-10M-006
7	3	Parábola	N/A
8	3	Rueda dentada	1200-1225-10M-007
9	3	Piñón	1200-1225-10M-008
10	1	Soporte de engranajes	1200-1225-10M-009
11	1	Rueda motriz	1200-1225-10M-010
12	1	Tanque almacenamiento	N/A
13	1	Péndulo	1200-1225-10M-011
14	1	Receptor (foco)	N/A
15	1	Trinquete	1200-1225-10M-012
16	1	Caja protección	N/A

Fuente: Autores

Tabla: 3.2 Elementos a construir

Nota. En la tabla 3.2 se observa la descripción o nombre del elemento a construir, el número de piezas necesarias y la especificación técnica de cada una, dato que se encuentra según el número de plano en el ANEXO III (Despiece).

Se ha realizado el diagrama de procesos para la construcción del prototipo de colector solar parabólico, en el que se detalla los pasos a seguir para dicho fin, esto se encuentra en el ANEXO IV (Diagramas de procesos).

3.11 Cuadro de elementos normalizados

Nº.	Cant.	Descripción	Especificaciones / norma
1	6	Perno 3/8 UNC * 1 1/2"	ASTM A-325
2	4	Perno 1/2 UNC * 1 1/2"	ASTM A-325
3	6	Tuerca 3/8 UNC	ASTM grado H
4	4	Tuerca 1/2 UNC	ASTM grado H
5	6	Arandela plana 3/8"	ASTM A F 436
6	4	Arandela plana 1/2"	ASTM A F 436
7	2	Chumacera coaxial	1 pulg.
8	3	Chumacera coaxial	3/4 pulg.
9	4	Codo SO HI	1/2 pulg.
10	4	Codo SO HE	1/2 pulg.
11	2	Adaptador SO HE	1/2 pulg.
12	2	Tubo cobre	1 pulg.
13	1	Tee galvanizada	1/2 pulg.
14	1	Universal	3/4 pulg.
15	1	Reducción pvc	3/4" a 1/2"
16	1	Neplo C/T pvc	3/4 pulg.
17	1	Válvula seguridad 1/2"	Cobre, 150 PSI
18	1	Universal So So	Cobre 1/2"
19	1	Válvula chek RW	Bronce 1/2"
20	1	Válvula comp. RW	Bronce 1/2"
21	1	Válvula comp. RW	Bronce 3/4"
22	6	Codo	Pvc 1/2"
23	1	Codo	Pvc 3/4" x 90

Fuente: Autores

Tabla: 3.3 Elementos normalizados

3.12 Costo de mecanizado

Nº	Descripción	Mecanizado	Costo	Horas	Costo H/hom	Cant.	Costo total USD
1	Estructura	Mig	15	1	2	1	17
2	Guías	Fresadora cnc	30	1	8	2	76
3	Soporte	mig	15	0,5	2	1	9,5
		Taladro pedestal	10	0,5	2	1	7
4	Rueda	Oxicorte	4	0,4	2	3	10,8
		Torno	15	1	2	3	51
		Fresadora univ.	20	4	2	3	246
5	Piñón motriz	Torno	15	0,3	2	3	19,5
		Fresadora univ.	20	1	2	3	66
6	Parábola	Baroladora	5	0,2	2	1	3
7	Ejes	Torno	15	0,5	2	3	28,5
8	Receptor	Suelda autógena	15	1	2	1	17
9	Bocín	Torno	15	0,5	2	3	28,5
10	Trinquete	Sierra	1	1	2	1	3
11	Péndulo	Taladro pedestal	10	0,2	2	1	4
12	Rueda motriz	Torno	15	1	2	1	17
		Fresadora cnc	20	3	2	1	62
13	Pintura	Compresor	10	1	2	1	12
14	Protección	Dobladora	5	0,2	2	1	3
		Mig	15	0,5	2	1	9,5
						Subtotal 1	690,3

