



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**Control de un sistema de energía de temperatura media con
concentradores cilindro parabólicos con fines didácticos**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Autor:

JOHANNA VILLAVICENCIO PAZMIÑO

Director:

FRANCISCO VASQUEZ CALERO

CUENCA, ECUADOR

2015

DEDICATORIA:

Esta tesis quiero dedicar a mi angelito mi pequeño Juan David que llegó a mi vida en el proceso de la construcción de la misma, que me dio la fuerza para continuar. También a mi esposo y mis papás que nunca me permitieron desfallecer, que me apoyaron incondicionalmente. No me pueden faltar mis segundos papitos, Mis abuelitos Humberto y Rosa. E indudablemente no puede faltar el mejor amigo que puede tener una persona, mi otro ángel mi hermano Johnny. A todos y cada uno dedico este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Dios pone en nuestro camino personas que nos hacen crecer cada día, personas que nos enseñan por y con amor. Por lo tanto, el primer agradecimiento es a Dios por poner a todas aquellas personas con las cuales he podido compartir mi vida universitaria, por todas aquellas personas que me han enseñado cosas positivas y negativas y sobretodo a mi familia:

Gracias Papitos por su amor, por su apoyo, por su paciencia, por el corazón tan grande que tienen por enseñarnos a ser personas de bien, por enseñarnos que no sólo se necesita ser profesionales sino personas con corazón y valores.

Gracias Abuelitos por ser los segundos papás que todos necesitamos, por ser los compinches, y por ser ABUELITOS.

Gracias Johnny por apoyarme, escucharme y tenerme paciencia, por estar siempre pendiente de mí.

Gracias esposo mío por estar a mi lado y decirme las palabras necesarias para darme cuenta que debo seguir adelante, por no permitirme desfallecer y ayudarme a ser esposa, mamá, mujer y profesional.

INDICE DE CONTENIDO

CARATULA.....	i
DEDICATORIA:	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE CONTENIDO	iv
INDICE DE FIGURAS Y TABLAS	vii
INDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCION	1
 CAPITULO 1: CONCENTRACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR	 3
1.1. Introducción.....	3
1.2. Sistemas de Concentración Solar	5
1.3. Concentradores	5
1.3.1 Ventajas del uso de concentradores	9
1.3.2 Aplicaciones típicas	10
1.4. Captadores Cilindro – Parabólicos	15
1.4.1 Cimentación	16
1.4.2 Estructura	16
1.4.3 Reflector cilindro - parabólico	16
1.4.4 Tubo absorbente	16
1.4.5 Transmisión.....	17
1.4.6 Sistema de seguimiento del Sol	17
1.4.7 Conexión entre colectores	18

1.4.8	Fluido de transferencia de calor	18
1.5.	Evaluación del recurso solar.....	19

CAPITULO 2: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONCENTRADORES CILINDRO – PARABÓLICOS 26

2.1.	Introducción.....	26
2.2.	Definición de Parábola	26
2.3.	Consideraciones para el diseño del sistema de Concentradores Cilindro Parabólicos	30
2.4.	Diseño estructural del Sistema de Concentradores Cilindro Parabólicos ...	32
2.5.	Construcción de la estructura de soporte.....	34
2.6.	Tubos receptores en el foco de la parábola	36
2.7.	Construcción y prueba de reflexión de la superficie de cada Concentrador Cilindro – Parabólico.....	38

CAPITULO 3: SISTEMA DE POSICIONAMIENTO Y ADQUISICIÓN DE VARIABLES DEL CONCENTRADOR SOLAR..... 40

3.1.	Introducción.....	40
3.2.	Principales orientaciones de los Concentradores Cilindro Parabólicos.	40
3.3.	Sistema Automático de posicionamiento del concentrador.....	42
3.4.	Funcionamiento y consideraciones del sensor de caudal	42
3.5.	Funcionamiento y consideraciones de sensores de temperatura.	44
3.6.	Funcionamiento y consideraciones del sensor de presión de vapor.	45
3.7.	Implementación de sensores en el Sistema de Concentradores Cilindro Parabólicos	47
3.8.	Diseño del programa de posicionamiento manual del concentrador y adquisición de variables de flujo, temperatura y caudal.....	49

CAPITULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA	54
4.1. Análisis de resultados	54
4.2. Resultados de Temperatura, Caudal y Presión	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
BIBLIOGRAFIA	58

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1.1: Sol como fuente inagotable de energía	3
Figura 1.2: Concentradores Cilindro Parabólicos	11
Figura 1.3: Central solar con sistema central de recepción o torre central.	12
Figura 1.4: Disco Parabólico Stirling	13
Figura 1.5: Concentradores Cilindro Parabólicos y sus partes	15
Figura 1.6: Esquema de un tubo absorbente típico de un concentrador Cilindro – Parabólico	17
Figura 1.7: Sistema de seguimiento Solar	18
Figura 1.8: NREL, Insolación Global Horizontal en Sudamérica.	20
Figura 1.9: CIE, Red NREL de puntos	21
Figura 1.10: Radiación Solar Difusa Promedio	23
Figura 1.11: Radiación Solar Directa Promedio	24
Figura 1.12: ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR – Radiación Solar Global Promedio	25
Figura 2.1: Forma canónica de la parábola $x^2 = 4py, p > 0$	27
Figura 2.2: Gráficas de la Parábola correspondientes a la tabla 2.1	29
Figura 2.3: Propiedad focal de la parábola	30
Figura 2.4: Dimensiones del área reflejante de los concentradores.	31
Figura 2.5: Marco metálico para el área reflectora	33
Figura 2.6: Soporte para el marco metálico	33
Figura 2.7: Chumacera	34
Figura 2.8: Construcción del soporte metálico	34
Figura 2.9: Construcción del marco metálico e instalación del tubo absorbente	35
Figura 2.10: Ensamblaje del sistema de concentradores cilindro parabólicos	35
Figura 2.11: Sistema de transmisión de movimiento	36
Figura 2.12: Tubo receptor en el centro de la parábola	37
Figura 2.13: Sujeción del tubo en la chumacera	37
Figura 2.14: Conexión en paralelo de la tubería	38
Figura 2.15: Prueba de reflexión	39

Figura 3.1: Orientación este – oeste	41
Figura 3.2: Sensor de caudal	44
Figura 3.3: Termocupla tipo K	45
Figura 3.4: Sensor de presión	46
Figura 3.5: Ubicación del sensor de temperatura	47
Figura 3.6: Ubicación del sensor de caudal	48
Figura 3.7: Ubicación del sensor de caudal	48
Figura 3.8: Ubicación del sensor de temperatura	48
Figura 3.9: Panel de control para el Sistema de Concentradores Cilindro parabólicos – Modo Automático	50
Figura 3.10: Panel de control para el Sistema de Concentradores Cilindro parabólicos – Modo Manual	51
Figura 3.11: Diagrama de Bloques para el Sistema de Concentradores Cilindro parabólicos – Modo Inicialización	52
Figura 3.12: Diagrama de bloques para el Sistema de Concentradores Cilindro parabólicos – Modo Automático	52
Figura 3.13: Diagrama de bloques para el Sistema de Concentradores Cilindro parabólicos – Modo Manual	53
Figura 3.14: Diagrama de bloques para el Sistema de Concentradores Cilindro parabólicos – Adquisición de variables.	53

TABLAS

Tabla 1.1: Comparación entre las principales tecnologías de concentración solar	14
Tabla 2.1 Ecuaciones en la forma canónica de la parábola	28
Tabla 3.1: Clasificación de medidores de caudal según su funcionamiento	43
Tabla 4.1: Pruebas realizadas en día nublado	55
Tabla 4.2: Pruebas realizadas en día soleado	55

INDICE DE ANEXOS

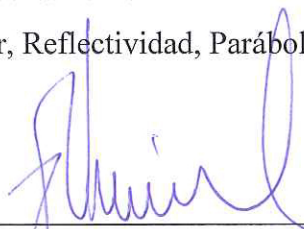
Anexo 1: Hoja de datos del sensor de caudal	60
Anexo 2: Hoja de datos del sensor de temperatura	61
Anexo 3: Hoja de datos del sensor de presión.	62
Anexo 4: Diseño de la placa de interfaz con los sensores	66
Anexo 5: Diseño de la placa de interfaz el motor	68

CONTROL DE UN SISTEMA DE ENERGIA DE TEMPERATURA MEDIA CON CONCENTRADORES CILINDRO PARABOLICOS CON FINES DIDACTICOS

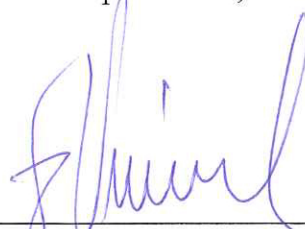
RESUMEN

El presente proyecto expone la construcción y uso de un sistema de concentradores cilindro - parabólicos, teniendo como objetivo principal entregar a los estudiantes de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Azuay un prototipo que permita experimentar y conocer los beneficios y diferenciar los resultados que puede entregar el sistema. En general el sistema se basa en la producción de vapor de agua aprovechando la energía solar, misma que se concentrará en colectores solares curvos mejor definidos como cilindro - parabólicos, y a su vez se reflejará en tubos que pasan por el centro de los colectores, por donde circulará el agua. El sistema cuenta con un control que permite orientar los concentradores en dirección a la posición del sol de manera automática y manual, de esta manera se puede contrastar su eficiencia a partir de los datos de temperatura obtenidos en cada colector, el caudal de ingreso y la presión de vapor a la salida, todo por medio de sensores.

Palabras Clave: Concentrador, Concentrador solar, Cilindro-parabólico, Radiación solar, Reflectividad, Parábola, Foco de la parábola.



Francisco Eugenio Vásquez Calero
Director de Tesis



Francisco Eugenio Vásquez Calero
Director de Escuela



Johanna Cecilia Villavicencio Pazmiño
Autora

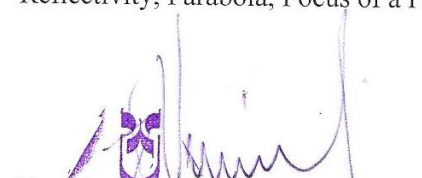
ABSTRACT

CONTROL OF A MEDIUM TEMPERATURE ENERGY SYSTEM WITH CYLINDRICAL- PARABOLIC TROUGH CONCENTRATORS FOR EDUCATIONAL PURPOSES

ABSTRACT

This project presents the construction and use of a cylindrical- parabolic trough concentrators system, with the main objective to provide students of the School of Electronic Engineering of *Universidad del Azuay* a prototype to allow them to experiment, know the benefits and differentiate the results that this system can deliver. In general, the system relies on steam production by using solar energy, which will concentrate on curved solar collectors defined as cylindrical-parabolic, and which in turn will reflect on pipes that pass through the center of the collectors where water goes through. The system has a control that enables to orient the concentrators towards the position of the sun automatically and manually, so their efficiency, flow rate and vapor pressure at the exit, can be compared from the temperature data obtained by sensors in each collector.

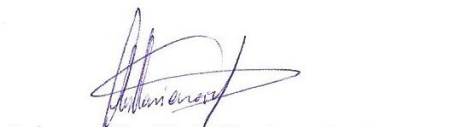
Keywords: Concentrator, Solar Concentrator, Parabolic Trough, Solar Radiation, Reflectivity, Parabola, Focus of a Parabola.



Francisco Eugenio Vásquez Calero
Thesis Director
UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
ESCUELA
Ingeniería Electrónica



Francisco Eugenio Vásquez Calero
School Director



Johanna Cecilia Villavicencio Pazmiño
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo V.

Villavicencio Pazmiño Johanna Cecilia
Trabajo de Graduación
Ing. Francisco Eugenio Vásquez Calero
Mayo, 2015

CONTROL DE UN SISTEMA DE ENERGIA DE TEMPERATURA MEDIA CON CONCENTRADORES CILINDRO PARABOLICOS CON FINES DIDACTICOS

INTRODUCCION

En el presente proyecto se plantea la construcción de un prototipo de concentradores cilindro parabólico con el propósito de emplearlo como material pedagógico en el laboratorio de energías renovables de la Universidad, en el cual se podrá observar su funcionamiento y hacer prácticas de campo.

Los concentradores llevan este nombre debido a que sus captadores de energía son de forma cilíndrica – parabólica; De esta manera se aprovecha la energía del sol para obtener temperaturas media – altas, esto se puede lograr debido a que los concentradores captan la energía del sol y reflejan a los tubos absorbedores que pasan por el centro de cada concentrador, a este punto se le conoce como foco.

La temperatura obtenida es usada para convertir un líquido, este caso particular agua, en vapor, mismo que puede ser usado de varias maneras. El agua fluye a través de tuberías ubicadas en el centro de los colectores, conocido como foco de la parábola.

Puesto que el sistema posee sensores de temperatura en cada foco en cada concentrador se puede contrastar la temperatura que se obtiene en cada concentrador, adicionalmente se puede obtener el caudal de ingreso de agua y la presión de vapor que se obtiene a la salida del sistema.

Tomando en cuenta que es una aplicación para prácticas de campo, se cuenta con un sistema de posicionamiento manual y automático. Es decir, los concentradores se direccionarán automáticamente de acuerdo a la posición del sol en la cual se obtenga una radiación máxima, sin embargo esta puede ser variada de forma manual para contrastar la eficiencia del mismo.

Una vez puesto en marcha el sistema se puede observar su funcionamiento, de acuerdo a lo expuesto anterior, sin embargo se puede observar que existen pérdidas de calor debido a la separación que existe entre concentrador y concentrador, y, a la ubicación del sistema ya que en la búsqueda de obtener mayor radiación, fue colocado en un espacio donde existen corrientes de viento.

CAPITULO 1

CONCENTRACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

1.1. Introducción

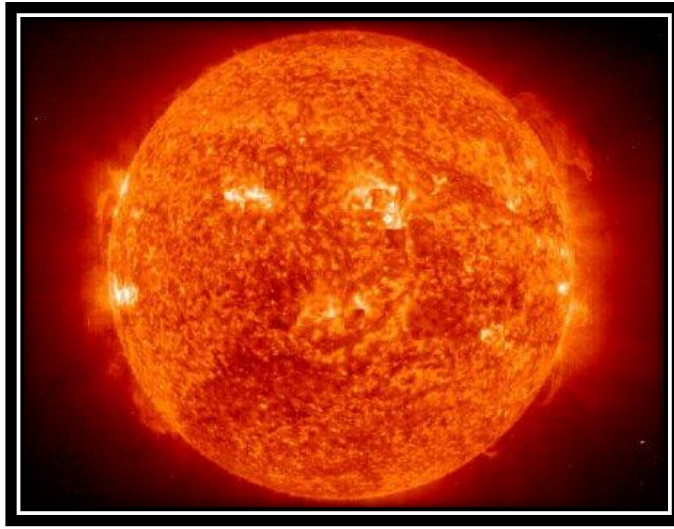


Figura 1.1: Sol como fuente inagotable de energía

Fuente: <http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101328189#.Utg95PTuISw>

La energía que emite el sol o radiación solar (figura 1.1), recibida en la superficie terrestre, es la fuente de casi todos los fenómenos meteorológicos y de sus variaciones en el curso del día y del año.

Se trata de un proceso físico, por medio del cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas, en línea recta, sin intervención de una materia intermedia, a 300.000 km/s.¹

Cuando esta radiación alcanza el límite superior de la atmósfera está formada por rayos de distinta longitud de onda:

¹ <http://es.scribd.com/doc/7134703/Radiacion-Solar#scribd>

- Los rayos ultravioletas: no son visibles y tienen muy pequeña longitud de onda.
- Los rayos luminosos: son los únicos visibles; su longitud de onda corresponde al violeta y al rojo, respectivamente, ya que varía entre 0,36 y 0,76 micrones.²
- Los rayos térmicos o caloríferos: tampoco son visibles y su longitud de onda es mayor de 0,76 micrones.³ Son los rayos infrarrojos.

La intensidad calorífica de la radiación solar, medida en el límite superior de la atmósfera, es por lo general constante en el tiempo.

El valor de la radiación solar para un cm^2 , expuesto perpendicularmente a los rayos solares en el límite superior de la atmósfera, es de dos calorías por minuto, aproximadamente ($2 \text{ cal/min} \cdot \text{cm}^2$). Este valor se llama Constante Solar.

Parte de esta radiación viene directamente del sol, pero a veces una cantidad que puede llegar al 10% del total, llega como radiación difusa, incluso cuando el sol está oculto tras las nubes. En tiempo nuboso la radiación total se reduce mucho y la mayor parte de la luz que atraviesa las nubes es probablemente luz difusa.

Para ciertas aplicaciones de energía solar es necesario tomar en cuenta la radiación proveniente de la tierra, misma que puede ser de dos tipos: la radiación solar reflejada por el suelo, agua o nieve, y la radiación infrarroja con una gran longitud de onda emitida por la tierra cálida hacia un cielo de menor temperatura.

“Cuando un objeto se expone a la radiación solar su temperatura se eleva hasta que las pérdidas de calor igualan a las ganancias. Las pérdidas dependen de la emisión de radiación del material caliente, del movimiento del aire frío que lo rodea y de la conductividad térmica de los objetos en contacto con él. Las ganancias dependen de la intensidad de la radiación solar y del poder absorbente de su superficie”.⁴

² <http://es.scribd.com/doc/203538553/Meteorologia#scribd>

³ <http://es.scribd.com/doc/203538553/Meteorologia#scribd>

⁴ Farrington, Daniels. Uso directo de la energía solar, Blume ediciones, 1977, pág. 38

1.2. Sistemas de Concentración Solar

Los Sistemas Térmicos de Concentración Solar son uno de los de mayor potencial de contribución en la demanda energética, de entre los sistemas de energías renovables, su ventaja principal es que pueden reemplazar a las centrales eléctricas basadas en combustibles fósiles, que a su vez reduciría las emisiones de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático.

El requisito principal para el funcionamiento de Sistemas de Concentración Solar es el uso de luz solar directa, denominada “Radiación Directa”. Esta tecnología se basa en concentrar la energía solar por medio de espejos en un punto o en una línea, por donde circula un fluido. Debido a las altas temperaturas alcanzadas por concentración solar, el fluido es capaz de producir vapor también a altas temperaturas.

La razón de concentración máxima que puede obtenerse depende de la distribución angular de la radiación. En el caso de un haz perfectamente paralelo, no existe límite a la razón de concentración teórica, ya que si el eje óptico del concentrador es paralelo a la dirección del haz, todos los rayos reflejados pasarán por su punto focal, con lo que el área del receptor puede hacerse tan pequeña como desee.

Los Sistemas de Concentración Solar se pueden clasificar de las siguientes maneras:

- *Sistemas lineales de concentración:* Los rayos solares se concentran sobre un tubo recto, por donde circula el fluido que se calentará a grandes temperaturas.
- *Sistema puntual de concentración:* Los rayos solares se concentran en un solo punto, por lo que se alcanzan temperaturas mayores que en el caso anterior.

1.3. Concentradores

Un concentrador solar es un dispositivo capaz de concentrar la energía solar en un área reducida aumentando su intensidad energética. Similar a una lupa enfocando su luz en un punto, los concentradores reflejan la luz solar por medio de un arreglo de espejos alineados hacia un objeto capaz de captar dicha energía para su aprovechamiento.

En un concentrador se obtiene alta densidad de energía (radiación concentrada) sobre un absorbedor, suficiente para lograr temperaturas mayores de 200°C, pudiéndose llegar hasta 3800 °C.⁵

Algunas definiciones necesarias para entender los concentradores solares son:

Radiación Solar: Energía radiante recibida del Sol en su forma directa y difusa. La componente directa es la que recibe directamente del Sol sin haber sufrido ninguna desviación en su trayectoria; la difusa se debe a su dispersión al atravesar la atmósfera y reflexión sobre la tierra.

Colector Solar: Dispositivo que absorbe la radiación solar y transfiere su energía a un fluido.

Concentrador: Elemento que concentra la componente directa de la radiación solar sobre un absorbedor.

Absorbedor: Elemento de un dispositivo solar que tiene como función captar y retener la mayor cantidad de radiación solar.

Área del absorbedor: Área que recibe la radiación concentrada.

Área de apertura: Área del captador que intercepta la radiación solar.

Razón de concentración: Se define como el cociente entre el área de apertura colectora y el área del absorbedor.

Ángulo de aceptación: Amplitud de la zona angular dentro de la cual la radiación es captada por el absorbedor de un concentrador.

Ángulo de borde: Ángulo formado por el eje de un concentrador (tipo parabólico) y la línea imaginaria que va desde su borde al punto focal.

