



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA.**

**“PROPUESTA TÉCNICA PARA LA PLATAFORMA SOLAR  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA MECÁNICA**

**P R E S E N T A**

**CLAUDIA GABRIELA TÉLLEZ CARBALLO**



**TUTOR: DR. ARMANDO ROJAS MORIN**

**MÉXICO D.F**

**2013**

## **JURADO ASIGNADO:**

Presidente: **ING. AUGUSTO SANCHEZ CIFUENTES**

Secretario: **DR. ARTURO BARBA PINGARRON**

Vocal: **DR. ARMANDO ROJAS MORIN**

1er Suplente: **M.I. VICENTE GUILLERMO LOPEZ FERNANDEZ**

2º Suplente: **ING. RAUL GILBERTO VALDEZ NAVARRO**

Lugar y fecha donde se realizó la tesis:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE INGENIERÍA, MEXICO  
D.F. NOVIEMBRE DEL AÑO 2013.

**TUTOR DE TESIS:**

**DR. ARMANDO ROJAS MORIN**

---

FIRMA

## DEDICATORIAS.

- A la vida: por permitir que me levante a diario para que logre cumplir mis objetivos y poder desarrollarme en el ámbito profesional, emocional y personal.
- A mi papá: gracias a ti soy todo lo que soy, este gran proyecto lo comenzamos juntos, pero por desgracia en esta culminación no te encuentras ya con nosotros. Espero que donde te encuentres puedas disfrutar de la conclusión de esta gran meta de mi vida, ya que sin tu apoyo, tanto económico, emocional e intelectual nunca hubiera podido realizarlo.  
Gracias por todas tus enseñanzas, por tus noches de desvelo, por tus consejos y por animarme día a día a concluir mis estudios. Este logro es de los dos.
- A mi mamá: gracias por estar ahí conmigo cuando te necesitaba, por alentarme en el desarrollo de mis estudios, por aguantarme en mis días de estrés y sobretodo porque sigues apoyándome en mis decisiones.
- A mi hermana: gracias por escucharme cada que necesitaba realizar una exposición, por tolerar mis cambios de humor, y sobretodo por ayudarme a entender ciertos conceptos que no me quedaban claros.

A Mamá Grande: gracias por escucharme y ser mi gran guía de vida, por responder a mis llamados de auxilio y darme ánimos para seguir adelante a lo largo de todos los obstáculos que se me iban presentando en la vida.

A mis amigos: gracias a ustedes se hizo más ligera la Universidad, con nuestras aventuras y la convivencia diaria pudimos sacar adelante nuestros estudios, y como lo dije durante nuestra estancia, la Ingeniería no es una carrera de velocidad, sino una carrera de resistencia.

A ti: aún no te conozco pero te has convertido en el gran motor de mi vida, gracias por habernos elegido.

A tíos y primos: gracias por sus consejos y sus palabras de aliento para seguir adelante con esta carrera.

## **AGRADECIMIENTOS.**

A mi tutor:

Dr. Armando Rojas Morin

Por todas las enseñanzas que me brindó para la realización de este proyecto, por la paciencia y tolerancia que me tuvo a lo largo de esta etapa de mi vida y sobretodo por transmitir sus conocimientos para que yo pueda obtener el título de Ingeniera Mecánica, muchas gracias.

A mi comité tutorial:

Ing. Augusto Sánchez Cifuentes

Dr. Arturo Barba Pingarrón

Dr. Armando Rojas Morin

M.I. Vicente Guillermo López Fernández

Ing. Raúl Gilberto Valdez Navarro

Gracias por su tiempo dedicado, los consejos y las palabras de aliento que me brindaron para la culminación de esta etapa de mi vida.

A la Facultad de Ingeniería:

Por haberme dado la formación de Ingeniera Mecánica. Dentro de sus aulas adquirí los conocimientos que ahora me permiten obtener el grado de Ingeniera y porque día a día sigue formando profesionales. Me siento muy orgullosa de haber formado parte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al proyecto PAPITT No. IN112613:

Por el apoyo brindado para la realización de esta tesis.