Fuente: Autores

Tabla: 3.4 Costos de mecanizado

3.13 Costo de materiales.

Nº.	Elementos	Dimensiones brutas	Cantidad	Costo x unidad	Costo total USD
1	chumaceras 1 "	---	2	7.00	14
2	chumaceras 3/4 "		3	6,88	20,66
3	perfil G	80x40x15x2	1	13.00	13
4	platina de aluminio	2 x 1 x 3/8 pg	1	33.59	33,59
5	oxicortes 10 mm	185x185x10	3	5.52	16,56
6	oxicortes	---	12	1.34	10,75
7	codo SO HI ½ bronce	---	6	2	13,68
8	codo SO HE ½ bronce	---	4	1.78	7,1
9	adaptador SO HE 1/2"		7	0,99	6,93
10	tubo M ½	---	1	24.62	24,62
11	tanque almacenamiento	---	1	500	500
12	aluminio liso	1mm x 1.22m	1	21.02	21,02
13	prisioneros	M 6	6	0,056	0,336
14	diluyente	---	1 Gln	2	2
15	pinturas	---	1 lt	5	5
16	pernos 7 /16		4	0,26	1,04
17	rodelas 7/16	---		0,08	0,32
18	pernos	M 6	6	0,9	5,4
19	rodelas	M6	12	0,125	1,5
20	eje	D 50 x 500	1	20	20
21	ángulo	1/2 " x 3m	1	10	10
22	varilla	D 1/8 " x 375	1	5	5
23	lija	#38	2	0,35	0,7
24	brocha	1/2"	1	0,8	0,8
25	tee galvanizada	1/2"	1	0,75	0,75
26	tee pvc	3/4"	1	0,87	0,87
27	universal pvc	3/4"	1	2,75	2,75
28	codos pvc	3/4" x 90	2	0,71	1,42
29	universal pvc	1/2"	2	1,25	2,5
30	codos pvc	1/2" x 90	6	0,48	2,88
31	reducción pvc	3/4" a 1/2"	1	1,07	1,07
32	tubo pvc	1/2"	0,5	9,87	4,935
33	llave 1/2 vuelta	1/2"	1	7,69	7,69
34	tee pvc	1/2"	2	0,65	1,3
35	neplo C/T pvc	1/2"	1	0,48	0,48
36	tubo rojo	3/4"	1,7	2,6	4,42
37	tubo pvc	1/2"	1,8	4,3	7,74
38	aerosol		1	2,8	2,8
39	unión	3/4"	1	0,63	0,63
40	válvula seguridad	1/2"	1	12,71	12,71
41	universal So So	1/2"	1	3,99	3,99
42	válvula chek RW	1/2"	1	12,26	12,26
43	válvula comp RW	1/2"	1	12,53	12,53
44	válvula comp RW	3/4"	1	17,33	17,33
45	soldargen 100		3	0,57	1,71
				Subtotal 2	836,771

Tabla: 3.5 Costo de materiales

3.14 Costo final

Para el cálculo del costo final de la máquina sumamos los costos de mecanizado más los gastos producidos por la compra de los materiales a utilizar es así como se muestra en la tabla 3.6

Denominación	Total (USD)
Mecanizado	690,3
Materiales	836,77
Total	1527,07

Fuente: Autores

Tabla: 3.6 Costo total de mecanizado y materiales

En la tabla 3.7 se encuentra el cálculo de los insumos o gastos que se producen de forma obligatoria y corresponde al 12% del costo total de mecanizado más el costo de los materiales

12 % Insumos	Cálculo	Total (USD)
Agua, luz, transporte, etc...	12% (1527,07)	183,24
Total	1527,07 + 183,24	1710,31

Fuente: Autores

Tabla: 3.7 Costo más insumos

El costo total de la máquina corresponde al precio de 1710,31 dólares americanos.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Es posible realizar estudios de radiación solar mediante la construcción de prototipos de colectores solares.
- El diseño de un colector solar parabólico, depende de propiedades de los materiales tales como: la absorptividad, reflectividad, además de su comportamiento al estar expuesto todo el tiempo al medio ambiente.
- Es importante conocer los datos reales de radiación solar incidente, en el lugar geográfico de aplicación del colector solar.
- Los factores climáticos afectan directamente a la cantidad de radiación directa que incide al colector.
- Al realizar el análisis de resultados teóricos y de campo, se obtuvo una variación promedio del 15% (anexo IV), debido a detalles constructivos y factores externos como el viento, nubosidad, partículas externas (polvo), además de la limitación en el seguimiento continuo del colector al sol, que no están contemplados en el cálculo.