⁵ <https://energiaunam.wordpress.com/2010/03/04/energia-solar-termica-parabolicarojas-garica-michael-jossue/>

Absortancia: Razón de la radiación solar absorbida a la radiación incidente.

Emitancia: Razón de radiación emitida por la superficie de un cuerpo a la radiación emitida por un radiador perfecto a la misma temperatura.

Eficiencia óptica de un colector: Razón de la energía captada por el colector solar a la energía solar incidente sobre el colector.

Helióstato: Dispositivo que sirve para reflejar la componente directa de la radiación solar sobre un blanco fijo.

Reflejancia: Razón de radiación reflejada de un material a la radiación incidente sobre el mismo.

Reflejancia Especular: Esta consiste cuando una fracción de la energía entrante incide sobre un espejo con un ángulo de incidencia particular, entonces ésta es reflejada dentro de un cierto ángulo sólido que estará centrado alrededor de un rayo saliente con un ángulo igual al de incidencia respecto de la normal.

Factor de forma: Razón de radiación incidente sobre el absorbedor a la radiación directa incidente sobre el área de apertura del concentrador.

Transmitancia: Razón de la energía radiante transmitida por un material dado a la energía solar incidente.

Eficiencia óptica de un colector: Razón de la radiación que recibe la apertura de un colector ideal en dirección al sol a la que es eventualmente absorbida por el absorbedor de un colector real que puede no estar dirigido directamente hacia el Sol. Esta eficiencia depende de la reflejancia del espejo, transmitancia de la envolvente que pueda existir sobre el absorbedor, absortividad del absorbedor, factor de forma del sistema concentrador y del ángulo de incidencia de los rayos concentrados hacia el absorbedor.

Los sistemas de concentración solar basan su tecnología en colectores focalizadores. Con estos es fácil obtener temperaturas mucho más altas, pero usualmente cuestan más, necesitan siempre seguir el sol y sólo utilizan la radiación directa del sol. Al focalizar la radiación solar se pueden obtener temperaturas de 3500°C o mayores dependiendo de la perfección óptica del sol.

La tasa de calor entregada con colectores focalizadores es similar a la calculada para colectores de placa plana:

Dónde:

$$H_n A_c r s \alpha = q_0 A_t \quad (\text{Ec 1.1})$$

La tasa de radiación directa por unidad de área es H_n , A_c corresponde al área proyectada por el espejo focalizador, r es la reflectividad efectiva del material, s es un factor de forma del colector (tiene que ver con la calidad de focalización de la parábola), α es la absorptividad del receptor, q_0 es la tasa a la cual el calor por radiación es absorbido por unidad de área por el receptor y A_t es el área del receptor. Entonces se puede desarrollar el lado derecho de la ecuación:

$$q_0 A_t = (q_u + q_r + q_a + q_c) A_t \quad (\text{Ec 1.2})$$

Donde q_u es el calor útil que absorbe el fluido, q_r es el calor perdido debido a radiación, q_a el calor perdido debido a convección y a conducción y q_c tiene que ver con pérdidas conductivas en la estructura. El calor útil es expresado entonces:

$$q_u A_t = H_n A_c r s \alpha - (q_r + q_a + q_c) A_t \quad (\text{Ec 1.3})$$

La eficiencia del colector se describe por medio de la fórmula:

$$\eta = 1 - \frac{(q_r + q_a + q_c) A_t}{H_n A_c r s \alpha} \quad (\text{Ec 1.4})$$

El radio de concentración efectivo es un parámetro muy importante en estos sistemas y de este depende la ventaja que tienen sobre los colectores de placa plana:

$$RC = A_c/A_t$$

(Ec 1.5)

De aquí que las eficiencias de los concentradores sean tan altas ya que se pueden llegar a tener radios de concentración de 1000:1.

1.3.1 Ventajas del uso de concentradores

Existen varias ventajas en el uso de concentradores éstas pueden ser estratégicas, económicas y ambientales, entre otras. A continuación se describen las principales:

1.3.1.1 Ventajas Estratégicas

- Contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
- Reduce dependencia energética con el exterior.
- Genera un mayor valor para los inmuebles que la incorporan.
- Genera puestos calificados de trabajo directos en la producción, instalación y mantenimiento de los sistemas solares.

1.3.1.2 Ventajas Económicas

- Reducción directa de costo asociado al calentamiento de agua, ya sea de electricidad o combustibles como gas o leña.
- Los sistemas solares pueden lograr ahorros en el costo de preparación del agua caliente de aproximadamente de 70% respecto a los sistemas convencionales.
- La inversión se amortiza con el ahorro energético. Actualmente, las instalaciones solares térmicas pueden quedar amortizadas a partir de 4 a 6 años, con una vida útil de 20 años en promedio. El período de amortización efectivo dependerá del tipo de combustible que se sustituye y de las variaciones de su precio.
- El costo de operación y mantenimiento disminuye a medida que la tecnología va avanzando, en tanto el costo de los combustibles aumenta con el paso del tiempo al ser éstos cada vez más escasos.

1.3.1.3 Ventajas Ambientales:

- Al tratarse de una energía renovable permite sustituir una parte del consumo de combustibles fósiles y/o electricidad, evitando o postergando el agotamiento de los limitados recursos naturales.
- No emite gases perjudiciales para la salud ni emite gases de efecto invernadero que afecten el cambio climático.
- Por otro lado, la energía solar es una fuente inagotable, limpia, silenciosa y confiable. En nuestro país está además presente en forma abundante debido a su ubicación en la zona ecuatorial.
- Los Colectores Solares Térmicos proporcionan un valor agregado a todo tipo de viviendas.

1.3.2 Aplicaciones típicas

Los concentradores tienen varias configuraciones y se pueden clasificar según las siguientes características:

- Temperatura de operación,
- Tipo de seguimiento, que puede ser de un solo eje o biaxial,
- Forma geométrica.

Existen numerosas opciones para el uso de concentradores en Centrales Termoeléctricas, tomando en cuenta las características de la parte solar y el punto de vista tecnológico.

A continuación se detallan las más utilizadas.

1.3.2.1 Centrales con Concentradores cilindro-parabólicos:

La tecnología cilindro-parabólica, figura 1.2, basa su funcionamiento en el seguimiento del movimiento solar para que los rayos incidan perpendicularmente a la superficie de captación, y en la concentración de estos rayos solares incidentes en unos

tubos receptores de alta eficiencia térmica localizados en la línea focal de los cilindros. En estos tubos, un fluido transmisor de calor, normalmente un fluido orgánico sintético (HTF), este caso agua, es calentado hasta unos 400°C. Las altas temperaturas provocan que el agua se convierta en vapor sobrecalentado. La energía presente en este vapor se convierte en energía eléctrica utilizando una turbina de vapor convencional y un generador acoplado a ella. La tecnología cilindro-parabólica es la tecnología de concentración solar más desarrollada.



Figura 1.2: Concentradores Cilindro Parabólicos

Fuente: <http://html.rincondelvago.com/energia-solar-termoelectrica.htm>

1.3.2.2 Centrales con sistema central de recepción y distribución de las radiaciones.

Una central solar de tipo torre central, está formada por un campo de heliostatos o espejos direccionales de grandes dimensiones que reflejan la luz del sol y concentran los haces reflejados en una caldera situada sobre una torre de gran altura, como se observa en la figura 1.3.

En la caldera, el aporte calorífico de la radiación solar reflejada es absorbido por un fluido térmico. Dicho fluido es conducido hacia un generador de vapor, donde transfiere su calor a un segundo fluido, el cual, convertido así en vapor, acciona los álabes del grupo turbina-alternador para generar energía eléctrica: El fluido es posteriormente condensado en un aerocondensador para repetir el ciclo.

La producción de una central solar depende en gran medida de las horas de insolación diarias del asentamiento en el que está ubicada. Para aumentar y estabilizar esta producción, suele disponer de sistemas de almacenamiento térmico intercalados en el circuito de calentamiento.

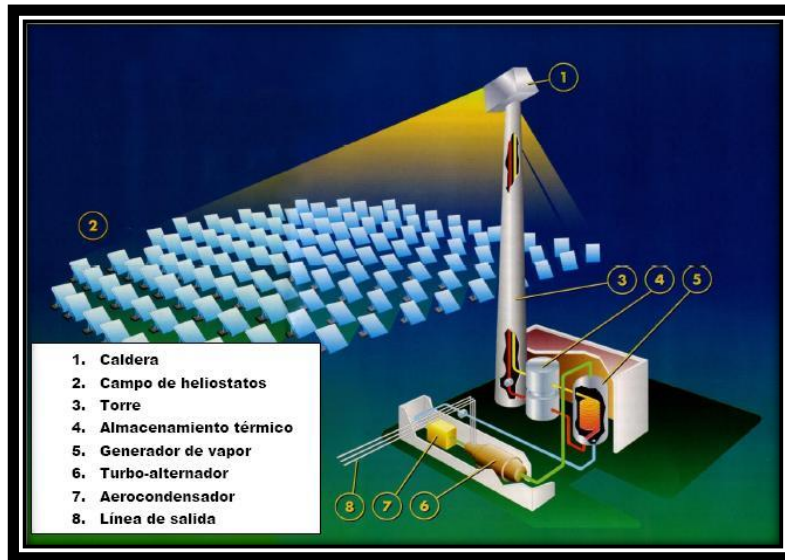


Figura 1.3: Central solar con sistema central de recepción o torre central.

Fuente: <http://tecnologianivel2.blogspot.com/2012/05/como-funciona-una-central-solar-termica.html>

La energía producida, después de ser transformada, es transportada mediante líneas a la red general.

1.3.2.3 Discos Parabólicos Stirling

El concentrador parabólico concentra la radiación solar directa incidente en el punto focal donde se encuentra el transformador de energía del motor Stirling. La radiación solar la absorbe el receptor, que calienta el gas utilizado (helio, hidrógeno o aire) por el motor a unos 650 °C. Hay otro método para absorber la radiación llamado “tubo de calor”, consiste en que se vaporiza un metal líquido (normalmente sodio) que luego condensa en la superficie de los tubos por los que circula el gas de trabajo.

El motor Stirling convierte mediante un ciclo térmico el calor del gas en energía mecánica. El generador eléctrico acoplado directamente en la biela del motor convierte la energía mecánica en electricidad.

El reflejo de la radiación solar en el espejo es focalizado al motor durante todo el día mediante el seguimiento del sol. Hay dos tipos de seguimiento: el azimutal y el polar.

En el azimutal, el concentrador rota alrededor al eje perpendicular de la superficie de la tierra (eje azimutal) y alrededor a otro eje que es horizontal (eje de elevación).

En el polar, rota alrededor al eje dirigido hacia la estrella del norte con un promedio de 15 grados por hora. El otro eje de rotación es perpendicular al eje polar local y se ajusta una vez al día para compensar la declinación solar.



Figura 1.4: Disco Parabólico Stirling

Fuente <http://www.centralesternosolares.com/tiposcentralesternosolares.html>

Desde que el motor Stirling es un motor calentado en el exterior que utiliza varias fuentes, se le han integrado receptores híbridos al sistema. Esto permite al motor combinar el sol y el gas. Así, no sólo está capacitado para funcionar en días soleados o en partes del día que haya sol, sino funciona también cuando llueve, es de noche o no se dan condiciones necesarias, mediante el aporte del gas. Normalmente este gas suele ser biogas. Con los prototipos se han llegado a obtener eficacias superiores del 22%.

En la tabla 1.1 se presenta un cuadro comparativo entre las principales tecnologías de concentración solar térmica.

Tabla 1.1: Comparación entre las principales tecnologías de concentración solar

	Concentradores Cilindro - Parabólicos	Recepción o Torre Central	Disco Stirling
Aplicaciones	Plantas conectadas a la red, calor de proceso a la temperatura media alta	Plantas conectadas a la red, calor de proceso de temperatura alta	Sistemas pequeños independientes, sin conexión a red, o en parques más grandes de discos conectados a red.
Ventajas	Ya en el mercado – más de 16000 kWh de experiencia operativa; temperatura operativa potencial de hasta 500°C (400°C probado comercialmente)	Buenas perspectivas a medio plazo para grandes eficiencias de conversión, temperatura operativa potencial de más de 1000°C (565°C probado a escala de 10MW)	Eficiencias de conversión muy altas – conversión solar pico a electricidad neta de más del 30%.
	Eficiencia neta anual de probado rendimiento de la planta del 14% (radiación solar a potencia eléctrica neta)	Almacenamiento a altas temperaturas	Modularidad
	Inversión y costos operativos probados comercialmente.	Posible operación híbrida.	Integra de la forma más efectiva el almacenamiento térmico en una central grande.
	Modularidad	Mejores para refrigeración en seco.	Experiencia operativa en primeros proyectos de demostración.
	Buen uso del terreno.	Mejores para refrigeración en seco que los canales y fresnel.	Fácil fabricación y producción en serie de piezas disponibles.
	La menor demanda de materiales	Mejores opciones para usar en lugares no planos.	No requiere agua para refrigerar el ciclo.
	Concepto híbrido probado Capacidad de almacenamiento.		
Desventajas	El uso de medio de transferencia térmica a base de aceite restringe hoy las temperaturas operativas a 400°C, por lo que se obtienen sólo moderadas cantidades de vapor.	Los valores anuales de rendimiento previstos, los costos de inversión y su operación necesitan pruebas a mayor escala en operaciones comerciales.	No hay ejemplos de uso comercial a gran escala. Objetivos de costos previstos de producción en serie aún por probar. Menor potencial de disponibilidad para integración a la red.

Fuente: GREENPEACE, pág.19.

1.4. Captadores Cilindro – Parabólicos

El captador cilindro parabólico, denominado mediante las siglas CCP, debe su nombre a uno de sus componentes principales: la superficie reflectante cilindro parabólica que refleja la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo absorbente colocado en la línea focal de la parábola. Esta radiación concentrada sobre el tubo absorbente hace que el fluido que circula por su interior se caliente, transformando de esta forma la radiación solar en energía térmica, en forma de calor sensible o latente del fluido. La figura 1.5 muestra un esquema de un CCP e ilustra su modo de funcionamiento. Los CCP son concentradores solares de concentración con foco lineal.

Las partes principales que componen la instalación de un concentrador cilindro parabólico son: Cimentación, estructura, Reflector cilindro – parabólico, Tubo absorbente, Transmisión, Sistema de seguimiento del Sol, Conexión entre colectores, Fluido de transferencia de calor

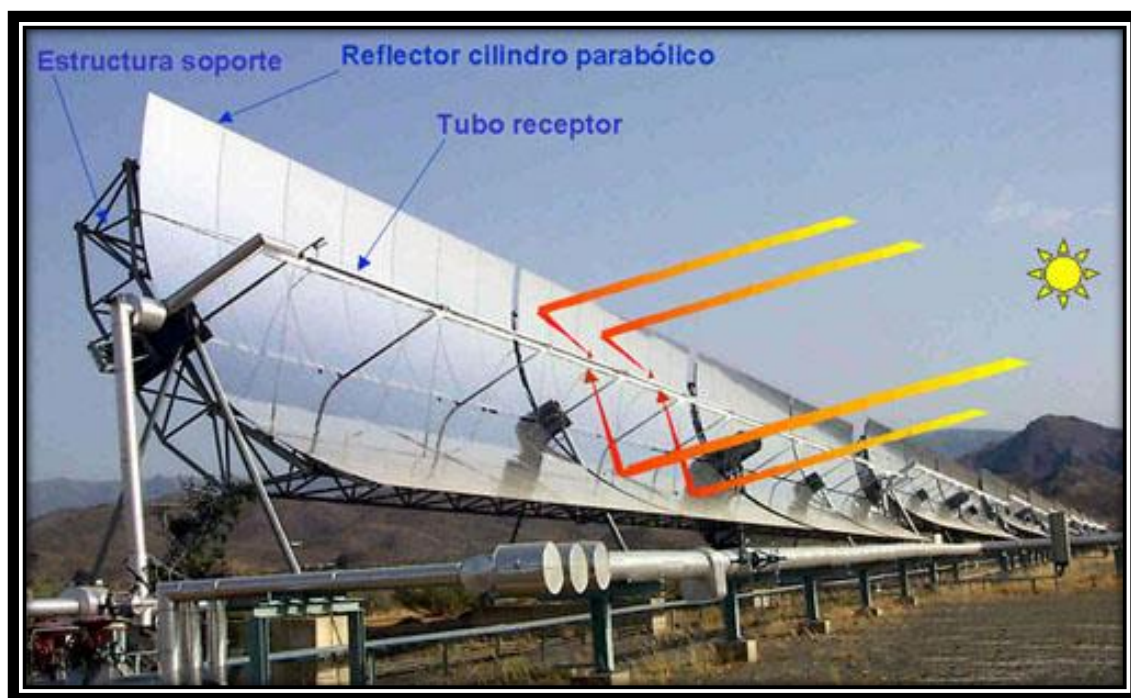


Figura 1.5: Concentradores Cilindro Parabólicos y sus partes

Fuente: <http://smienergias.wordpress.com/category/energia-solar/page/2/>

1.4.1 Cimentación

Soporta los colectores y los fija al suelo de forma que el conjunto estructural soporte las cargas para las que está diseñado, suelen ser de hormigón armado. Se realizan en función de las dimensiones de los colectores y de las características estructurales, que están en función del peso, cargas de viento y tipo de terreno.

1.4.2 Estructura

Su función es la de dar rigidez al conjunto de elementos que lo componen, suelen ser metálicas, aunque actualmente se están investigando otros materiales como la fibra de vidrio, plásticos e incluso madera. Es importante que la estructura sea de calidad ya que cualquier deformación de esta a lo largo de su vida afectará a la concentración de luz y con ello a la producción de energía.

1.4.3 Reflector cilindro - parabólico

Es la parte concentradora del colector y su trabajo consiste en reflejar la radiación solar que incide sobre él y proyectarla de forma concentrada sobre el tubo absorbente. Los reflectores utilizados son espejos hechos de plata o aluminio aplicados sobre chapa, plástico o cristal. Los espejos al estar al aire libre se tienden a ensuciar por lo que deben ser limpiados para que no disminuya el rendimiento, el principal problema para su limpieza son los delicados tubos centrales.

1.4.4 Tubo absorbente

Es el encargado de convertir la luz solar concentrada de energía térmica en el fluido calor-transportador, puede constar de un tubo o, más frecuentemente, de dos tubos concéntricos, como se puede observar en la figura 1.6. En este último caso, el tubo interior, por el que circula el fluido que se calienta, es metálico y el exterior de cristal. El tubo metálico lleva un recubrimiento selectivo que posee una elevada absorptividad ($>90\%$) y una baja emisividad en el espectro infrarrojo ($<30\%$), lo que le proporciona un elevado rendimiento térmico. El tubo de cristal que rodea al tubo interior metálico

tiene la doble misión de reducir las pérdidas térmicas por convección en el tubo metálico y de proteger de las inclemencias meteorológicas su recubrimiento selectivo.

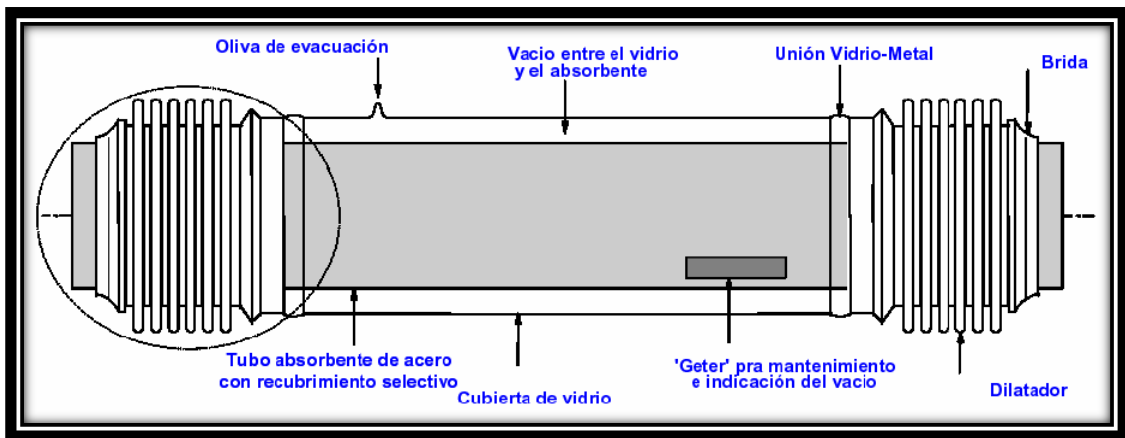


Figura 1.6: Esquema de un tubo absorbente típico de un concentrador Cilindro – Parabólico

Fuente: <http://renewablengineering.blogspot.com/2011/05/planta-solartermoelectrica-de-50-mw.html>

1.4.5 Transmisión

Es el mecanismo de seguimiento solar que se encarga de cambiar la posición del colector conforme el Sol se va moviendo, puede ser eléctrico, motor-reductor, o hidráulico, el más habitual. Normalmente para abaratar coste un solo mecanismo se debe encarga de mover 6 colectores en serie.