Al Ing. Gabriel Alejandro Jaramillo Morales:

Por todos sus consejos, regaños y enseñanzas de vida que me otorgo a lo largo de mis estudios universitarios, gracias por su paciencia al escucharme cada que lo necesitaba, ya que me sirvieron de mucho para llegar a concluir este gran proyecto de mi vida

A mis compañeros de clase:

Por todo el tiempo dedicado a cada una de las materias, con el único propósito de que en un futuro llegáramos a esta estancia y poder llamarnos INGENIEROS.

## **ÍNDICE GENERAL.**

<b>ÍNDICE</b> .....	I
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	IV
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	VII
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1.- DESCRIPCIÓN DE LOS CONCENTRADORES SOLARES.</b> .....	5
1.1.- Reseña Histórica de los Concentradores Solares.....	6
1.2.- Captadores Solares de Baja Temperatura.....	9
1.3.- Concentradores Solares de Media Temperatura.....	12
1.4.- Concentradores Solares de Alta Temperatura.....	13
1.5.- Descripción de las Instalaciones Solares.....	21
1.6.-Componentes de una Instalación Solar.....	25
1.7.-Clasificación de las Instalaciones Solares.....	26

<b>CAPÍTULO 2.- INSTALACIONES SOLARES DE INVESTIGACIÓN EN EL MUNDO.</b>	29
2.1.- Instalaciones Solares en España.	30
2.2.- Instalaciones Solares en Estados Unidos.	39
2.3.- Instalaciones Solares en Alemania.	44
2.4.- Instalaciones Solares en Francia.	45
2.5.- Instalaciones Solares en Suiza.	52
2.6.- Instalaciones Solares en Italia.	54
2.7.- Instalaciones Solares en Australia.	59
2.8.- Instalaciones Solares en México.	61
<b>CAPÍTULO 3.- SELECCIÓN DE EQUIPOS EXPERIMENTALES.</b>	65
3.1.- Equipo de Adquisición de Datos.	65
3.1.1.- Proceso de Adquisición de Datos.	66
3.1.2.- ¿Cómo se adquieren los datos?	67
3.2.- Estación meteorológica.	68
3.2.1.- Termómetro.	70
3.2.2.- Termógrafo.	71
3.2.3.- Barómetro.	72
3.2.4.- Pluviómetro.	72
3.2.5.- Piranómetro.	73
3.2.6.- Anemómetro.	74
3.2.7.- Heliógrafo.	75
3.2.8.- Pirheliómetro.	76

<b>CAPÍTULO 4.- PROPUESTA DE LA PLATAFORMA SOLAR PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA.</b> -----	78
4.1.- Ubicación de la Plataforma dentro de la Facultad de Ingeniería.-----	78
4.2.- Dimensiones y diseño de los Concentradores Solares.-----	83
4.3.- Cotización de los Precios de los Equipos.-----	86
<b>CONCLUSIONES</b> -----	94
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> -----	96

## **LISTA DE FIGURAS.**

Figura 1.1	Concentrador de Lavoisier. -----	7
Figura 1.2	Horno de Mouchot. -----	7
Figura 1.3	Colector actual de concentración. -----	8
Figura 1.4	Captador solar de placa plana. -----	10
Figura 1.5	Componentes de un concentrador solar de placa plana. -----	12
Figura 1.6	Colector solar de canal parabólico. -----	13
Figura 1.7	Funcionamiento de un Horno Solar. -----	14
Figura 1.8	Horno Solar de tipo Horizontal.-----	15
Figura 1.9	Funcionamiento del Concentrador Solar Parabólico.-----	16
Figura 1.10	Principio de funcionamiento y componentes de un CCP.-----	20
Figura 1.11	Funcionamiento de una Torre Central.-----	22
Figura 1.12	Torre Principal de una Central Solar.-----	23
Figura 1.13	Funcionamiento de un Disco Cilindro Parabólico. -----	23
Figura 1.14	Funcionamiento de un disco Stirling. -----	24