4.2 Recomendaciones

- Se necesita profundizar el estudio y construcción del sistema de seguimiento del colector al sol.
- Este sistema podría ser mejorado si se hubiese colocado una alguna cubierta de vidrio al tubo receptor, tal que por efecto invernadero, las temperaturas y los tiempos obtenidos hubiesen sido mejores.
- Queda abierta la posibilidad del uso espejos de primera superficie para la mejora del coeficiente de reflexión de los espejos de la superficie del colector solar parabólico.
- El sistema podría ser autosustentable si es que se le implementa el sistema de seguimiento al sol por medio de un motor paso a paso, así como también, el sistema de celdas solares tal que los motor pueda funcionar con la energía generada por tales celdas.
- Los sistemas de calentamiento de agua deben ser mixtos, es decir, con otra fuente de energía adicional y no dependen el 100% de la energía solar, debido a que no siempre está disponible a su plena capacidad.

PROTOCOLO DE PRUEBAS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR SOLAR PARABÓLICO GIRATORIO DE MEDIANA TEMPERATURA.

El presente protocolo de pruebas consiste en una serie de evaluaciones, verificaciones, y detalles que deben ser tomados en cuenta por parte del director y los estudiantes, tanto en su fabricación como al momento de su entrega.

De esta manera se puede garantizar el buen funcionamiento de la máquina, llegando a concluir de forma exitosa el proyecto.

Para la evaluación y verificación del trabajo, se tomará en cuenta los siguientes aspectos importantes.

- Evaluación de apariencia.
- Evaluación dimensional.
- Evaluación de desempeño.

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
PROTOCOLO DE PRUEBAS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR SOLAR
PARABÓLICO GIRATORIO DE MEDIANA TEMPERATURA.

PRUEBAS DE APARIENCIA

Autores:	Byron Ibarra – Franklin Rojas			
Auspiciante:	Universidad Politécnica Salesiana			
Descripción:	Presentación del colector solar parabólico			
Fecha:	Octubre 2012			
Ítem	Especificaciones	Observaciones	Pasa	No pasa
1	Las instalaciones y tuberías no deben tener fugas	Verificación visual y al tacto		
2	Pintura de la estructura y del receptor calor	Verificación visual		
3	La plancha de aluminio debe estar limpia y brillante	Verificación visual		
4	Las cabezas de los pernos y pasadores deben tener un apriete adecuado	Verificación visual		
5	Los cordones de soldadura no deben tener escorias visuales	Verificación visual y al tacto		

Observaciones.....

.....

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
PROTOCOLO DE PRUEBAS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR SOLAR
PARABÓLICO GIRATORIO DE MEDIANA TEMPERATURA.

PRUEBAS DIMENSIONALES

Autores:		Byron Ibarra – Franklin Rojas				
Auspiciante:		Universidad Politécnica Salesiana				
Descripción:		Presentación del colector solar parabólico				
Fecha:		Octubre 2012				
Ítem	Especificación	Instrumento de medida	Medidas del plano (mm)	Tol.	Pasa	No pasa
1	Ancho total parábola.	Flexómetro		+/- (3mm)		
2	Largo total parábola.	Flexómetro		+/- (3mm)		
3	Alto total colector.	Flexómetro		+/- (3mm)		
4	Longitud del receptor de radiación	Flexómetro		+/- (2mm)		
5	Control de los diámetros piñones.	Calibrador	D. ext 1: D. ext 2: D. ext 3:	+/- (0.1mm)		

Observaciones.....
.....

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
PROTOCOLO DE PRUEBAS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR SOLAR
PARABÓLICO GIRATORIO DE MEDIANA TEMPERATURA.

MEDIDA DE RESULTADOS

Autores:	Byron Ibarra – Franklin Rojas					
Auspiciante:	Universidad Politécnica Salesiana					
Descripción:	Presentación del colector solar parabólico					
Fecha:	Octubre 2012					
Clima	Tiempo horas	ΔT calculado °C	ΔT medido °C	Variación	Pasa	No pasa
Cielo claro	1	19,9		+/- 3 °C		
	2	25,81				
	3	31,71				
Parcialmente nublado	1	16,95				
	2	19,9				
	3	22,85				
Completamente cubierto	1	14,89				
	2	15,77				
	3	16,67				

Observaciones: la medida de la temperatura, se tomara a la salida del agua de consumo y con la ayuda de un termómetro convencional.

.....