1.4.6 Sistema de seguimiento del Sol

Es el encargado de ajustar la posición del colector de tal manera que el rendimiento sea máximo, para la orientación se utilizan fotocélulas separadas por una banda de sombra, que en caso de desenfoque, produce un tensión que hace que motor gire o los pistones se muevan en la dirección deseada. Además de permitir el máximo aprovechamiento de la energía solar, el sistema de seguimiento sirve para desenfocar el espejo cuando la energía captada es excesiva.

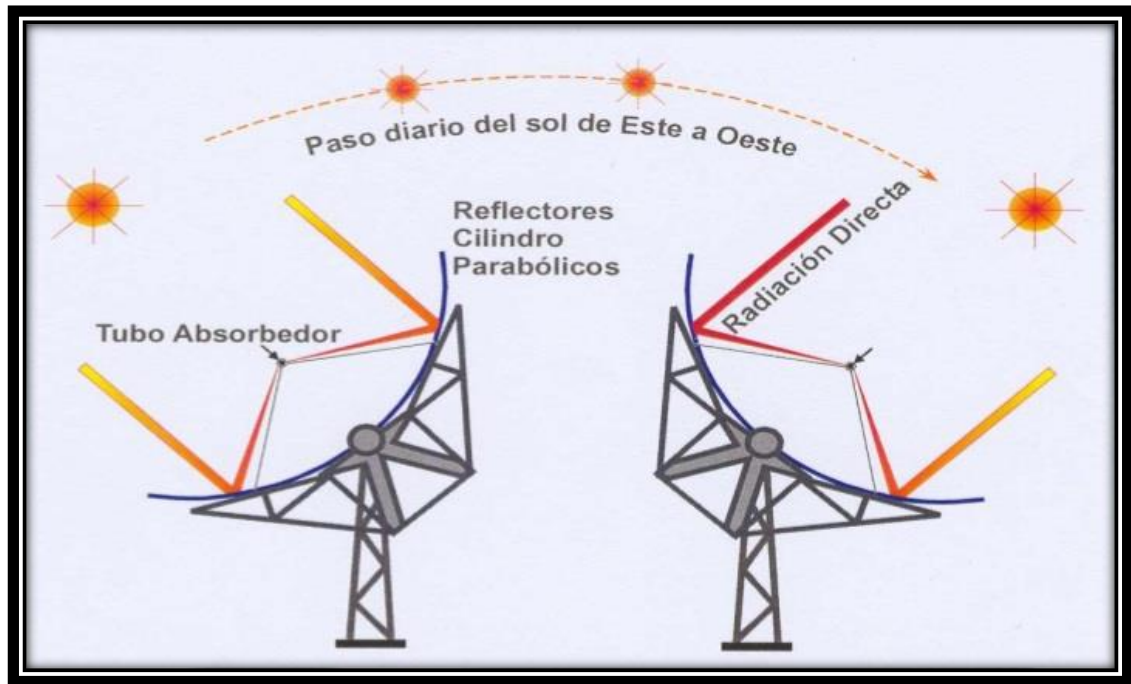


Figura 1.7: Sistema de seguimiento Solar

Fuente: <http://www.centralesternosolares.com/tiposcentralesternosolares.html>

1.4.7 Conexión entre colectores

Los colectores se unen en serie formando filas y estos a su vez se unen paralelo. Estas piezas permiten al fluido circular entre los módulos, partes móviles, y las tuberías de circulación, partes fijas, etc. Pueden ser de dos tipos o bien juntas rotativas o tuberías flexibles.

1.4.8 Fluido de transferencia de calor

Son los encargados de absorber la energía solar en los tubos del campo solar y transportarla a los depósitos de sales. Existen diferentes tipos de fluidos usados para esta misión de ellos se pueden destacar los siguientes:

- Agua-vapor: Sus ventajas son: barata, fácil de conseguir, abundante, excelente medio de transmisión de calor, alto calor específico, propiedades y comportamiento muy conocido, no es toxica y no es inflamable. Sus desventajas son: es agresiva, muy oxidante, produce corrosión, determinadas sales precipitan produciendo incrustaciones, se dilata al solidificarse y aumenta muy fuertemente de presión con la temperatura.

- Mezclas de sales inorgánicas.
- Alquil bencenos: Son muy estables, soportan temperaturas de hasta 300 °C, no desprenden gases tóxicos, ni corrosivos y tienen un bajo punto de congelación entre -45 a -50 °C.
- Mercurio: Muy poco empleado por razones de toxicidad y precio, trabaja hasta temperaturas de 540 °C, requiere una gran vigilancia para detección de fuga de vapores, a partir de 360 °C requiere presión en la instalación haciendo que los costos sean muy altos.
- Mezclas difenilo y óxido de difenilo: Tienen puntos de fusión muy altos, desagradable olor fenólico a altas temperaturas (hasta los 410 °C), son muy caros y al tener un punto de ebullición bajo la instalación necesita un control de presión⁶

1.5. Evaluación del recurso solar

Por concepto un recurso es el medio o los elementos que permiten conseguir un fin. En este caso particular el recurso principal del proyecto es el sol, y es necesario conocer, preferiblemente a base de mediciones, la cantidad de energía solar disponible para el uso de la aplicación.

Por medio del “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”, presentado por el Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, y elaborado por la Corporación para la Investigación Energética en el año 2008, siendo éste el último documento realizado hasta la actualidad, es posible tener la información necesaria de los niveles de radiación en nuestro país.

La información base que se utilizó para el desarrollo del Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica, fue generada por el National Renewable Energy Laboratory - NREL de los Estados Unidos, cuyas acciones están orientadas a la investigación y desarrollo de energías renovables y eficiencia energética.

Dentro de este marco, el NREL desarrolló el modelo CRS (Climatological Solar Radiation Model), que permite conocer la insolación diaria total sobre una superficie

⁶ <http://centrales termosolares.com/tipos centrales termosolares.html>

horizontal en celdas de aproximadamente 40 km x 40 km alrededor del mundo y cuyos resultados han sido validados a través de la medición de datos efectuados por estaciones, estableciéndose que el error de los datos es del 10%. Utiliza información sobre traza de gases, vapor de agua atmosférico, nubosidad, cantidad de aerosoles (Figura 1.8). El NREL publica, en forma periódica, los valores de insolación promedio, para una locación dada usando colectores fijos con cinco ángulos de inclinación: horizontal: (0°), latitud del lugar menos 15°, latitud, latitud más 15°, y vertical (90°). Estos datos son complementados con mediciones tomadas usando superficies colectoras móviles, las que son montadas en aparatos que, automáticamente, siguen la trayectoria del sol.

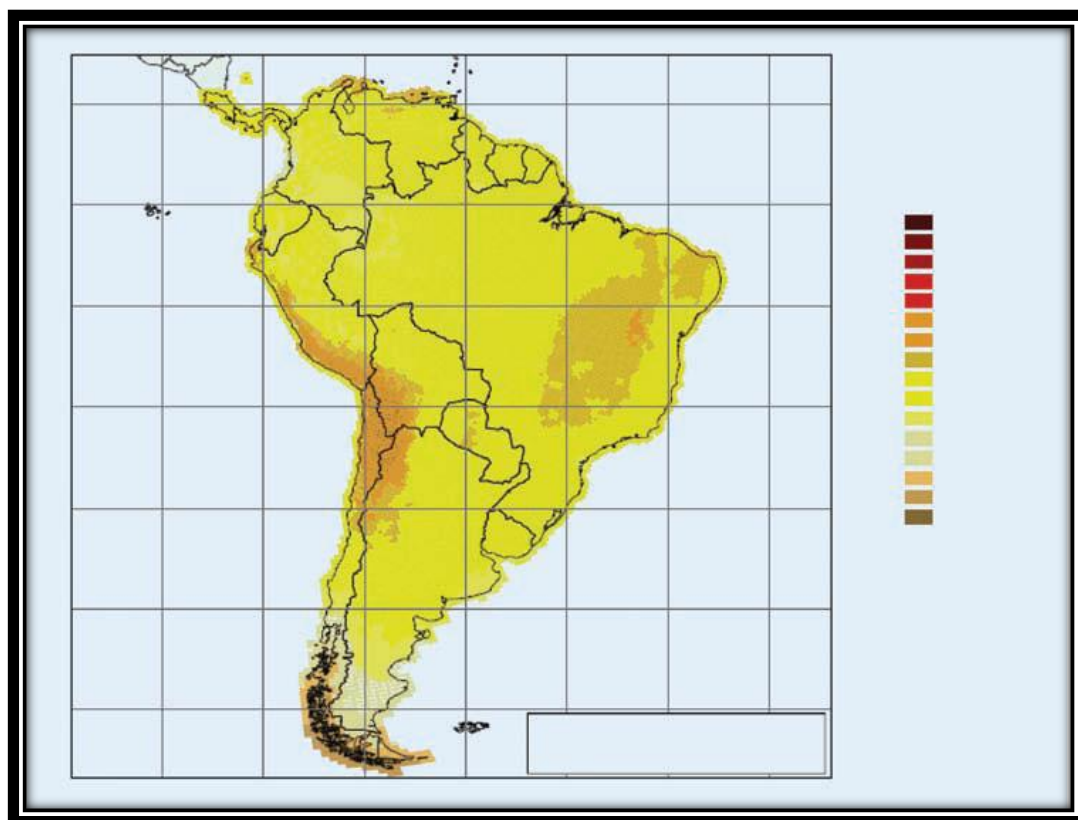


Figura 1.8: NREL, Insolación Global Horizontal en Sudamérica.

Fuente: ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR CON FINES DE GENERACION ELÉCTRICA. Concejo Nacional de Electricidad CONELEC y Corporación para la Investigación Energética CIE. Año 2008

La Corporación para la Investigación Energética – CIE, utiliza la información generada por el modelos CRS, filtrando en primera instancia el amplio volumen de información proveniente de este modelo, hasta seleccionar aquellos que corresponden únicamente al territorio continental ecuatoriano, y mediante códigos, ser exportados a

una base de datos para que sean compatibles con la plataforma de trabajo que se escogió, en este caso, un Sistema de Información Geográfica (SIG). A través del SIG se convirtió las referencias geográficas al Sistema de proyección y coordenadas escogidas para el país, en este caso Universal Transverse de Mercator, WGS84, Zona 17 Sur.

La filtración de celdas, dio una cobertura de 472 puntos sobre el territorio continental Ecuatoriano en celdas de 40 Km x 40 Km, que provienen de los datos originales (Figura 1.9). Esta versión del Atlas contiene al momento información sobre el Ecuador continental.

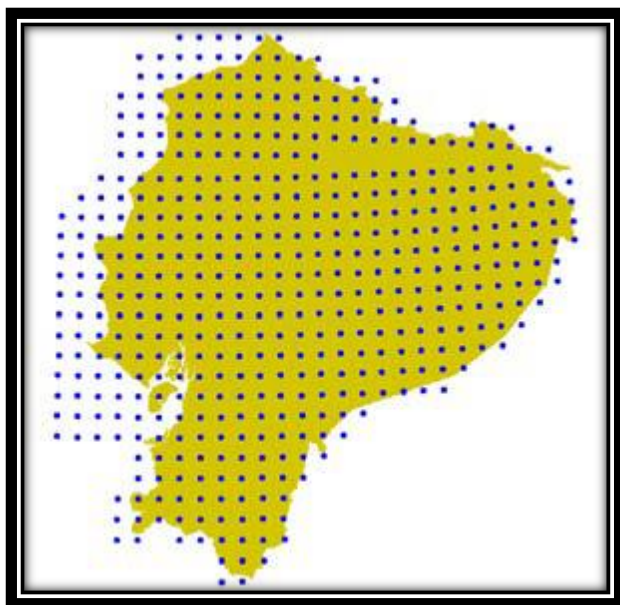


Figura 1.9: CIE, Red NREL de puntos

Fuente: ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR CON FINES DE GENERACION ELÉCTRICA. Concejo Nacional de Electricidad CONELEC y Corporación para la Investigación Energética CIE. Año 2008

Los datos así, a través de su base de datos de respaldo, fueron analizados estadísticamente para conocer su comportamiento y de esta manera escoger el interpolador que se asemeje de mejor manera al fenómeno analizado, una vez escogido el interpolador, se obtuvieron celdas de información con una resolución de 1 Km².

Este proceso se repitió para cada mes dentro de las insolaciones directa, difusa y global, obteniéndose un total de 36 mapas mensuales, más 3 que corresponden a los promedios anuales, dando un juego de 39 mapas. Cada grilla obtenida a través de este

proceso, generó una base de datos de aproximadamente 248000 puntos para cada cobertura en celdas de 1 Km², dando un total de 9600000 registros con información de los tres tipos de radiación solar.⁷

- Radiación Solar Directa: Es la que llega a la superficie cuando los rayos solares no se difuminan o se desvían a su paso por la atmósfera terrestre.
- Radiación Solar Difusa: Cuando la atmósfera terrestre difumina o desvía los rayos solares, se la llama radiación difusa. Éste desvío de los rayos solares, se produce por el choque directo con ciertas moléculas y partículas contenidas en el aire, por este motivo, los rayos solares no tienen una dirección directa.
- Radiación Global: Es la suma de las dos anteriores.

A continuación, en las figuras 1.10, 1.11 y 1.12, se presentan los mapas de radiación solar promedio correspondiente al año 2008:

⁷ ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR CON FINES DE GENERACION ELÉCTRICA. Concejo Nacional de Electricidad CONELEC y Corporación para la Investigación Energética CIE. Año 2008, pag 5.

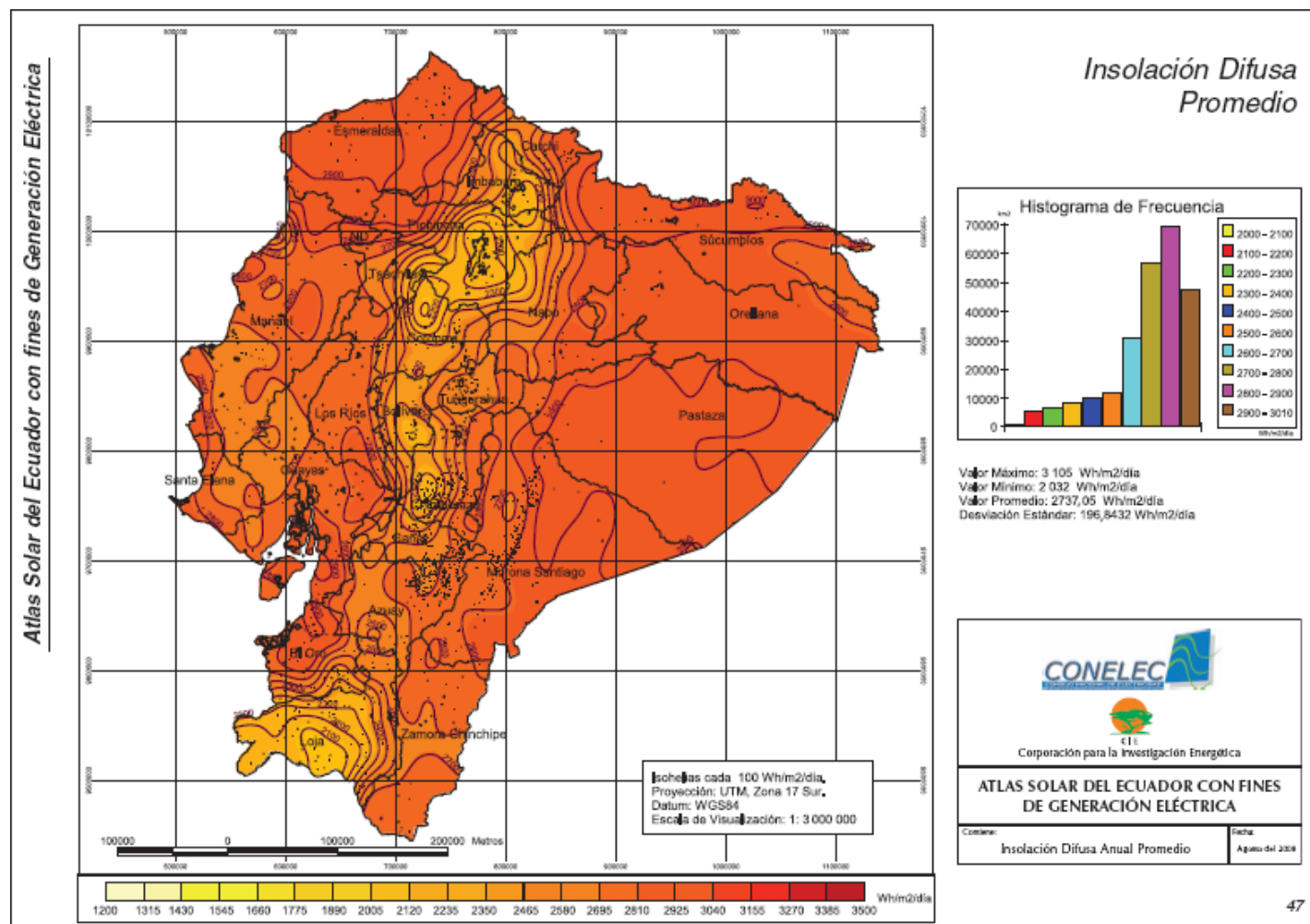


Figura 1.10: Radiación Solar Difusa Promedio

Fuente: ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR CON FINES DE GENERACION ELÉCTRICA. Concejo Nacional de Electricidad CONELEC y Corporación para la Investigación Energética CIE. Año 2008.

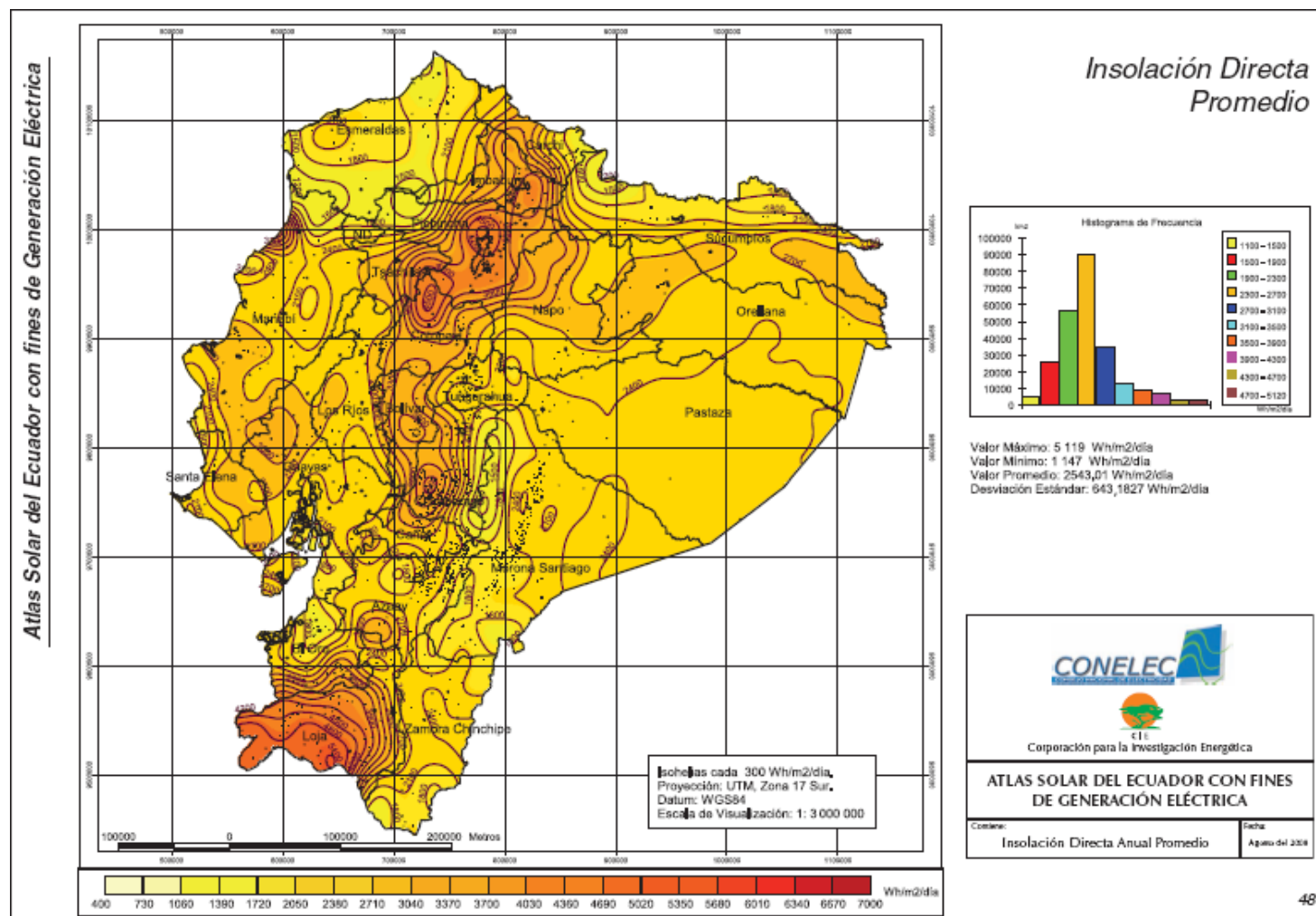


Figura 1.11: Radiación Solar Directa Promedio.

Fuente: ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR CON FINES DE GENERACION ELÉCTRICA. Concejo Nacional de Electricidad CONELEC y Corporación para la Investigación Energética CIE. Año 2008.

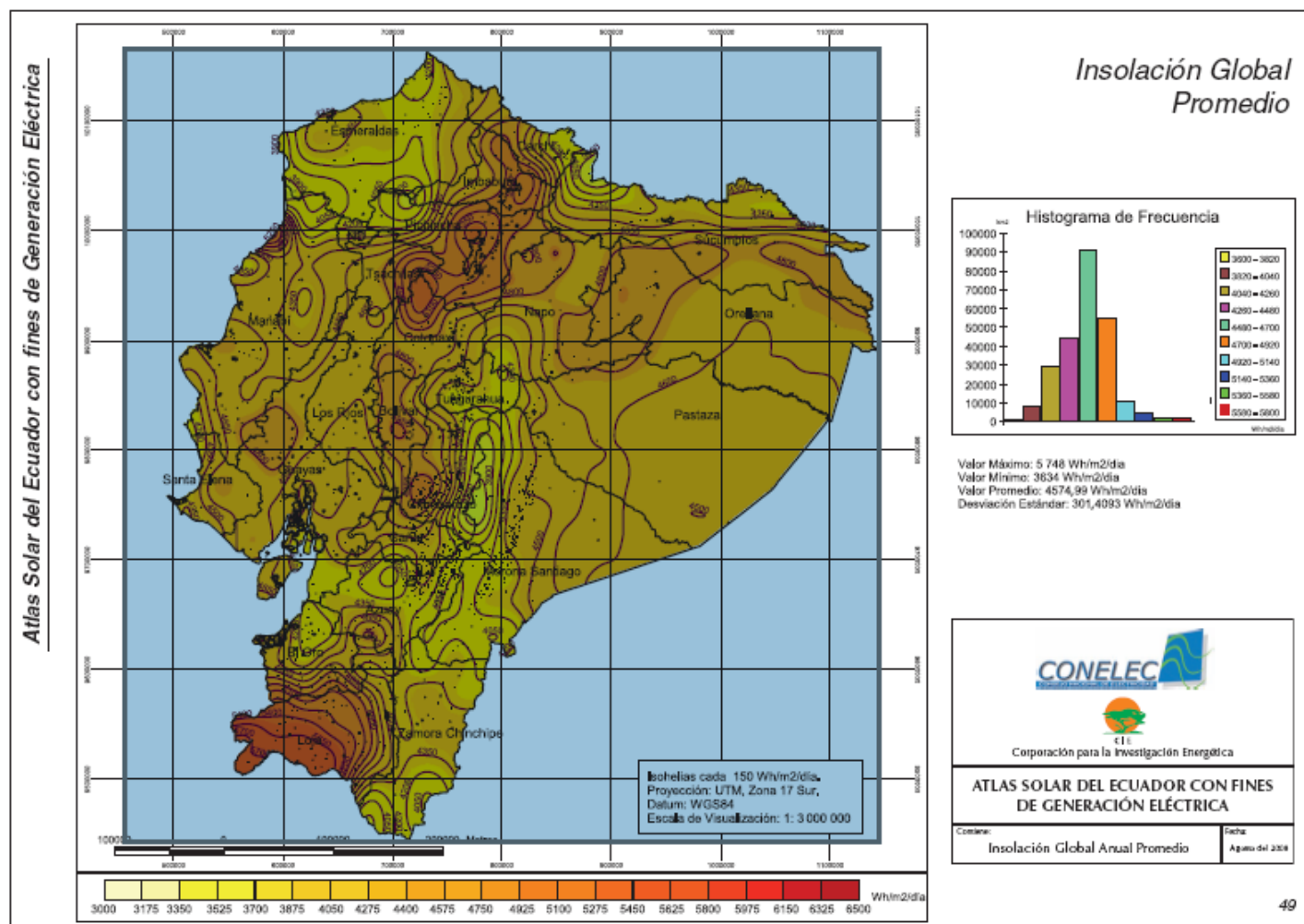


Figura 1.12: ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR – Radiación Solar Global Promedio.

Fuente: ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR CON FINES DE GENERACION ELÉCTRICA. Concejo Nacional de Electricidad CONELEC y Corporación para la Investigación Energética CIE. Año 2008.

CAPITULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONCENTRADORES CILINDRO – PARABÓLICOS

2.1. Introducción

El fenómeno de transmisión de calor por radiación es sin duda el más importante en el proceso de conversión de la energía solar a energía térmica. No sólo interviene en la energía que llega a la Tierra procedente del Sol, sino también en la transferencia de calor dentro del colector, donde predomina frente a la conducción y a la convección.

La concentración solar se basa en las propiedades de la parábola, que concentra en el foco todos los rayos que llegan paralelos al eje de la parábola, por lo tanto, para un aprovechamiento óptimo de la radiación solar es conveniente que el cilindro esté siempre enfocado al Sol.

Los concentradores cilindro – parabólicos suponen la manera más sencilla de concentrar la radiación solar. Sin duda su construcción será un proyecto con un excelente resultado que dará mayor realce al laboratorio de Energías Renovables.

2.2. Definición de Parábola

La parábola es un conjunto formado por todos los puntos en un plano que equidistan de un punto fijo dado y de una recta fija dada en el plano. El punto fijo es el foco F de la parábola. La recta fija es la directriz L .

La ecuación más sencilla para una parábola se obtiene cuando su foco se encuentra en uno de los ejes y su directriz es perpendicular a éste. Suponga que el foco está en el punto $F(0, p)$ en la parte positiva del eje y y que la directriz es la recta $y = -p$ (figura 2.1). En un punto $P(x, y)$ está en la parábola si y sólo si $PF = PQ$. De la fórmula de la distancia,

Dónde:

$$PF = \sqrt{(x - 0)^2 + (y - p)^2} = \sqrt{x^2 + (y - p)^2} \quad (\text{Ec 2.1})$$

$$PQ = \sqrt{(x - x)^2 + (y - (-p))^2} = \sqrt{(y + p)^2}. \quad (\text{Ec 2.2})$$

Cuando se igualan las expresiones, elevando al cuadrado y simplificando, se obtiene

$$y = \frac{x^2}{4p} \quad (\text{Ec 2.3})$$

O

Forma canónica

$$x^2 = 4py. \quad (\text{Ec 2.4})$$

Estas ecuaciones revelan la simetría de la parábola con respecto al eje y . Al eje y se lo llamará eje de la parábola (una forma abreviada de “eje de simetría”)

.

El punto donde la parábola cruza su eje es el vértice. El vértice de la parábola $x^2 = 4py$ está en el origen (figura 2.1). El número positivo p es la distancia focal de la parábola.

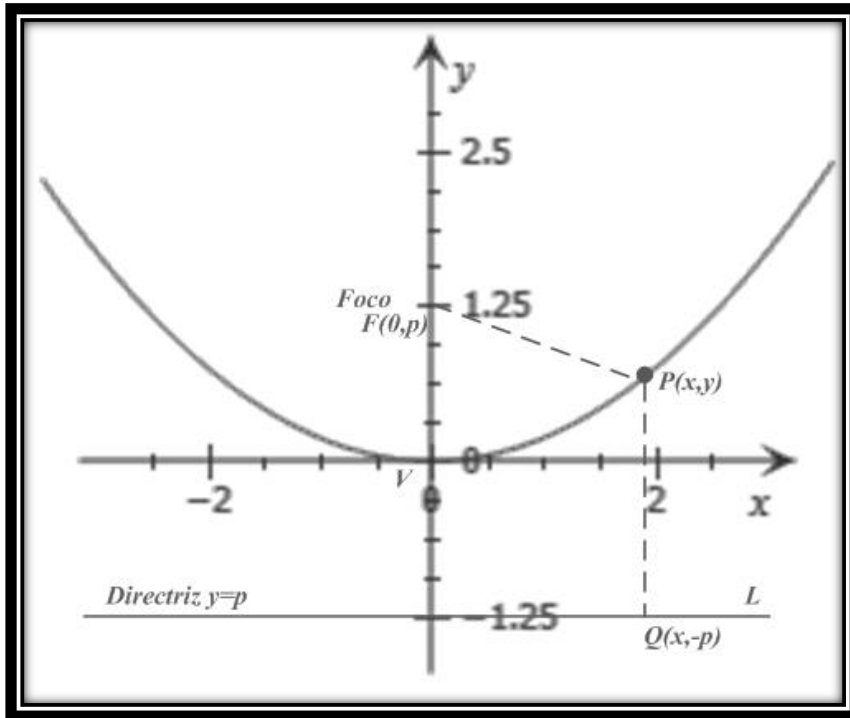


Figura 2.1: Forma canónica de la parábola $x^2 = 4py$, $p > 0$

Fuente: Autor

Si la parábola abre hacia abajo, con foco en $(0, -p)$ y con directriz la recta $y = p$, entonces las ecuaciones correspondientes a la forma canónica son:

$$y = -\frac{x^2}{4p}$$

(Ec 2.5)

O

$$x^2 = -4py$$

(Ec 2.6)

Se obtienen ecuaciones similares para parábolas que abren hacia la derecha o hacia la izquierda como se muestra en la siguiente tabla 2.1 y en la figura 2.2.

Tabla 2.1 Ecuaciones en la forma canónica de la parábola ⁸

<i>Ecuaciones en forma canónica para parábolas con vértice en el origen ($p > 0$)</i>				
<i>Ecuación</i>	<i>Foco</i>	<i>Directriz</i>	<i>Eje</i>	<i>Abre hacia</i>
$x^2 = 4py$	$(0, p)$	$y = -p$	<i>eje y</i>	<i>arriba</i>
$x^2 = -4py$	$(0, -p)$	$y = p$	<i>eje y</i>	<i>abajo</i>
$y^2 = 4px$	$(p, 0)$	$x = -p$	<i>eje x</i>	<i>derecha</i>
$y^2 = -4px$	$(-p, 0)$	$x = p$	<i>eje x</i>	<i>izquierda</i>

Fuente: THOMAS, Pág 687.

⁸ THOMAS, George B,jr. *Cálculo: Varias Variables*. Undécima Edición. Pearson Education. 2006. Pág 687.

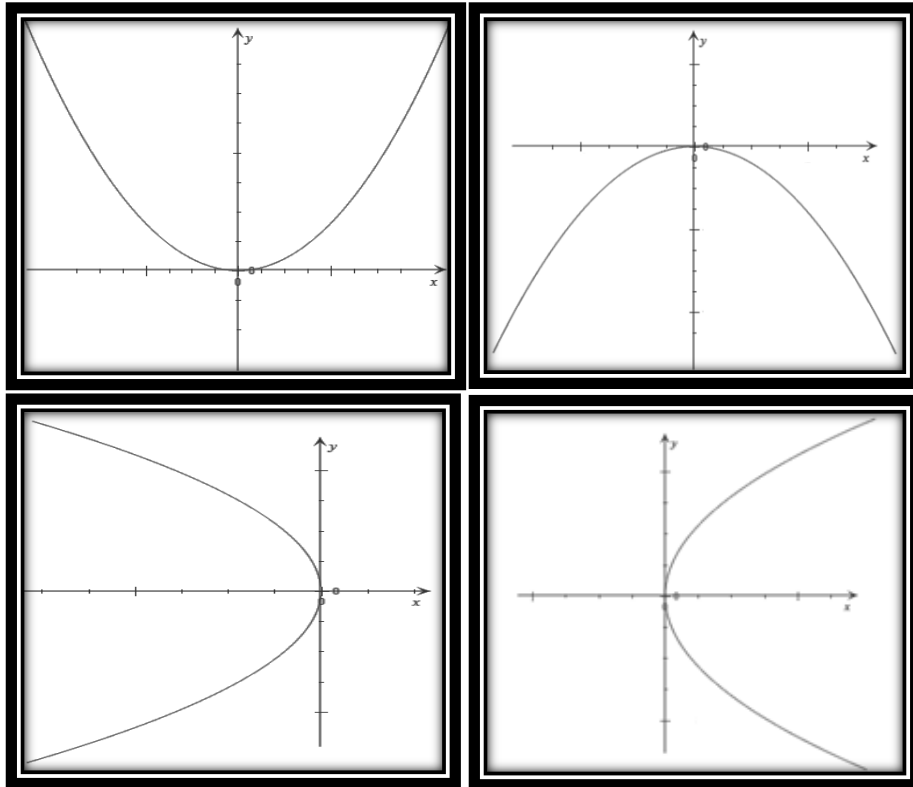


Figura 2.2. Gráficas de la Parábola correspondientes a la tabla 2.1

Fuente: Autor

2.2.1. Propiedad Focal de la Parábola

Una propiedad muy importante de la parábola, conocida por Apolonio y que Arquímedes utilizó en el 212 a.C. para crear con ella *artifícios para prender fuego a los barcos desde lejos* (Boyer), es la propiedad de reflexión.

Una superficie se dice reflectante si la recta tangente en cualquier punto forma ángulos iguales con cada rayo incidente y el correspondiente rayo reflejado, llamados respectivamente de ángulo de incidencia y de reflexión. El ejemplo más simple de superficie reflectante es un espejo. Otro ejemplo sería el foco de un coche, este se obtiene girando una parábola alrededor de su eje. Otro ejemplo sería el de una antena parabólica, o un telescopio, las emisiones de luz de una estrella lejana se acercan a la tierra como rayos paralelos, situando el eje del reflector parabólico paralelo a dichos rayos, estos se reflejan en el foco de la superficie parabólica. Recíprocamente todos los rayos que emanan de la bombilla (situada en el foco) del reflector parabólico son paralelos.

Si se toma un punto cualquiera de la parábola, la recta tangente en ese punto forma ángulos iguales con:

- La recta que pasa por el punto y el foco.
- La recta que pasa por el punto y es paralela al eje de la parábola.

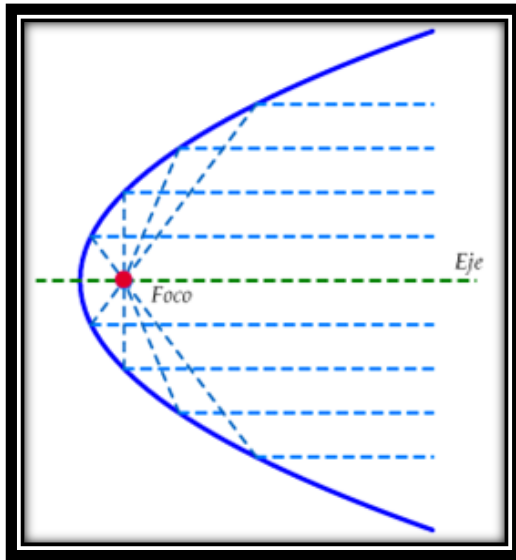


Figura 2.3. Propiedad focal de la parábola

Fuente: http://prepa8.unam.mx/academia/colegios/mate/Matematicas_V/Applets_Geogebra/parabolapropiedad

2.3. Consideraciones para el diseño del sistema de Concentradores Cilindro Parabólicos

Ya que el sistema de concentradores cilindro parabólicos que se plantean en este proyecto, serán dedicados para prácticas y experimentos dentro de la universidad, se ha considerado que el diseño deberá poseer las siguientes características:

1. El sistema deberá estar formado por 3 concentradores cilindro parabólicos que tengan la opción de ser conectados en serie o paralelo.
2. Los 3 concentradores deberán tener un espejo curvo cuya distancia focal será de 20 cm, se considera esta dimensión debido a la factibilidad de la construcción del espejo curvo, puesto q a mayor curvatura mayor reflexión, sin embargo, ser los espejos contruidos de forma artesanal no es posible realizar una curvatura mayor. Por definición el lado recto es 4 veces la distancia focal, por lo tanto este será de

80 cm y como consecuencia su lado curvo será de 89 cm. Además su profundidad será de 1 m de largo, debido al espacio físico donde será ubicado.

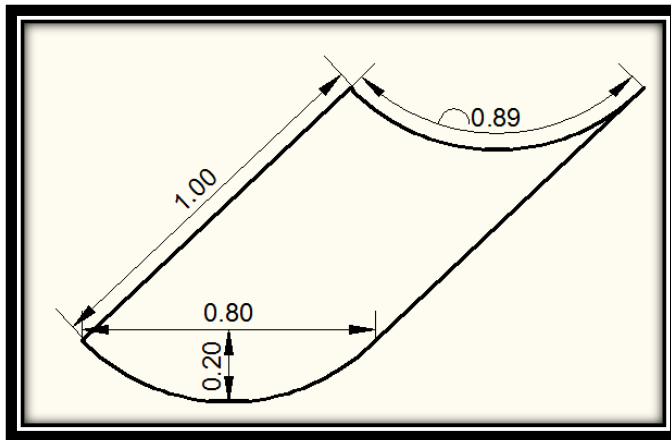


Figura 2.4. Dimensiones del área reflejante de los concentradores.

Fuente: Autor

- La superficie reflectante será un espejo curvo de acuerdo a la ecuación de la parábola correspondiente de manera que cumpla con las dimensiones especificadas.

$$y = \frac{x^2}{4p}$$

(Ec 2.7)

Donde p es el foco, por lo tanto la ecuación correspondiente es:

$$y = \frac{x^2}{4 * 0.2}$$

$$y = \frac{x^2}{0.8}$$

$$y = 1.25 x^2$$

De acuerdo a las dimensiones dadas, el área de la superficie reflectante sería:

$$A_R = L_C * L$$

(Ec 2.8)

Donde:

A_R : Área de la superficie reflectante [m²]

L_C : lado curvo [m]

L_r : lado recto [m]

L : largo del concentrador [m]

Por lo tanto:

$$A_R = 0.89 * 1$$

$$A_R = 0.89 \text{ m}^2$$

4. El sistema de concentradores deberá contar con un mecanismo que permita que los tres concentradores tengan el mismo ángulo de rotación de acuerdo a la ubicación del sol con el fin de obtener una mayor eficiencia.
5. Cada concentrador contará con su respectivo tubo receptor de calor ubicado en el foco de la parábola.
6. La construcción del marco que soporta a la superficie reflectora será construido de tal forma que no genere pérdidas de calor o en su defecto éstas sean mínimas.

2.4. Diseño estructural del Sistema de Concentradores Cilindro Parabólicos

Una vez obtenidas las dimensiones de los concentradores de acuerdo a las consideraciones especificadas anteriormente se procede a diseñar los soportes metálicos para la superficie reflectora y para los tubos receptores.

El área reflectora estará soportada por un marco metálico diseñado para darle rigidez y estabilidad, como se observa en las figuras 2.5. a, b y c

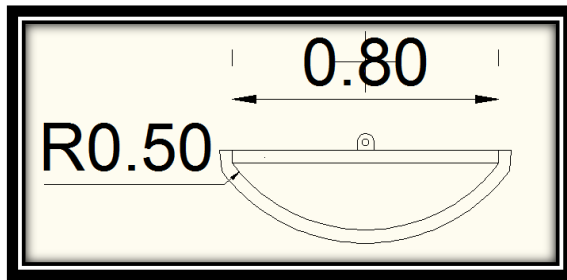


Figura 2.5a. Vista lateral

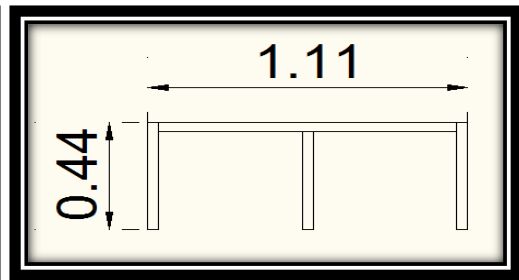


Figura 2.5b. Vista Frontal

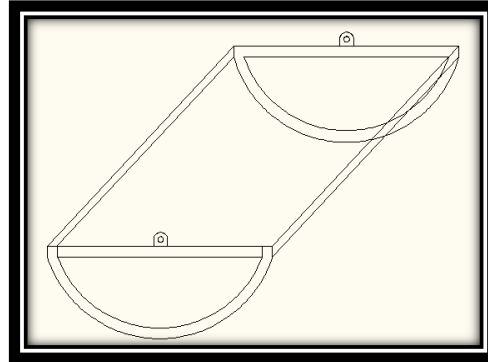


Figura 2.5c. Axonometría

Figura 2.5 Marco Metálico Para El Area Reflectora

Fuente: Autor

En la figura 2.6 se muestra el soporte para el marco metálico, en la parte superior se colocarán chumaceras (figura 2.7) en las que irán los ejes de cada marco metálico, de tal forma que los espejos puedan girar fácilmente de acuerdo a la ubicación del sol.