Bibliografía

CENGEL, Yunus A. *Transferencia de calor*, Segunda edición, México 2004

PLANA, Ibáñez; ROSELL, Polo, *Tecnología Solar*, Artes Gráficas Cuesta, 2005

HOLMAN, J.P. *Transferencia Calor*, Octava edición, Madrid 2000

INCROPERA, Frank P, *Fundamentos Transferencia Calor*, Cuarta edición, 2009

KARLEKAR, B.V.; DESMOND, R.M. *Transferencia de calor*, Segunda edición, México, 1995

COLMENARIS, A. Javier, *Motores paso paso*, 2008

NEC 10, Norma Ecuatoriana de construcción, *Sistemas de calentamiento de agua con energía solar para uso sanitario en el Ecuador*, 2007

ASHRAE, “handbook Fundamentals Ed. American Society of Heating, Refrigeration and air-Conditioning Engineers”, (1999).

DUFFIE J. Beckman W., *Solar Engineering of thermal processes*, (2006)

TIPLER Mosca, *Física para la ciencia y la tecnología*, 2005

AGUILERA Antonio, *Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaicas*, 2005

Bibliografía electrónica

<http://es.scribd.com/doc/59365344/9/RADIACION-INCIDENTE>

<http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/cienciasTierra/Tema6.html>

<http://www.bioeco.com.mx/Productos-ColectoresPlanos.html>

<http://cmcmotilla34.blogspot.com/2010/06/colector-solar-de-tubos-de-vacio.html>

<http://www.cconstruccion.net/portal/index.php/revista/articulos/124-gemasolar>

http://www.metalex.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=66

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Parabola_with_focus_and_arbitrary_line.svg

http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3_Albedo/Investigaci_n_de_los_cambios_en_el_Albedo_6fm.html

<http://www.superrobotica.com/S330300.htm>

http://www.sapiensman.com/motores_por_pasos/#construccion

<http://www.astrosurf.com/astronosur/coordenadas2.htm>

Glosario²⁹

Absorbedor: Es la parte de un colector que recibe la energía radiante y la transforma en energía térmica, la cual se transfiere inmediatamente al fluido de trabajo, para poder seguir actuando como absorbedor.

Absortancia o absortividad: Fracción de la radiación absorbida de la radiación solar incidente sobre el colector.

Agua caliente sanitaria: Agua para consumo humano, con temperatura cercana a los 40 °C.

Ángulo de incidencia: Es el ángulo entre la radiación solar directa y la normal al plano de abertura.

Área de absorción: Área del colector que permite la transferencia de calor de la radiación solar.

Coefficiente global de pérdidas: Suma de las pérdidas de calor del colector por conducción, convección y radiación, expresada en $W/^{\circ}C.m^2$.

Constante solar: Es el valor promedio anual de la radiación solar que llega a la superficie exterior de la atmósfera de la tierra; su valor es $1367 W/m^2$.

Eficiencia energética: Relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de gasto energético. Es aquella parte proporcional de energía radiante que el SST convierte en calor.

²⁹ Duffie J. Beckman W. (2006), Solar Engineering of thermal processes, 10-11

Energía solar disponible: Cantidad de radiación solar promedio diaria o mensual registrada estadísticamente, a partir de las mediciones en cierto lugar geográfico.

Horas de sol: Número de horas de sol a 1000 W/m^2 por día que incide sobre una superficie. Ejemplo: 4,5 horas de sol = $4,5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$.

Irradiación o radiación solar: Energía proveniente del Sol que incide sobre una superficie de un metro cuadrado en la superficie de la tierra. Esta irradiación es la suma de la radiación directa, indirecta, reflejada, difusa y esparcida en la atmósfera.

Radiación solar directa: es el flujo de energía solar, sin que haya sido refractada por la atmósfera.

Radiación solar difusa: es la radiación solar después de que su dirección ha sido cambiada debido a los procesos de absorción reflexión y refracción que ocurre en la atmósfera.

Irradiancia: Es el flujo radiante del sol incidente sobre una superficie por unidad de área (W/m^2).

Pérdidas térmicas: Cantidad de energía perdida por un cuerpo hacia el ambiente, por conducción, convección o radiación.

Piranómetro: Instrumento para medir la radiación hemisférica total del sol, sobre una superficie horizontal.

Sistema de circulación forzada: SST que utiliza una bomba para impulsar el fluido de transferencia de calor a través de los colectores.

Sistema solar térmico (SST): Conjunto de dispositivos que transforman la radiación solar en energía térmica, que puede ser absorbida por un fluido de trabajo para diversas aplicaciones.