Figura 2.6a. Vista frontal

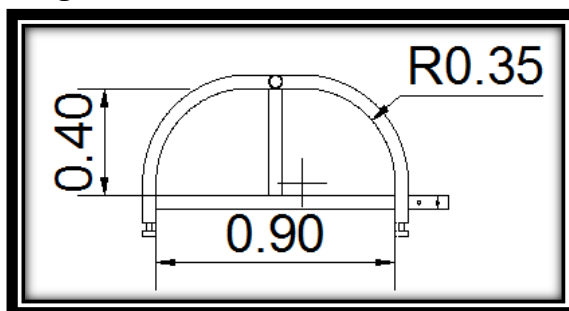


Figura 2.6b. Vista lateral

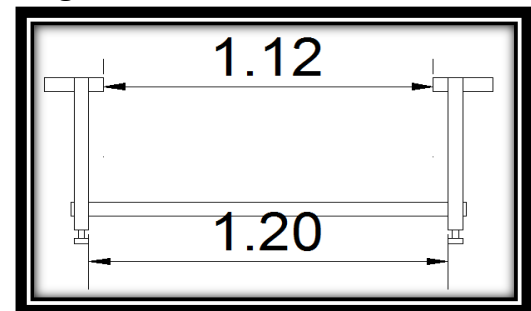
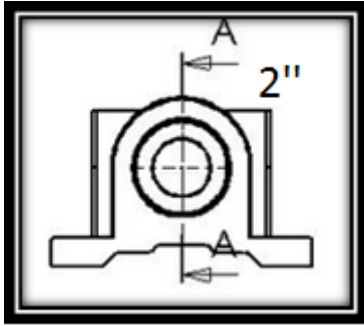
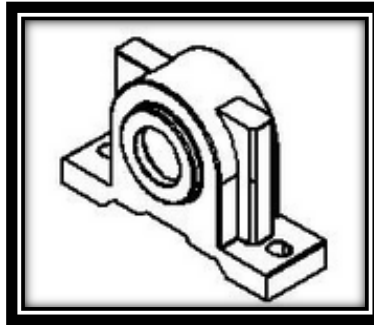


Figura 2.6 SOPORTE PARA EL MARCO METÁLICO

Fuente: Autor

El diámetro interior de la chumacera que se observa en la figura 2.7 es de 2 pulgadas, esto permitirá facilitar el acoplamiento del tubo absorbedor.

Figura 2.7a. Vista frontal**Figura 2.7b.** Axonometría**Figura 2.7** Chumacera

Fuente: <http://senaastindespuntadora.blogspot.com/p/planos.html>

2.5. Construcción de la estructura de soporte

Después de haber realizado el diseño de todos los elementos del sistema de concentradores se procede a su construcción, montaje y ensamblaje. Para la construcción tanto del marco metálico de la superficie receptora y su soporte se ha utilizado hierro dulce debido a que es un material fácil de ser forjado.

**Figura 2.8** Construcción del soporte metálico

Fuente: Autor

Se realiza la construcción del soporte y del marco metálico de forma separada, como se puede observar en las figuras 2.8 y 2.9, adicionalmente en la construcción del marco que soporta la superficie reflejante se procede a fijar el tubo absorbente, considerando que el sistema está compuesto por tres concentradores, el mismo proceso se realiza en

tres ocasiones, luego se procede al ensamblaje de cada concentrador y por último la unión de todo el sistema como se observa en la figura 2.10.



Figura 2.9 Construcción del marco metálico e instalación del tubo absorbente
Fuente: Autor



Figura 2.10 Ensamblaje del sistema de concentradores cilindro parabólicos
Fuente: Autor

Una vez ensamblado el sistema de concentradores, se procede a diseñar e instalar un sistema de transmisión de movimiento (fig. 2.11), de tal manera que el movimiento se

produzca en los tres concentradores de manera simultánea de acuerdo a la posición del sol.



Figura 2.11 Sistema de transmisión de movimiento
Fuente: Autor

2.6. Tubos receptores en el foco de la parábola

El tubo receptor que se encuentra en el foco de la parábola se ha construido con un tubo de cobre de media pulgada rodeado por un tubo de vidrio doble cuyo diámetro

interior es de 4 pulgadas y exterior es de 4.5 pulgadas. La condición ideal para obtener un mayor rendimiento sería que el tubo se encuentre sellado al vacío, sin embargo esto no es posible debido a que la tubería de vidrio podría explotar en dicho proceso, no obstante se ha sellado los tubos de tal forma que las pérdidas sean las mínimas posibles. Adicionalmente, los tubos se encuentran sujetos en las chumaceras que se encuentran ubicadas a los extremos de cada concentrador, estas cumplen doble función, la primera de sujetar a los tubos receptores y la segunda de facilitar el giro de cada motor de acuerdo a la ubicación del sol, figura 2.11.



Figura 2.12 Tubo receptor en el centro de la parábola
Fuente: Autor

Sumado a los tubos en el centro de la parábola se ha acoplado tubería de cobre para interconectar cada uno de los concentradores, se ha realizado el diseño de la tubería de tal manera que los concentradores pueden estar conectados en paralelo o en serie, y de esta forma se pueda apreciar las diferencias y semejanzas que pudiera existir en la eficiencia del sistema al estar interconectados de estas dos maneras.



Figura 2.13 Sujeción del tubo en la chumacera
Fuente: Autor



Figura 2.14 Conexión en paralelo de la tubería
Fuente: Autor

2.7. Construcción y prueba de reflexión de la superficie de cada Concentrador Cilindro – Parabólico

Una vez realizada la construcción del sistema de concentradores cilindro parabólicos se considera necesario realizar una prueba de reflexión, de esta manera se puede saber si la radiación que incide sobre las superficies reflejante, es irradiada hacia el tubo absorbedor.

Para realizar las pruebas de reflexión se ha usado un puntero láser, haciendo un barrido a lo largo y ancho de cada superficie reflectora y verificando que la luz emitida se

refleje en el foco de la parábola, en este caso en el tubo absorbedor. Como conclusión de esta prueba se puede obtener que los errores de construcción de los concentradores son mínimos, y radican básicamente en el montaje de los tubos absorbedores, puesto que se genera una variación mínima en el foco de la parábola provocando que la reflexión en los marcos rectos de los espejos se desvíe por encima de los tubos. Este error se provoca en un centímetro a partir del filo del espejo, es decir en 16 cm^2 del espejo, tomando en cuenta que la superficie reflejante mide un metro cuadrado, obtenemos que el margen de error es del 16%.

En la figura 2.15 se procura realizar una muestra de la prueba de reflexión, siendo esta casi imperceptible al lente de la cámara por la luz solar que reflejaba durante el día, a pesar que el momento de la captura el día estaba algo nublado como se puede observar en la imagen, por reflejo del espejo.



Figura 2.15: Prueba de reflexión

Fuente: Autor

CAPÍTULO 3

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO Y ADQUISICIÓN DE VARIABLES DEL CONCENTRADOR SOLAR

3.1. Introducción

Dentro de las condiciones para aumentar la eficiencia de cualquier sistema de concentración solar es captar la mayor parte de energía solar incidente en el lugar donde este sea ubicado. Esta captación se puede conseguir siempre y cuando la superficie colectora se mantenga en posición normal a los rayos del sol.

En el caso particular de los concentradores cilindro parabólicos la eficiencia disminuye si se encuentran estáticos debido a que la superficie reflejante recibiría los rayos en posición normal únicamente al medio día, es por esto que para poder concentrar la radiación sobre el tubo absorbedor la superficie colectora debe estar enfocada hacia el sol durante el día, para lo cual es necesario un mecanismo que permita el cambio de posición de la superficie con el movimiento aparente del Sol en el cielo.

Como se mostró en el capítulo anterior, el sistema de concentradores que se presenta en este trabajo está diseñado de tal forma que pueda tener movimiento, sin embargo anteriormente se mostró únicamente la parte mecánica. Al ser el presente trabajo un sistema que se utilizará con fines didácticos no sólo es necesario un control de seguimiento solar sino también es necesario conocer parámetros tales como la temperatura que alcanza la superficie colectora, el caudal de agua que ingresa al sistema y la presión de vapor que se puede obtener a la salida.

3.2. Principales orientaciones de los Concentradores Cilindro Parabólicos.

Es necesario que la superficie reflejante esté directamente enfocada al sol para poder concentrar los rayos en el tubo absorbedor, para esto es necesario que exista un

mecanismo que permita el movimiento de los concentradores en dirección a la posición aparente del sol en el cielo.

Existen dos criterios básicos con los que se pueden diseñar este mecanismo, y consiste en que el eje de giro se oriente de Este-Oeste o Norte Sur, esto dependerá del diseño mecánico del concentrador. En el caso particular del proyecto que aquí se presenta, al ser un sistema formado por tres concentradores se ha diseñado un mecanismo de tal forma que todos los concentradores giren simultáneamente con orientación Este – Oeste.

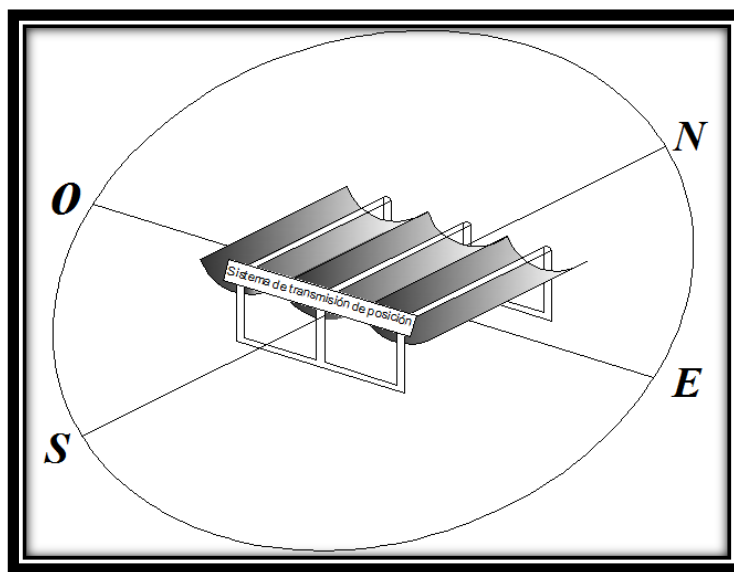


Figura 3.1: Orientación este – oeste

Fuente: Autor

Como se puede observar en la figura 3.1, se debería alterar completamente el diseño del sistema de transmisión para que el sentido de rotación sea Norte – Sur, debido a que, el eje de rotación es el mismo que se usa para la sujeción de los tubos receptores que se encuentran en el eje de la parábola, asimismo, las dimensiones de la superficie colectora y su estructura de soporte exigirían un sistema de transmisión y giro muy diferente y posiblemente más costoso para lograr una orientación Norte – Sur.

Adicional a la parte mecánica, el sistema requiere de un accionamiento que haga girar el motor y ubique a los concentradores de acuerdo a la posición del sol. Este accionamiento será realizado de forma eléctrica y a través de software, de tal manera

que los concentradores encuentren la posición del sol de forma automática como se explica a continuación.

3.3. Sistema Automático de posicionamiento del concentrador

La intensidad de radiación solar disponible en un punto determinado del planeta es predecible aunque depende de varias circunstancias como: el día, año, hora y latitud. Como consecuencia, conociendo esta información es posible lograr una mayor eficacia en la recolección de radiación solar, siempre y cuando la orientación de los concentradores sea la correcta.

Por lo tanto el primer paso es determinar el lugar donde será ubicado el sistema de concentradores. Luego, mediante diversos medios es posible determinar las coordenadas exactas del sitio. Por medio de la web y corroborando esta información por medio de GPS se ha determinado las siguientes coordenadas para el edificio del auditorio de la Universidad del Azuay:

Latitud: -2.91861325848113

Longitud: -79.0002279728651

Con la información anterior se puede orientar de manera correcta los concentradores. Aprovechando esta información, se ha diseñado un sistema de seguimiento solar sabiendo que la posición del sol, indispensable de la cantidad de nubes, va a ser la misma todos los días. Sin embargo es necesario recalcar que, este sistema es aplicable en nuestro país durante todo el año debido a su ubicación al centro del planeta. Mientras más distante sea la ubicación de la latitud cero, menos eficiente será el sistema puesto que la ubicación del Sol varía de acuerdo a la posición de la Tierra. Por ejemplo, en los países que cuentan con las cuatro estaciones, el sistema debería ser reconfigurado cada tres meses.

3.4. Funcionamiento y consideraciones del sensor de caudal

De acuerdo a las dimensiones del concentrador y considerando el uso para el que ha sido diseñado, se ha determinado que el caudal no será mayor a 2.5 litros por minuto

por lo tanto se ha buscado un sensor que cumpla con esta característica, también es necesario que el mismo sea para agua y para facilitar su conexión y adquisición de datos se ha previsto que este posea entradas y salidas en corriente continua, adicionalmente una de las características básicas que se ha tomado en cuenta es la dimensión de la tubería usada en los concentradores.

Los medidores o sensores de caudal se utilizan para estimar el gasto en determinada sección de la tubería, por su principio de funcionamiento se los puede clasificar en varios tipos como se observa en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Clasificación de medidores de caudal según su funcionamiento

CLASIFICACIÓN DE MEDIDORES DE CAUDAL	
Medidores volumétricos	Presión diferencial
	Área variable
	Velocidad
	Tensión Inducida
	Desplazamiento positivo
Medidores Másicos	Vórtice
	Sistema térmico
	Sistema basado en la fuerza de Coriolis

Fuente: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/medidores/medidoresdeqentuberias/medidoresdeqentuberias.html>

Tomando en cuenta las características que debe poseer el sensor de caudal se ha usado el sensor OMEGA FTB- 421 cuya imagen se representa en la figura 3.2 y su ficha técnica (datasheet) se encuentra en el ANEXO 1 del presente documento. Este sensor se encuentra dentro de los medidores volumétricos por presión diferencial, cuyo principio de funcionamiento se basa en el Teorema de Bernouilli. Este teorema relaciona la energía cinética, la potencial y la presión de un fluido en diferentes puntos.



Figura 3.2: Sensor de caudal

Fuente: http://www.omega.com/ppt/pptsc_lg.asp?ref=FTB-420&Nav=

El sensor ha sido ubicado en la tubería que sirve para el ingreso del agua al sistema de concentradores. El sensor de caudal permitirá determinar la eficiencia de los concentradores, debido a que se podrá contrastar la cantidad de agua frente a la cantidad de vapor que se obtenga a la salida del sistema.

3.5. Funcionamiento y consideraciones de sensores de temperatura.

Teniendo como conocimiento previo las temperaturas que puede llegar a obtener cada concentrador, es necesario tener una información real en cuanto a la temperatura que se obtiene en cada superficie reflectora. En este caso en cada espejo curvo que conforma el sistema de concentradores se ha colocado una termocupla tipo K, de la marca omega modelo TC-PVC-E-24-180, misma que se observa en la figura 3.3.

Las termocuplas son los sensores de temperatura eléctricos más utilizados en la industria. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura.⁹

⁹ Fuente: http://server-die.alc.upv.es/assignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/Clasify/Termocuplas.htm

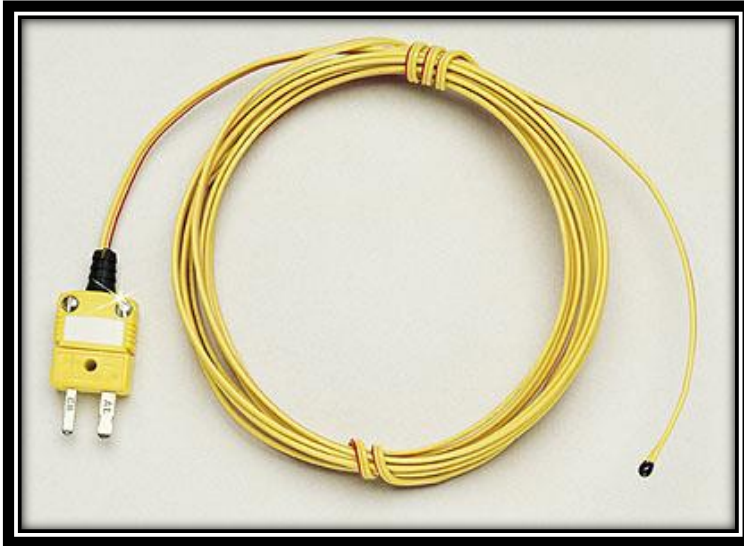


Figura 3.3: Termocupla tipo K

Fuente: http://www.omega.com/ppt/pptsc_lg.asp?ref=TCPVC_EPXOY_TC_PROBE&Nav=

Las ventajas de las termocuplas tipo K es que sirven para uso continuo en vacío y en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes, como es el caso de este proyecto que se encuentra expuesto al aire libre. Su desventaja reside en el hecho de que su límite máximo es de 370°C.

3.6. Funcionamiento y consideraciones del sensor de presión de vapor.

Una vez determinados los valores de caudal y diámetro de tubería, se ha concluido que la presión de vapor no será mayor a 1 atm (14.69 psi). El sensor de presión se colocará al final de la tubería, indistintamente como se encuentre conectada la misma (serie o paralelo).

Los sensores de presión consisten en elementos de sección delgada que, al someterse a una presión se deforman en su rango elástico, deformación que es proporcional a la presión.

Existen principalmente tres tipos de sensores de presión:

- El tubo Bourdon
- El fuelle
- El diafragma

Considerando las características necesarias en este proyecto específicamente se ha determinado que el sensor a seleccionar es de diafragma, específicamente el PX181B-030G5V de la marca Omega que se puede observar en la figura 3.4, cuya ficha técnica se encuentra en el ANEXO 2.

“El diafragma es un disco metálico (o no metálico) al cual se le han hecho corrugaciones circulares concéntricas. Ese se acopla a una caja por la cual se introduce la presión a medir, midiendo este la diferencia de presión existente entre las dos caras del diafragma.

La fuerza de la presión origina una deflexión en el centro del disco la cual es proporcional a la aplicada. Los diafragmas metálicos emplean directamente la característica elástica del material, mientras que los no metálicos tienen por lo general un resorte calibrado cuya fuerza se opone al movimiento.

Estos elementos se usan por lo general para medir presiones diferenciales bajas o presiones de vacío. La sensibilidad de estos instrumentos suele ser muy grande pudiendo detectar comúnmente valores del 0.01% de la presión para la cuál fue diseñado.

Cuando dos diafragmas iguales se une por sus periferias herméticamente se obtiene una cápsula. Esta produce una mayor deflexión para una misma presión aplicada.”¹⁰



Figura 3.4: Sensor de presión

Fuente: http://www.omega.com/ppt/pptsc_lg.asp?ref=PX181B&Nav=

¹⁰ http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/Documentos/I3_Medicion_de_presion.pdf

3.7. Implementación de sensores en el Sistema de Concentradores Cilindro Parabólicos

A continuación se puede observar en el prototipo, ya implementados los sensores, de la misma manera que se explicó anteriormente.

En la figura 3.5 se puede observar el sensor de temperatura sujetado a uno de los espejos. Cada espejo podría tener una temperatura diferente debido a vientos o sombras proyectadas por los otros espejos, por este motivo se ha colocado un sensor en cada espejo.

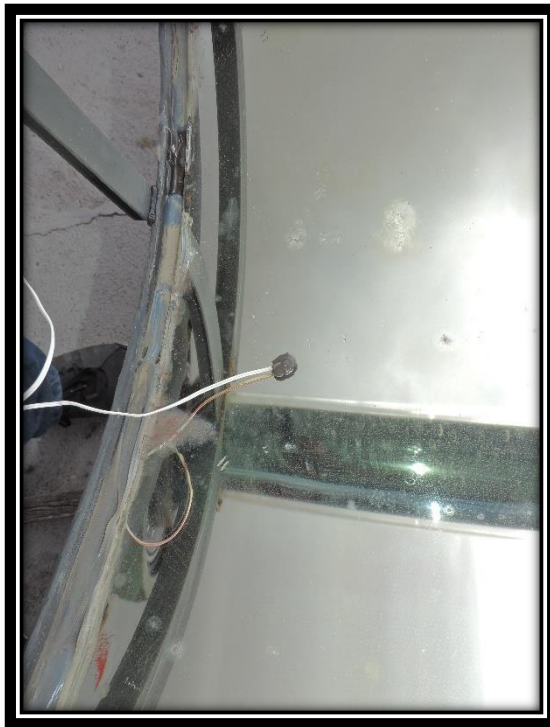


Figura 3.5: Ubicación del sensor de temperatura

Fuente: Autor

A continuación en las figuras 3.6 y 3.7, se puede observar la ubicación del sensor de caudal, de esta forma se determinará la cantidad de agua que entra al sistema. En la figura 3.8 se observa al sensor de presión de vapor, este es colocado en la salida, de esta manera es posible determinar la eficiencia del sistema, haciendo un análisis entre lo que entra y lo que sale del sistema de concentración.



Figura 3.6: Ubicación del sensor de caudal

Fuente: Autor



Figura 3.7: Ubicación del sensor de caudal

Fuente: Autor



Figura 3.8: Ubicación del sensor de presión

Fuente: Autor

3.8. Diseño del programa de posicionamiento manual del concentrador y adquisición de variables de flujo, temperatura y caudal.

Una vez terminado el prototipo e implementado los sensores se procede al proceso de adquisición de la información. Para esto se ha diseñado un programa que permite manipular el ángulo de inclinación de los concentradores de forma manual, este mecanismo es adicional al posicionamiento automático que posee el sistema. Por lo tanto es posible observar al sistema trabajar no siempre buscando su mayor eficiencia. Aparte se puede obtener los valores de temperatura, caudal y presión que va obteniendo el sistema tanto cuando esté trabajando de forma automática, o cuando esté trabajando de forma manual.

En la figura 3.9 se puede observar el panel de control del sistema de concentradores, donde se puede observar siempre la adquisición de los sensores de temperatura, presión y caudal en la parte derecha y en la parte izquierda se puede seleccionar la forma de posicionar los concentradores, es decir, que el programa posicione por sí solo.

Se ha establecido como posición inicial o “0”, cuando los espejos se encuentran de forma horizontal, y su límite de rotación varía en un ángulo entre +/- 55 grados. En este caso el programa se encargará de rotar los concentradores de acuerdo a la ubicación del sol.

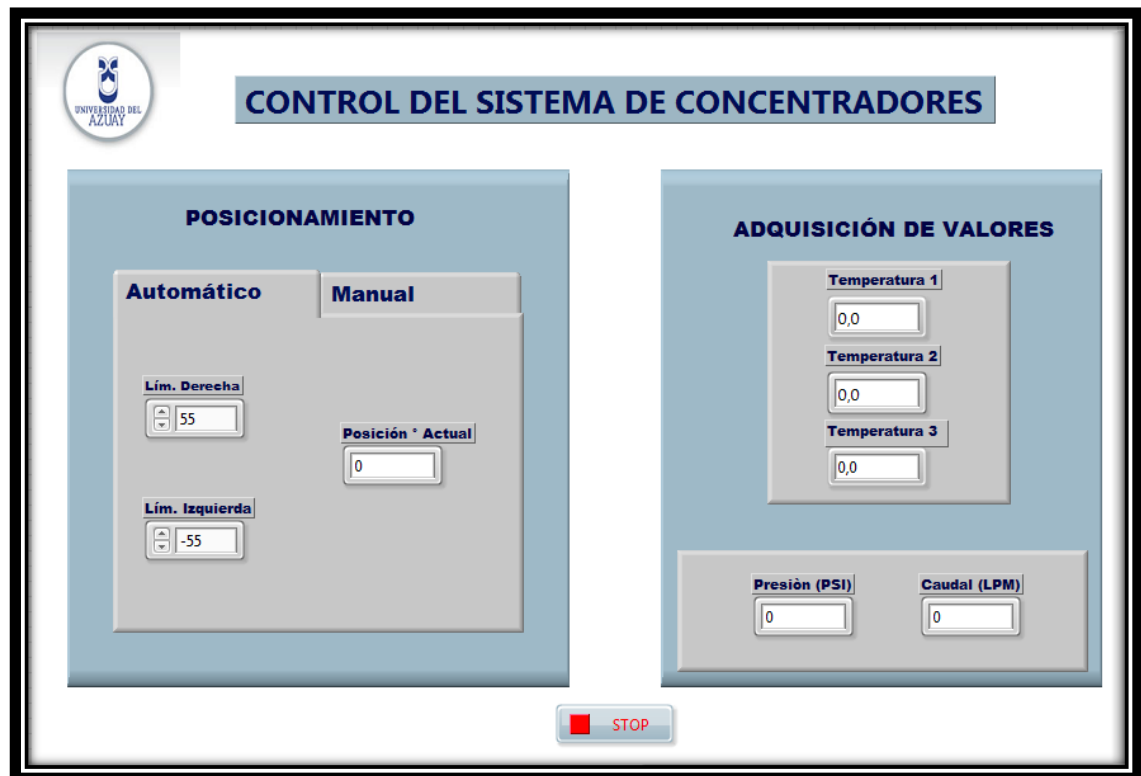


Figura 3.9: Panel de control para el Sistema de Concentradores Cilindro parabólicos – Modo Automático

Fuente: Autor

En el momento que se ponga en funcionamiento del sistema, los espejos rotarán hasta encontrar una posición inicial, misma que estará definida por un elemento físico que se encargará de dar una señal al programa que está listo. El elemento físico, en este caso, será un interruptor de límite conocido como fin carrera, mismo que el momento de ser pulsado detendrá el movimiento de los concentradores y los rotará hacia la posición del sol. La posición del sol se determina de acuerdo a la hora que se enciende el sistema.

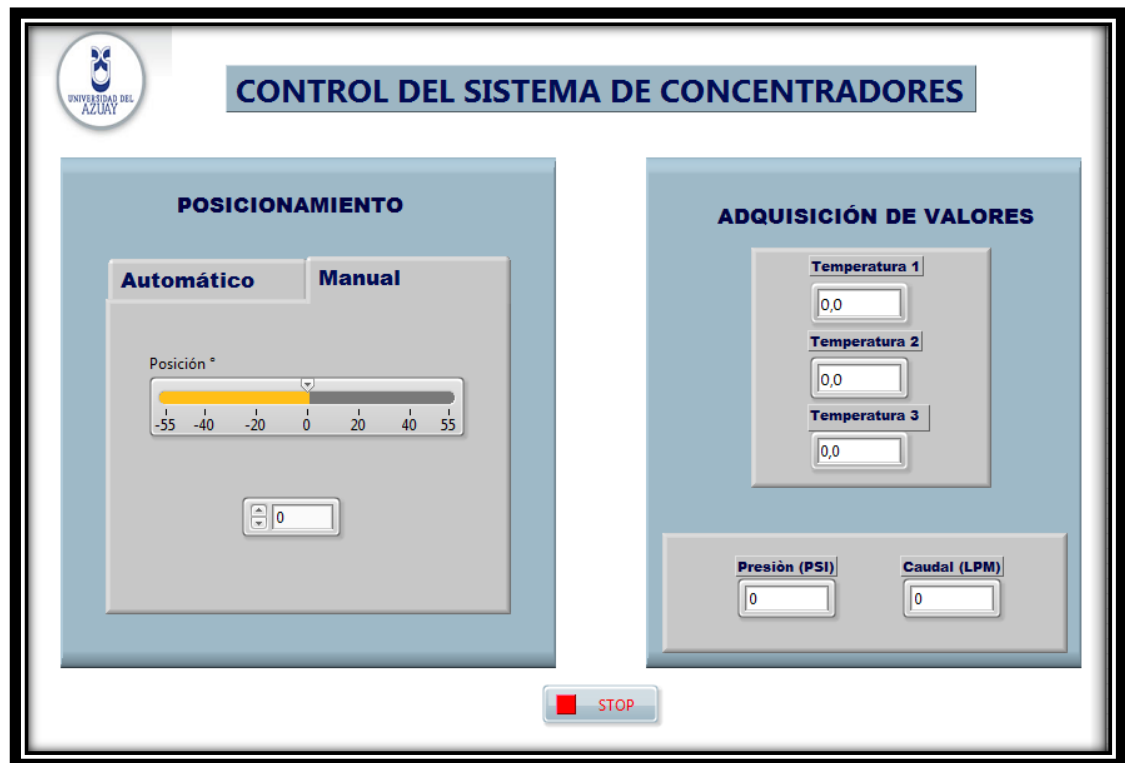


Figura 3.10: Panel de control para el Sistema de Concentradores Cilindro parabólicos – Modo Manual

Fuente: Autor

En la figura 3.10 se observa el control del sistema pero ubicado en selección manual, es decir, no habrá rotación de los espejos a menos que esta sea manipulada manualmente. De la misma forma que en el caso de la selección automática los espejos se encuentran en posición cero, el momento que se encuentran de forma horizontal y podrán ser girados 55 grados hacia la derecha o izquierda a partir de este punto.

A continuación en las figuras 3.11, 3.12 y 3.13 se encuentra desglosado el diagrama de bloques que permite el funcionamiento del programa como fue descrito anteriormente. En la figura 3.11 se observa el diagrama de bloques para la ubicación de los concentradores en modo automático en su fase de “inicialización”, que como se explicó determina la posición inicial marcada por un interruptor de límite.

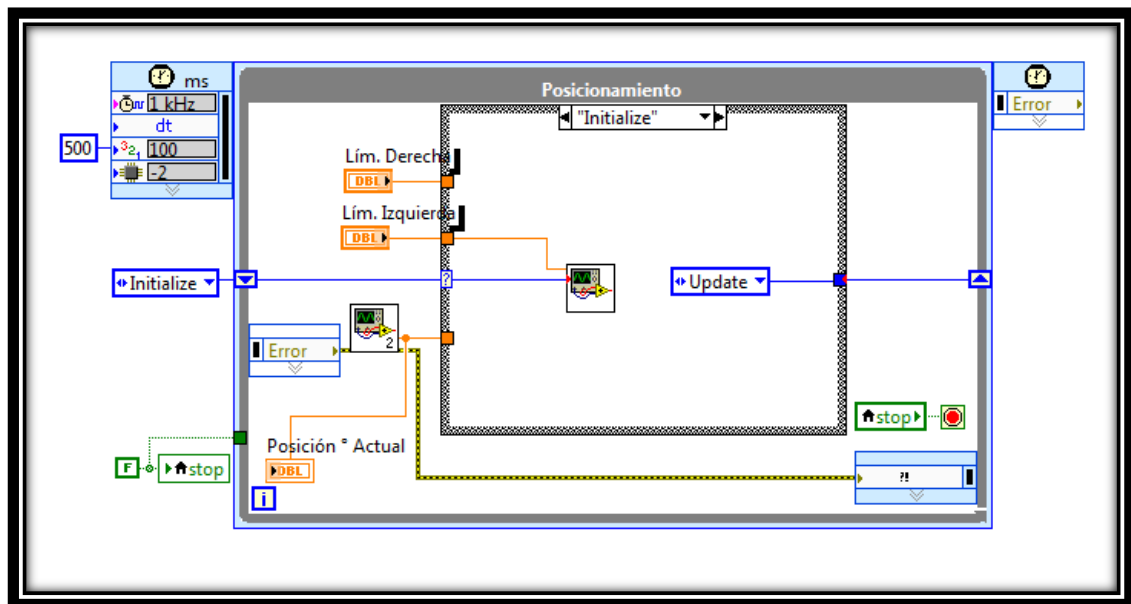


Figura 3.11: Diagrama de Bloques para el Sistema de Concentradores Cilindro parabólicos – Modo Inicialización

Fuente: Autor

En la figura 3.12, el diagrama de bloques refleja el proceso que se realiza para que los espejos giren de forma automática hacia la posición del sol.

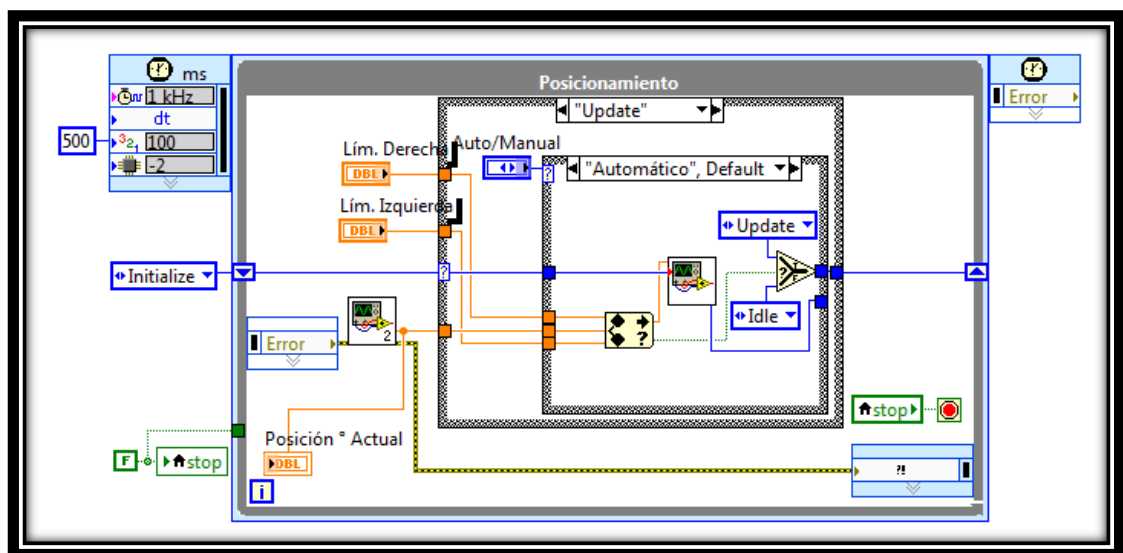
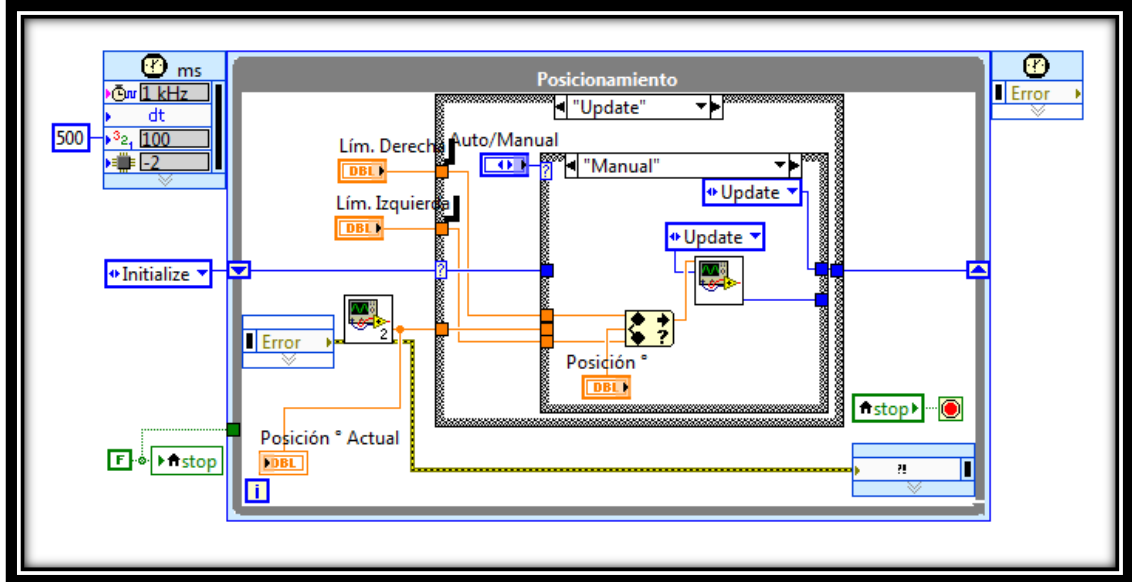


Figura 3.12: Diagrama de bloques para el Sistema de Concentradores Cilindro parabólicos – Modo Automático

Fuente: Autor

El diagrama de bloques de la figura 3.14, a diferencia del modo automático incorpora un control externo de forma que el usuario manipule directamente el movimiento de los espejos.

Figura 3.13. Diagrama de bloques para el Sistema de Concentradores Cilindro parabólicos – Modo Manual



Fuente: Autor

En el diagrama de la figura 3.14 se aprecia la adquisición de la información que proviene de los sensores de temperatura, caudal y presión.

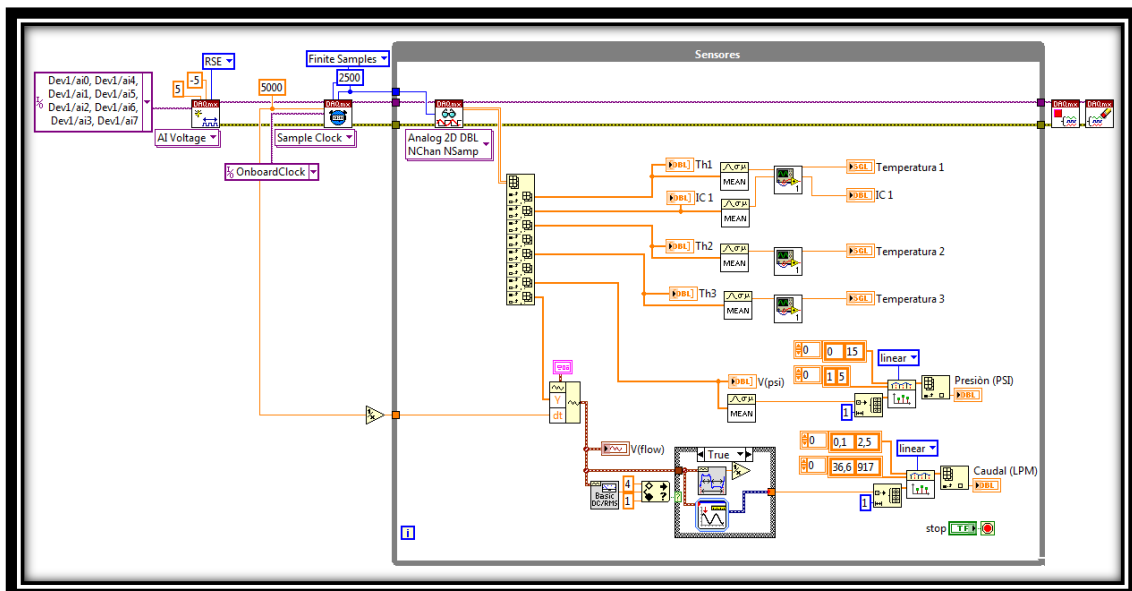


Figura 3.14. Diagrama de bloques para el Sistema de Concentradores Cilindro parabólicos – Adquisición de variables.

Fuente: Autor

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA

4.1. Análisis de resultados

Para realizar pruebas en el sistema, se tomaron en cuenta varios aspectos. Inicialmente, se realizaron pruebas de posicionamiento del motor, tomando en cuenta que el objetivo es que el sistema se pueda mover de forma manual y de forma automática. Previo a realizar las pruebas se comprobó que los tres espejos se encuentren en el mismo ángulo de posición.

La primera prueba consistió en probar el sistema de forma manual, es decir, dando una ubicación desde el programa y comprobando físicamente que se lograra dicho posicionamiento. Obteniendo como resultados la posición deseada del sistema.

La segunda prueba consistió en probar el sistema de manera automática, para esto se ha considerado que el ángulo de rotación máximo al que pueden llegar los espejos es de +/- 55 grados, esto se debe al peso que ejercen espejos sobre la estructura y a su vez sobre el sistema de transmisión de movimiento y sobre el motor.

En modo automático, debido a que el sistema posee un posicionamiento por tiempo, funciona en un horario predeterminado, siendo este de 9h00 am a 16h00 pm. Esto se debe a dos circunstancias: la primera es el ángulo de rotación máximo, como se explicó anteriormente; y el segundo motivo es la ubicación de los concentradores, puesto que los edificios contiguos e inclusive el mismo edificio de su ubicación genera sombras que impiden una radiación directa fuera de estos horarios.