Sistema termosifón: SST que utiliza la diferencia de densidad del fluido de transferencia de calor entre el agua caliente y el agua fría, para lograr la circulación entre el colector y el dispositivo acumulador, o el intercambiador de calor.

Temperatura ambiente (TA): Temperatura del aire que rodea al colector solar.

Tanque de almacenamiento o termotanque: Dispositivo que recibe y almacena el agua que se ha calentado en el colector, para su uso sanitario.

ANEXOS

ANEXO I

MANUAL DEL EQUIPO

ANEXO I

MANUAL DEL EQUIPO

El operador, personas relacionadas o encargadas de inspeccionar el buen funcionamiento del colector solar parabólico, están en la obligación de conocer a plenitud ciertos aspectos básicos que se detallan en el:

- Manual de mantenimiento.
- Manual de operación.

Manual de mantenimiento

Los sistemas térmicos solares deben estar diseñados y construidos para brindar la máxima eficiencia y calidad en su clase, en nuestro caso el colector solar parabólico.

La forma más fácil de obtener el máximo provecho de un sistema solar térmico y garantizar un perfecto funcionamiento, así como resultados óptimos, es teniendo en cuenta y llevando una sencilla norma de mantenimiento preventivo, lo que significa que se efectuará una rutina de control de ciertos elementos del colector en fechas específicas.

Rutina recomendada de mantenimiento:

Normal	1 vez por año
Máximo	2 veces al año

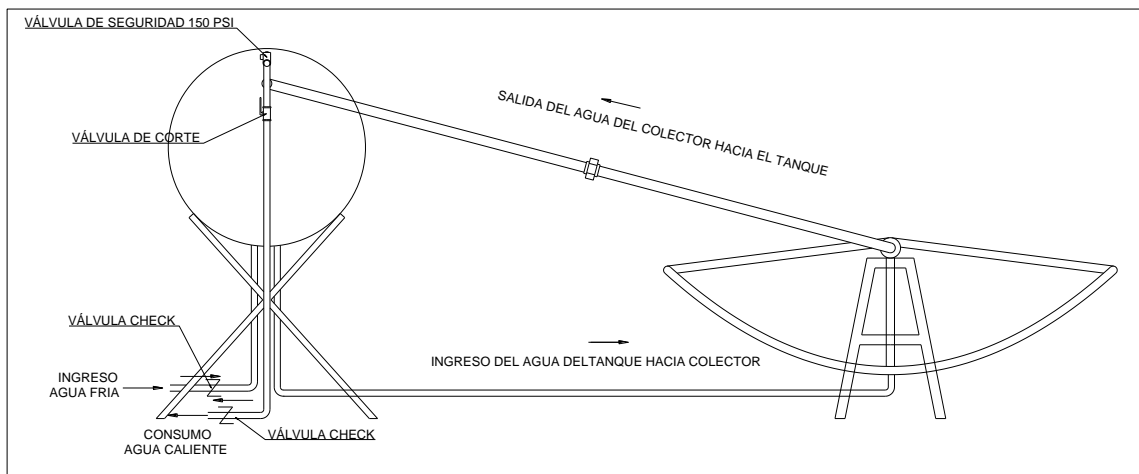
Tiempo necesario de mantenimiento:

De 5 a 10 minutos

Manual de operación

El sistema solar térmico se encuentra funcionando correctamente, cuando la instalación del mismo ha sido ejecutada correctamente y se han realizado pruebas, calibración y puesta en servicio.

Sin embargo recomendamos al usuario tener en cuenta que el equipo estará funcionando correctamente, cuando la posición de las diferentes válvulas y el sentido del flujo del líquido estén funcionando como se ilustra en la figura 3.



Fuente: Autores

Flujo del agua del colector

ANEXO II

PLANOS

ANEXO III

DESPIECE

ANEXO IV

DIAGRAMA

DE

PROCESOS

ANEXO V

FOTOS

DEL

COLECTOR

En las siguientes fotos, se aprecia cómo se maquinaron las guías de la parábola en la fresadora CNC:



Ubicación de la guía en la bancada de la fresadora CNC:



Proceso de soldadura de la estructura del colector por proceso GMAW:



Montaje del rodamiento sobre una de las bases de la estructura:



Soldadura de tubo de cobre (receptor o foco) del equipo con suelda autógena y varillas de aporte de acero plata:



ANEXO VI

FACTURAS