4.2. Resultados de Temperatura, Caudal y Presión

Para las pruebas de temperatura, caudal y presión se tomaron muestras en dos días diferentes: un día completamente despejado, procurando radiación máxima siendo el

miércoles 22 de octubre, y un día nublado, el viernes 21 de septiembre. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 4.1. Pruebas realizadas en día nublado

HORA	CAUDAL	TEMP1	TEMP2	TEMP3	PRESIÒN
10:00	0.78 lt/s	25 °C	26 °C	22 °C	15 Psi
10:30	0.81 lt/s	32 °C	33 °C	30 °C	15.05 Psi
11:00	0.8 lt/s	35 °C	36 °C	33 °C	16 Psi
11:30	0.79 lt/s	37 °C	39 °C	35 °C	17 Psi
12:00	0.8 lt/s	42 °C	42 °C	39 °C	18 Psi

Fuente: Autor

Tabla 4.2. Pruebas realizadas en día soleado

HORA	CAUDAL	TEMP1	TEMP2	TEMP3	PRESIÒN
10:00	0.8 lt/s	38 °C	37 °C	36 °C	15 Psi
10:30	0.82 lt/s	46 °C	45 °C	44 °C	16 Psi
11:00	0.81 lt/s	50 °C	49 °C	49 °C	17.2 Psi
11:30	0.81 lt/s	65 °C	65 °C	64 °C	18.2 Psi
12:00	0.8 lt/s	78 °C	77 °C	78 °C	19.5 Psi

Fuente: Autor

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Una vez finalizado el presente trabajo, teniendo como propósito: Entregar al laboratorio de energías renovables un sistema de energía solar térmica a temperatura media con concentradores cilindro parabólicos como material didáctico para la realización de pruebas de campo, y de acuerdo a los resultados obtenidos se pueden obtener las siguientes conclusiones.

- El sistema de concentradores fue diseñado y construido de acuerdo a los requerimientos. Adicionalmente, se ha diseñado un programa para seguimiento solar conforme a la ubicación física del sistema de concentradores, como a ubicación del sol de acuerdo a la hora, mismo que fue realizado en Labview y permite controlar la posición de los concentradores de manera automática y manual, además permite obtener el valor de la temperatura en el foco de cada concentrador, así como el caudal del agua que ingresa al sistema y la cantidad de presión de vapor a la salida del mismo.
- Para obtener los valores en el programa se ha diseñado e implementado el circuito necesario para lograr la lectura de los valores de cada sensor a través de la tarjeta de adquisición de datos NIDAQ 2009. Misma que también es utilizada para el manejo del driver del motor que mueve el sistema de concentradores, para lo cual también fue necesario diseñar e implementar el circuito para la amplificación de corriente.
- Finalmente se puso en marcha el sistema y se verificó su funcionamiento, sin obtener los resultados esperados desde la primera vez. Se realizaron ajustes en el giro del motor para lograr una mayor precisión lo que permitió obtener resultados satisfactorios.

Recomendaciones:

Finalmente, es necesario hacer algunas recomendaciones para el uso del mismo o para implementación de futuros proyectos semejantes.

- El proyecto debería ser ubicado en una zona de fácil acceso, sobre todo para los estudiantes, ya que esto facilitará su uso constante, esto evitará el deterioro del equipo debido a la corrosión y la posible implementación de mejoras para aumentar su eficiencia.
- Innegablemente la eficacia de proyectos que tienen por objeto obtener energía a partir de la reflexión de la radiación solar, es mucho mayor con el uso de espejos, no obstante la desventaja es la vida útil de este material, lo que como consecuencia disminuye la vida útil del equipo. En este caso sería recomendable el uso de otro tipo de material reflejante.
- Finalmente, para aumentar la frecuencia de uso del equipo recomendaría la implementación de un acceso remoto y la implementación de una toma eléctrica y abastecimiento de agua exclusivo.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

FARRINGTON, Daniels. *Uso directo de la Energía solar*. Blume Ediciones. 1977.

ANTONIO MADRID, Vicente. *Curso de Energía Solar* (Fotovoltaica, térmica, termoeléctrica). AVM Ediciones. 2009.

ANTONIO MADRID, Vicente. *Energía Solar Térmica y de Concentración: Manual Práctico de Diseño, instalación y mantenimiento*. AVM. 2009.

Energía Solar Térmica de Concentración: Perspectiva mundial 2009. Greepeace International. España. Junio 2009

ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR CON FINES DE GENERACION ELÉCTRICA. Concejo Nacional de Electricidad CONELEC y Corporación para la Investigación Energética CIE. Año 2008

ENLACES

<http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi97/imagen/espinal/radiacin.htm>

<http://www.buenastareas.com/ensayos/Concentrador-Solar/3384319.html>

http://elrinconcillodevicen.blogspot.com/2011_04_01_archive.html

<http://www.centralesternosolares.com/tiposcentralesternosolares.html>

<http://www.conenergiasrenovables.com/tag/concentradores-cilindro-parabolicos/>

<http://tecnologianivel2.blogspot.com/2012/05/como-funciona-una-central-solar-termica.html>

<http://smienergias.wordpress.com/category/energia-solar/page/2/>

<http://renewablengineering.blogspot.com/2011/05/planta-solar-termoelectrica-de-50-mw.html>

<http://www.corpoema.com/Informacion%20FNCE/Solar/1.pdf>

<http://www.luxxol.com/2011/06/9-colectores-de-concentracion.html>

www.loseskakeados.com/joomla/component/option.../Itemid,96/

http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/Clasify/Termocuplas.htm

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/medidores/medidoresdeqentuberias/medidoresdeqentuberias.html>

http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/Documentos/I3_Medicin_de_presion.pdf

www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8355/2/8070.docx

<http://www.verfotosde.org/ecuador/coordenadas.php?Cuenca&id=79>

<http://www.verfotosde.org/ecuador/coordenadas.php?Cuenca&id=79>

<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=-2.91861325848113&lon=-79.0002279728651&submit=Submit>

ANEXO 1

HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE CAUDAL

LOW FLOW PLASTIC TURBINE



FTB-420 Series



- ✓ Low Flow Rates 0.1 to 2.5 LPM
- ✓ High Accuracy $\pm 3\%$ of Reading
- ✓ Lightweight Turbine Ensures Fast Startup
- ✓ Mounts in Any Orientation

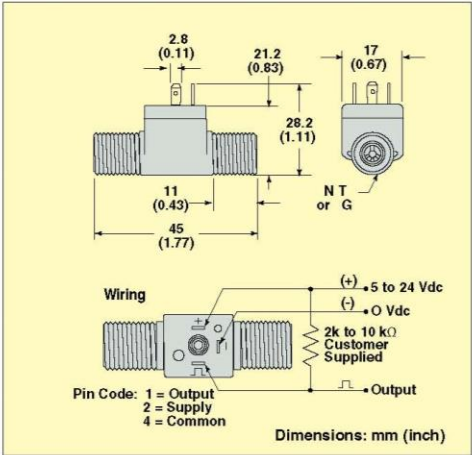
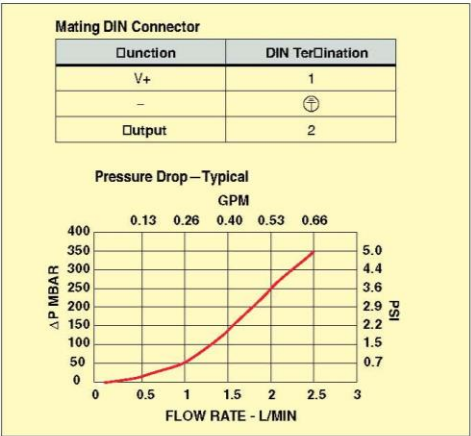
OMEGA's FTB-420 Series features proven turbine technology in a small package for low flow applications. The turbine technology provides a highly repeatable sensor ideally suited for measurement of either volume dispensing and/or flow rate applications. The small turbine reacts quickly to on/off dispensing applications. Each sensor is 100% tested, ensuring long service life.

SPECIFICATIONS

Wetted Materials:
Body: Nylon 12
Turbine: Nylon 12 composite
Bearings: PTFE/15% graphite
Operating Pressure: 24 bar (350 psi)
Burst Pressure: 97 bar (1400 psi)
Flow Range: 0.026 to 0.65 GPM (0.1 to 2.5 LPM)
Pulses: 83,200 per gallon (22,000 per liter)
Frequency Output: 36.6 to 917 Hz
Operating Temperature: -20 to 100°C (-4 to 212°F)
Viscosity: 32 to 70 SSU (0.8 to 16 centistokes)
Filter: <50 Microns
Input Power: 5 to 24 Vdc
Output (Hz): NPN sinking open collector @ 20 mA maximum leakage
Current: 10µA (3 to 30K pull up resistor required)
Accuracy: $\pm 3\%$ of reading
Repeatability: 0.5% of full scale
Electrical Connection: 9.4 mm spacing 3-pole DIN connector (1" high)
Inlet/Outlet Ports: 1/4 NPT or 1/4 G male



FTB-421 shown actual size.



To Order Visit omega.com/ftb-420 for Pricing and Details

Model No.	Description
FTB-421	Low flow nylon turbine 1/4 NPT
FTB-421G	Low flow nylon turbine 1/4 G
FTB-422	Low flow PPA turbine 1/4 NPT
FTB-422G	Low flow PPA turbine 1/4 G

Comes complete with DIN connector and operator's manual.
Ordering Example: FTB-421, low flow nylon turbine 1/4 NPT.

ANEXO 2

HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE TEMPERATURA

Epoxy Coated Tip Thermocouple

TC-PVC-(*)-24-180



Purchase PVC insulated thermocouples with epoxy sealed junction tip either singly or in a pack of five. Supplied in 4.5 m (15') length† per sensor with subminiature male window connector and 24 gage solid polyvinyl rip-cord wire. Maximum Temp rating of 105°C (221°F). Stripped leads available in 5-pack.
† Other lengths available, consult Sales Department.

Miniature
connector
with write-
on-window.



5TC-PVC-(*)-24-180
pkg of 5

* Specify calibration: J, K, T or E

Add suffix "-SE" to model number.

A-88



Shown
actual size.

Shown
smaller than
actual size.

ANEXO 3

HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE PRESIÓN



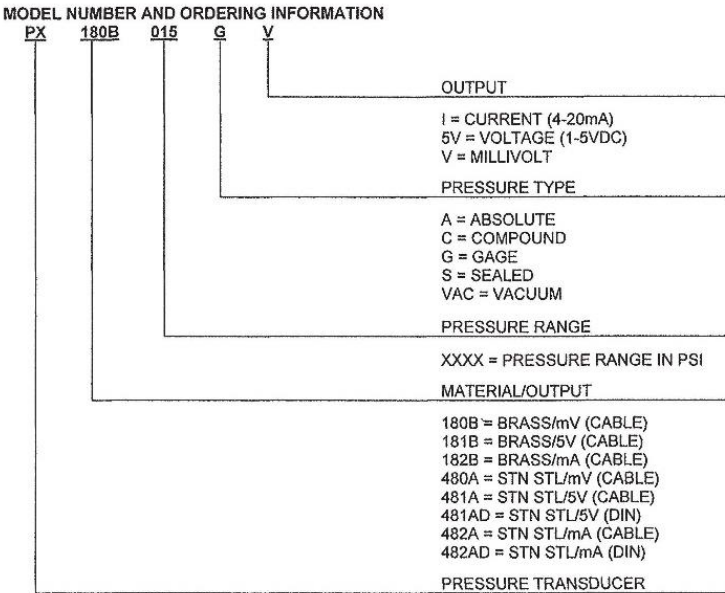
PX180B, PX181B, PX182B, PX480A, PX481A, PX482A

Miniature Stainless Steel & Brass Pressure Transducers in Gage, Absolute, Sealed and Vacuum Ranges



M-4182/0305

Shop online at: omega.com e-mail: info@omega.com
For latest product manuals: omegamannual.info



AVAILABLE PRESSURE RANGES

	PX180B	PX181B	PX182B	PX480A	PX481A&D	PX482A&D
ABSOLUTE RANGES (FSIA) 15, 30, 60				X	X	X
COMPOUND RANGES (PSIG) VAC/15, VAC/30, VAC/60	X	X	X	X	X	X
GAGE RANGES (PSIG) VAC/0, 1, 6, 15, 30, 60, 100, 200, 300, 500	X	X	X	X	X	X
SEALED RANGES (PSIS) 1000, 2000, 3000				X	X	X

PX180B/PX480A

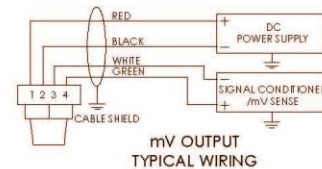
MILLIVOLT OUTPUT

SPECIFICATIONS			
PRESSURE RANGE - PX180B PX480A	VACUUM - UP TO 500 PSI VACUUM - UP TO 3000 PSI	0 - 1 PSI	0 - 6 PSI
REFERENCE ACCURACY (RSL)	±0.2% FS TYP. ±0.3% FS MAX.	±1.0% FS MAX.	±0.5% FS MAX.
NULL OFFSET @25°C (77°F) - PX180B PX480A	±1% FS ±1% FS	±2.0% FS MAX. ±2.0% FS MAX.	±1.0% FS MAX. ±1.5% FS MAX.
SPAN SET @25°C (77°F) - PX180B PX480A	±1% FS ±1% FS	±2.0% FS MAX. ±2.0% FS MAX.	±1.0% FS MAX. ±1.5% FS MAX.
THERMAL EFFECT ON NULL (ZERO) WITHIN COMPENSATED RANGE - PX180B PX480A	±0.5% FS TYP OVER COMP. RANGE, ±2% MAX.	±4% FS MAX. ±5% FS MAX.	±2% FS MAX. ±3% FS MAX.
THERMAL EFFECT ON SPAN WITHIN COMPENSATED RANGE	±0.5% FS TYP OVER COMP. RANGE, ±2% MAX.	±4% FS MAX.	±2% FS MAX.
1 YR. STABILITY	<0.25% FS	<1.0% FS	<0.5% FS
OUTPUT VOLTAGE	10mV	5mV	10mV
INPUT SUPPLY VOLTAGE	10VDC MAX.		
OUTPUT IMPEDANCE	3.5K ohm ± 5% (DC)		
OPERATING TEMPERATURE	-40 TO 125°C (-40 TO 257°F)		
PROCESS TEMPERATURE - PX180B PX480A	-40 TO 125°C (-40 TO 257°F) -40 TO 100°C (-40 TO 212°F)		
COMPENSATED TEMPERATURE	-25 TO 75°C (-13 TO 167°F)		
OVERPRESSURE	2X FS (750 PSI FOR 500 PSI RANGE)		
BURST PRESSURE - PX180B PX480A	3X FS (750 PSI, WHICHEVER IS LESS) 3X FS (750 PSI FOR 300 & 500 PSI, PROCESS CONTAINMENT OF 2000 PSI ON LOW PRESSURE GAGE RANGES)		
VIBRATION	10G, 55 - 2000 HZ		
SHOCK	30G		
PROCESS WETTED MATERIAL - PX180B PX480A	BRASS, BOROSILICATE, SILICON, RTV, EPOXY STAINLESS STEEL		
ELECTRONICS HOUSING MATERIAL	ALUMINUM, BLACK ANODIZED		
PROCESS CONNECTION	1/8-27 NPT		
ELECTRICAL CONNECTION	36" CABLE, 24 AWG		

CONDUCTOR COLORS	OUTPUT
RED	+Vin
BLACK	-Vin
WHITE	-S
GREEN	+S

NOTES:

- FOR PX180B, CONDUCTIVE MEDIA "-Vin" SHOULD BE TIED TO CASE POTENTIAL
- THE CABLE SHIELD, POWER SUPPLY & RECEIVER GROUNDINGS ARE OPTIONAL DEPENDING ON INSTALLATION (SHOWN BELOW)
- FOR VACUUM RANGES, REVERSE GREEN AND WHITE WIRES



PX181B/PX182B/PX481A/PX482A

4-20mA OR 1-5VDC

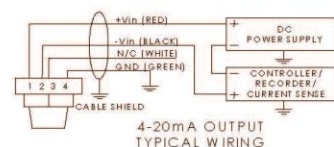
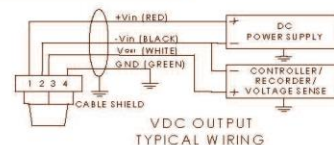
SPECIFICATIONS			
PRESSURE RANGE - PX181B/182B PX481A/482A	VACUUM - UP TO 500 PSI VACUUM - UP TO 3000 PSI	0 - 1 PSI	0 - 6 PSI
ACCURACY @25°C INCLUDING LINEARITY (RSL), HYSTERESIS & REPEATABILITY	±0.2% FS TYP. ±0.3% FS MAX.	±1.0% FS MAX.	±0.5% FS MAX.
1 YR. STABILITY	<0.25% FS	<1.0% FS	<0.5% FS
LOAD LIMITATION	50K OHM MIN (ALL VOLTAGE OUTPUTS)	600 OHMS MAX (4-20mA)	
OPERATING TEMPERATURE	-40 TO 80°C (-40 TO 176°F)		
PROCESS TEMPERATURE - PX181B/182B PX481A/482A	-40 TO 125°C (-40 TO 257°F) -40 TO 100°C (-40 TO 212°F)		
COMPENSATED TEMPERATURE	-25 TO 75°C (-13 TO 167°F)		
TOTAL ERROR BAND (INCLUDES TEMPERATURE EFFECTS, ZERO & SPAN SET)	±1% FS	±2.5% FS MAX.	±1.5% FS MAX.
OVERPRESSURE	2X FS (750 PSI FOR 500 PSI RANGE)		
BURST PRESSURE - PX181B/182B PX481A/482A	3X FS (OR 750 PSI, WHICHEVER IS LESS) 3X FS (750 PSI FOR 300 & 500 PSI) PROCESS MEDIA CONTAINMENT OF 2000 PSI ON LOW GAGE RANGES		
VIBRATION	10G, 55 - 2000 HZ		
SHOCK	30G		
PROCESS WETTED MATERIAL - PX181B/182B PX481A/482A	BRASS, BOROSILICATE, SILICON, RTV, EPOXY STAINLESS STEEL		
ELECTRONICS HOUSING MATERIAL	ALUMINUM, BLACK ANODIZED		
PROCESS CONNECTION	1/8-27 NPT		
ELECTRICAL CONNECTION	36" CABLE 24 AWG, DIN 43650 FORM C CONNECTOR		
INPUT/CURRENT - PX181B, PX481A	4-20VDC / 1-5VDC		
INPUT/CURRENT - PX182B, PX482A	11-30VDC / 4-20mA		

WIRE COLORS

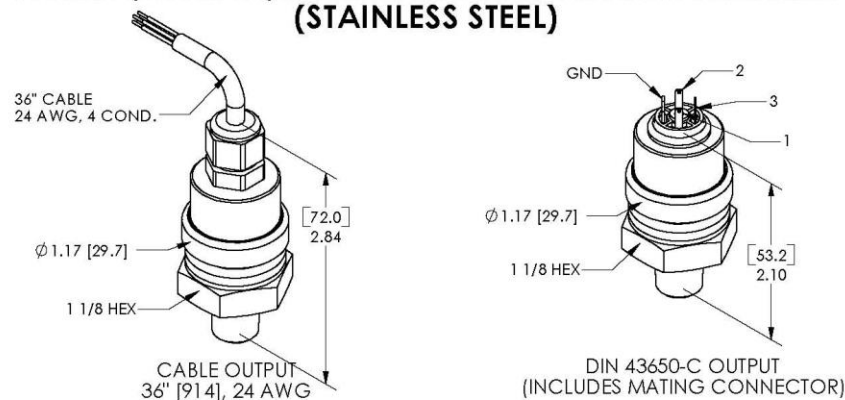
CONDUCTOR COLORS	DIN 43650-C PIN NO.	VOLTAGE OUTPUT	CURRENT OUTPUT
RED	1	+Vin	+Vin
BLACK	2	-Vin	-Vin
WHITE	3	Vout	N/A
GREEN	GND	CASE GROUND	CASE GROUND

NOTES:

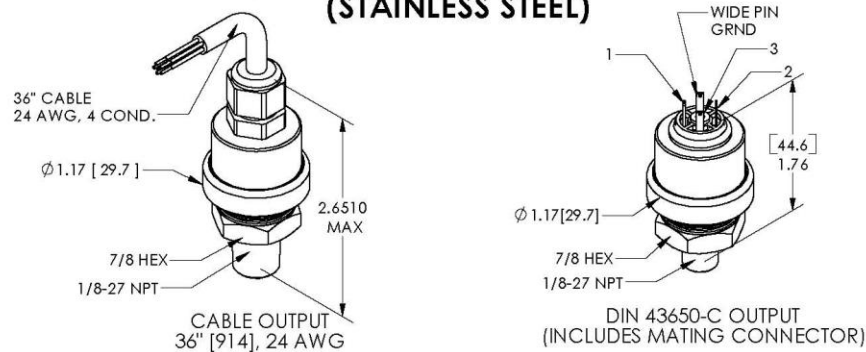
- FOR PX181B, PX182B, CONDUCTIVE MEDIA "-Vin" SHOULD BE TIED TO CASE POTENTIAL
- THE CABLE SHIELD, POWER SUPPLY & RECEIVER GROUNDINGS ARE OPTIONAL DEPENDING ON INSTALLATION (SHOWN BELOW).



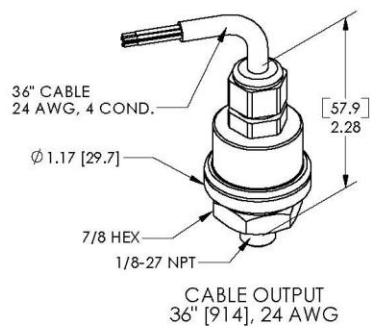
Dimensions shown in inches [mm]
PX480A/PX481A/PX482A ABSOLUTE & HIGH PRESSURE
(STAINLESS STEEL)



PX480A/PX481A/PX482A GAGE PRESSURE
(STAINLESS STEEL)



PX180B/PX181B/PX182B
(BRASS)





OMEGAnet® Online Service www.omega.com	Internet e-mail info@omega.com
---	-----------------------------------

Servicing North America:

USA: ISO 9001 Certified One Omega Drive, Box 4047 Stamford CT 06907-0047 Tel: (203) 359-1660 e-mail: info@omega.com	Canada: 976 Bergar Laval (Quebec) H7L 5A1, Canada Tel: (514) 856-6928 e-mail: info@omega.ca
---	--

For immediate technical or application assistance:

USA and Canada:	Sales Service: 1-800-826-6342 / 1-800-TC-OMEGA® Customer Service: 1-800-822-2378 / 1-800-822-BEST™ Engineering Service: 1-800-872-9436 / 1-800-USA-WHEN® TELEX: 996404 EASYLINK 62968934 CABLE: OMEGA
Mexico:	En Español: (001) 203-359-7803 e-mail: espanol@omega.com FAX: (001) 203-359-7807 info@omega.com.mx

Servicing Europe:

Benelux:	Postbus 8034, 1180 LA Amsterdam, The Netherlands Tel: +31 (0)20 3472121 FAX: +31 (0)20 6434643 Toll Free in Benelux: 0800 0993344 e-mail: sales@omegageng.nl
Czech Republic:	Frystatelka 184, 733 01 Karviná, Czech Republic Tel: +420 (0)59 6311899 FAX: +420 (0)59 6311114 Toll Free: 0800-1-66342 e-mail: info@omegashop.cz
France:	11, rue Jacques Cartier, 78280 Guyancourt, France Tel: +33 (0)1 61 37 2900 FAX: +33 (0)1 30 57 5427 Toll Free in France: 0800 466 342 e-mail: sales@omega.fr
Germany/Austria:	Daimlerstrasse 26, D-75392 Deckenpfronn, Germany Tel: +49 (0)7056 9398-0 FAX: +49 (0)7056 9398-29 Toll Free in Germany: 0800 639 7678 e-mail: info@omega.de
United Kingdom: ISO 9002 Certified	One Omega Drive, River Bend Technology Centre Northbank, Idam, Manchester M44 5BD United Kingdom Tel: +44 (0)161 777 6611 FAX: +44 (0)161 777 6622 Toll Free in United Kingdom: 0800-488-488 e-mail: sales@omega.co.uk

It is the policy of OMEGA to comply with all worldwide safety and EMC/EMI regulations that apply. OMEGA is constantly pursuing certification of its products to the European New Approach Directives. OMEGA will add the CE mark to every appropriate device upon certification.

The information contained in this document is believed to be correct, but OMEGA Engineering, Inc. accepts no liability for any errors it contains, and reserves the right to alter specifications without notice. **WARNING:** These products are not designed for use in, and should not be used for, human applications.

WARRANTY/DISCLAIMER

OMEGA ENGINEERING, INC. warrants this unit to be free of defects in materials and workmanship for a period of **13 months** from date of purchase. OMEGA's WARRANTY adds an additional one (1) month grace period to the normal **one (1) year product warranty** to cover handling and shipping time. This ensures that OMEGA's customers receive maximum coverage on each product.

If the unit malfunctions, it must be returned to the factory for evaluation. OMEGA's Customer Service Department will issue an Authorized Return (AR) number immediately upon phone or written request. Upon examination by OMEGA, if the unit is found to be defective, it will be repaired or replaced at no charge. OMEGA's WARRANTY does not apply to defects resulting from any action of the purchaser, including but not limited to mishandling, improper interfacing, operation outside of design limits, improper repair, or unauthorized modification. This WARRANTY is VOID if the unit shows evidence of having been tampered with or shows evidence of having been damaged as a result of excessive corrosion; or current, heat, moisture or vibration; improper specification; misapplication; misuse or other operating conditions outside of OMEGA's control. Components which wear are not warranted, including but not limited to contact points, fuses, and triacs.

OMEGA is pleased to offer suggestions on the use of its various products. However, OMEGA neither assumes responsibility for any omissions or errors nor assumes liability for any damages that result from the use of its products in accordance with information provided by OMEGA, either verbal or written. OMEGA warrants only that the parts manufactured by it will be as specified and free of defects. **OMEGA MAKES NO OTHER WARRANTIES OR REPRESENTATIONS OF ANY KIND WHATSOEVER, EXPRESS OR IMPLIED, EXCEPT THAT OF TITLE, AND ALL IMPLIED WARRANTIES INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE HEREBY DISCLAIMED. LIMITATION OF LIABILITY: The remedies of purchaser set forth herein are exclusive, and the total liability of OMEGA with respect to this order, whether based on contract, warranty, negligence, indemnification, strict liability or otherwise, shall not exceed the purchase price of the component upon which liability is based. In no event shall OMEGA be liable for consequential, incidental or special damages.**

CONDITIONS: Equipment sold by OMEGA is not intended to be used, nor shall it be used: (1) as a "Basic Component" under 10 CFR 21 (NRC), used in or with any nuclear installation or activity; or (2) in medical applications or used on humans. Should any Product(s) be used in or with any nuclear installation or activity, medical application, used on humans, or misused in any way, OMEGA assumes no responsibility as set forth in our basic WARRANTY/DISCLAIMER language, and, additionally, purchaser will indemnify OMEGA and hold OMEGA harmless from any liability or damage whatsoever arising out of the use of the Product(s) in such a manner.

RETURN REQUESTS / INQUIRIES

Direct all warranty and repair requests/inquiries to the OMEGA Customer Service Department. BEFORE RETURNING ANY PRODUCT(S) TO OMEGA, PURCHASER MUST OBTAIN AN AUTHORIZED RETURN (AR) NUMBER FROM OMEGA'S CUSTOMER SERVICE DEPARTMENT (IN ORDER TO AVOID PROCESSING DELAYS). The assigned AR number should then be marked on the outside of the return package and on any correspondence.

The purchaser is responsible for shipping charges, freight, insurance and proper packaging to prevent breakage in transit.

PATENT NOTICE: U. S. Pat. No. 6,074,089; 5,485,838 / Canada 2,228,333; 2,116,055 / UK GB 2,321,712 / Holland 1008153 / Israel 123052 / France 2 762 908 / EPO 0614194. Other patents pending.

FOR **WARRANTY** RETURNS, please have the following information available BEFORE contacting OMEGA:

1. Purchase Order number under which the product was PURCHASED,
2. Model and serial number of the product under warranty, and
3. Repair instructions and/or specific problems relative to the product.

OMEGA's policy is to make running changes, not model changes, whenever an improvement is possible. This affords our customers the latest in technology and engineering.

OMEGA is a registered trademark of OMEGA ENGINEERING, INC.

© Copyright 2004 OMEGA ENGINEERING, INC. All rights reserved. This document may not be copied, photocopied, reproduced, translated, or reduced to any electronic medium or machine-readable form, in whole or in part, without the prior written consent of OMEGA ENGINEERING, INC.

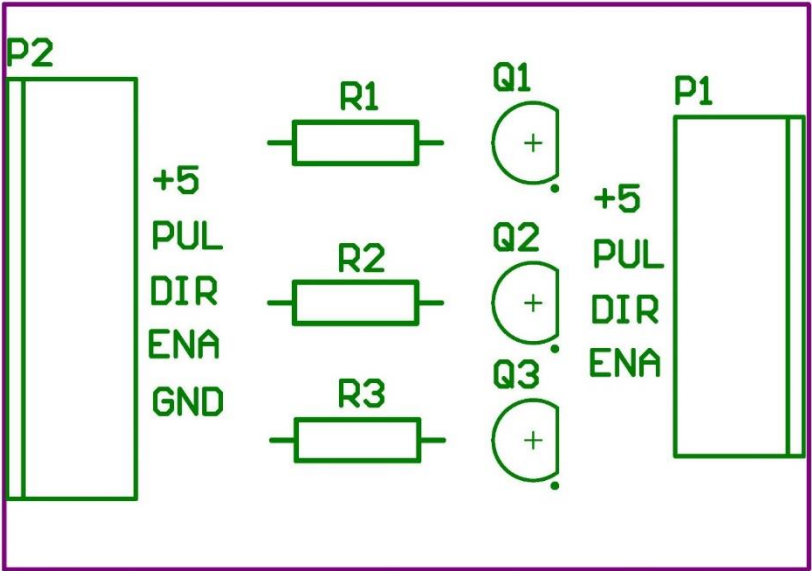
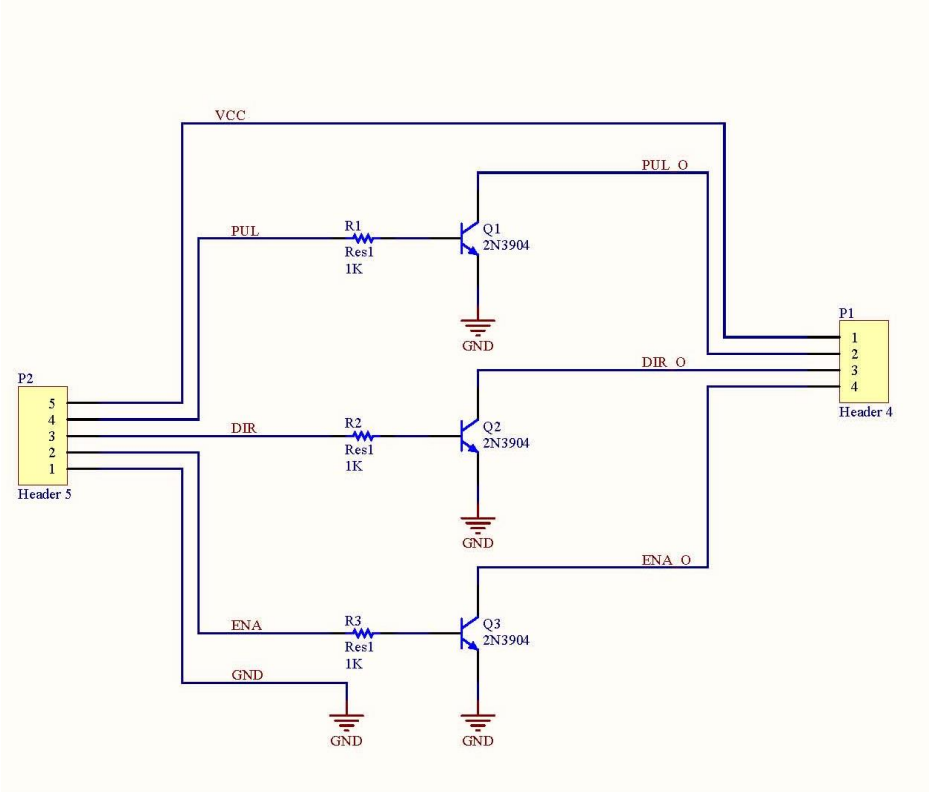
FOR **NON-WARRANTY** REPAIRS, consult OMEGA for current repair charges. Have the following information available BEFORE contacting OMEGA:

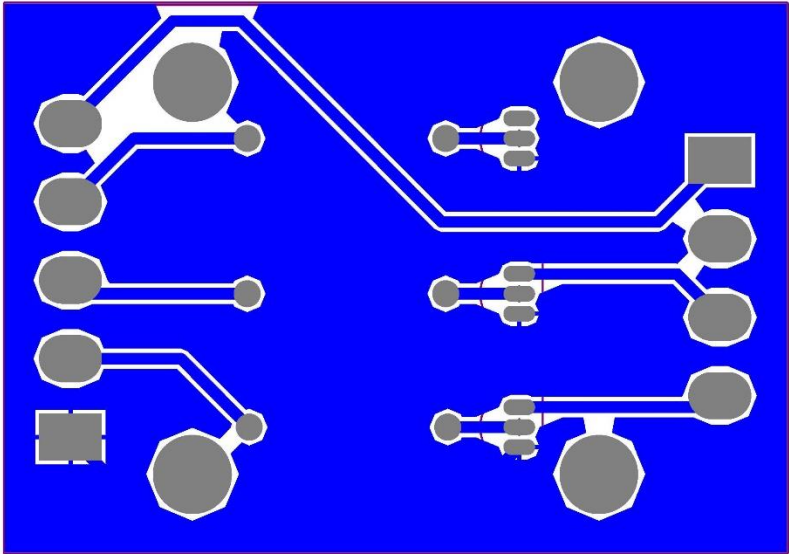
1. Purchase Order number to cover the COST of the repair,
2. Model and serial number of the product, and
3. Repair instructions and/or specific problems relative to the product.

ANEXO 4

DISEÑO DE LA PLACA DE INTERFAZ CON LOS

SENSORES

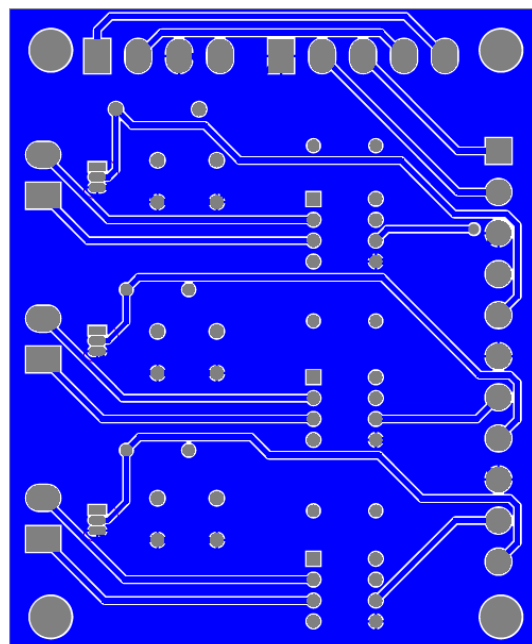
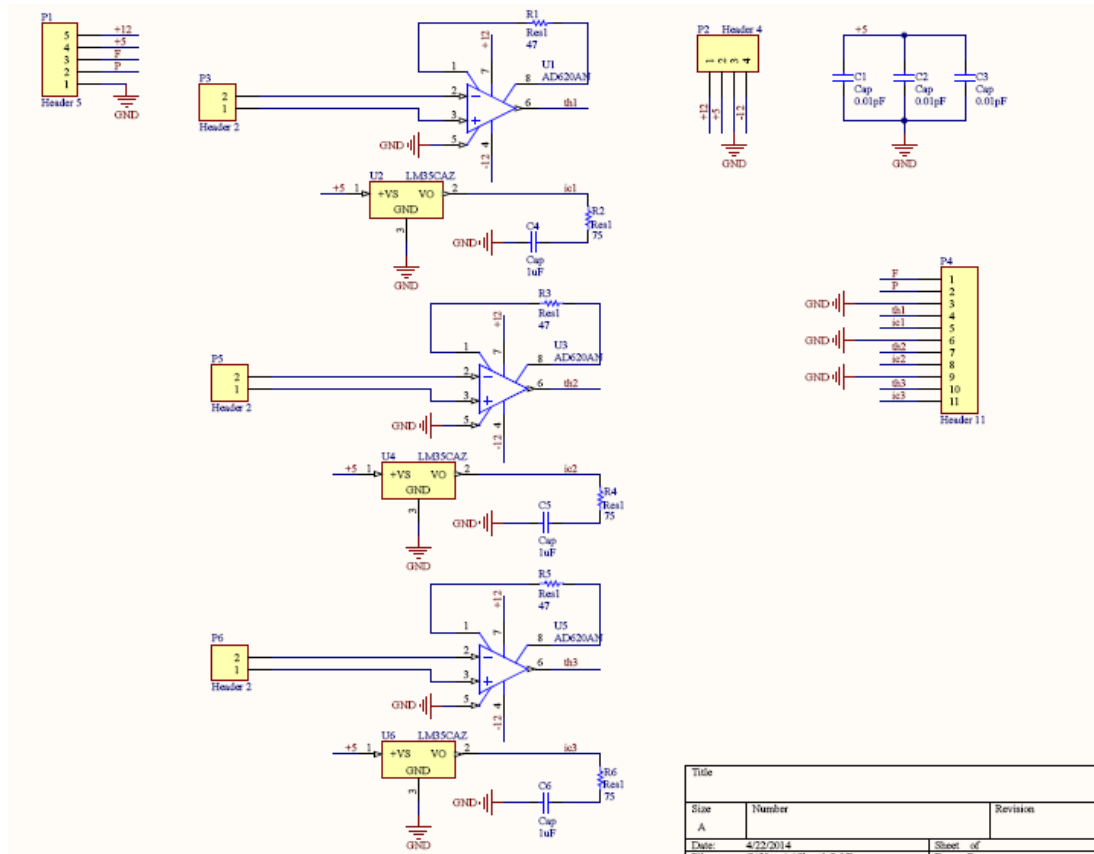


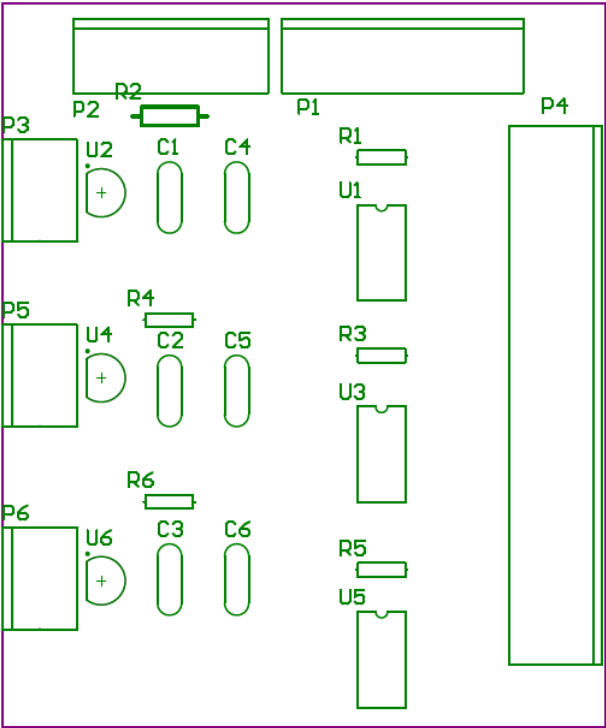


Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity
Header 4	Header, 4-Pin	P1	AZUL5-4	Header 4	1
Header 5	Header, 5-Pin	P2	AZUL5-5	Header 5	1
2N3904	NPN General Purpose Amplifier	Q1, Q2, Q3	TO-92A	2N3904	3
Res1	Resistor	R1, R2, R3	AXIAL-0.5	Res1	3

ANEXO 5

DISEÑO DE LA PLACA DE INTERFAZ CON EL MOTOR





Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity
Cap	Capacitor	C1, C2, C3, C4, C5, C6	RAD-0.2	Cap	6
Header 5	Header, 5-Pin	P1	AZUL5-5	Header 5	1
Header 4	Header, 4-Pin	P2	AZUL5-4	Header 4	1
Header 2	Header, 2-Pin	P3, P5, P6	AZUL5-2	Header 2	3
Header 11	Header, 11-Pin	P4	AZUL5-11	Header 11	1
Res1	Resistor	R1, R3, R4, R5, R6	AXIAL-0.3	Res1	5
Res1	Resistor	R2	AXIAL-0.4	Res1	1
AD620AN	Low-Cost, Low-Power Instrumentation Amplifier	U1, U3, U5	N-8	AD620AN	3
LM35CAZ	Precision Centigrade Temperature Sensor	U2, U4, U6	Z03A	LM35CAZ	3