Figura 1.15	Funcionamiento de los colectores Fresnel.-----	25
Figura 2.1	Principales centrales solares experimentales en el mundo.-----	30
Figura 2.2	Vista de la Plataforma Solar de Almería.-----	32
Figura 2.3	Instalación del Proyecto CESA.-----	32
Figura 2.4	Vista de la Torre del CESA-1 reflejada en un Heliostato.-----	34
Figura 2.5	Heliostato autónomo del campo CRS. -----	35
Figura 2.6	Vista frontal del banco de ensayos de receptores volumétricos en la torre CRS. -----	36
Figura 2.7	Vista del lazo de ensayos.-----	37
Figura 2.8	Lazo DISS en operación.-----	39
Figura 2.9	Central solar tipo Fresnel, ubicada en California, EUA.-----	40
Figura 2.10	Instalaciones de los Laboratorios Nacionales de Sandia.-----	42
Figura 2.11	Horno solar de los Laboratorios Nacionales de Sandia.-----	43
Figura 2.12	Muelhausen, parque solar de Baviera.-----	44
Figura 2.13	Horno Solar del DLR.-----	45
Figura 2.14	Horno solar constituido de 63 paneles solares. Horno Odelio. -----	47
Figura 2.15	Campo de heliostatos. Imagen tomada de PROMES.-----	47
Figura 2.16	Vista anterior y posterior de las nuevas unidades de Eurodish.-----	50
Figura 2.17	MSSF Vertical. -----	51
Figura 2.18	Horno solar del Instituto Paul Scherrer en Suiza.-----	53
Figura 2.19	Vista de los Colectores Solares en prueba.-----	55
Figura 2.20	Vista del Perfilómetro.-----	57
Figura 2.21	Laboratorio de óptica para el análisis de los concentradores solares.-----	58

Figura 2.22	Centro de Investigación del ENEA.-----	59
Figura 2.23	El Big Dish, en la Universidad Nacional de Australia.-----	60
Figura 2.24	Torre Solar en Australia.-----	61
Figura 2.25	Horno Solar de Alto Flujo en México.-----	62
Figura 2.26	Ejemplo de un helióstato en México.-----	63
Figura 2.27	Esquema del campo de pruebas para los helióstatos en México.-----	64
Figura 3.1	Sistema de Adquisidor de Datos. -----	65
Figura 3.2	Esquema de Adquisidor de Datos.-----	68
Figura 3.3	Estación Meteorológica. -----	69
Figura 3.4	Termómetro Digital y Analógico.-----	71
Figura 3.5	Termógrafo.-----	71
Figura 3.6	Barómetro.-----	72
Figura 3.7	Pluviómetro.-----	73
Figura 3.8	Piranómetro.-----	74
Figura 3.9	Anemómetro. -----	75
Figura 3.10	Heliógrafo y su funcionamiento.-----	75
Figura 3.11	Pirheliómetro.-----	77
Figura 4.1	Croquis del Edificio Principal o Conjunto Norte de la Facultad de Ingeniería.-----	80
Figura 4.2	Diseño de Plataforma Solar en la Facultad de Ingeniería.-----	81
Figura 4.3	Ubicación de la Plataforma Solar en la Facultad de Ingeniería.-----	82
Figura 4.4	Ubicación de la Plataforma Solar en la Facultad de Ingeniería.-----	82
Figura 4.5	(a) Imagen del Plato del Concentrador Solar. (b) Imagen del Concentrador Solar de Disco Parabólico. -----	83

Figura 4.6 Imagen del Captador Solar de la Facultad de Ingeniería.-----	84
Figura 4.7 Medidas del Concentrador Solar de Tubos Evacuados de la Facultad de Ingeniería. -----	84
Figura 4.8 Imagen del Concentrador Solar de Tubos Evacuados de la Facultad de Ingeniería. -----	85
Figura 4.9 Imagen del Concentrador Solar de Canal Parabólico de la Facultad de Ingeniería. -----	85
Figura 4.10 Anemómetro 4 en 1. -----	86
Figura 4.11 Termómetro. -----	87
Figura 4.12 Pluviómetro. -----	87
Figura 4.13 Estación Meteorológica. -----	88
Figura 4.14 Termómetro Digital de Contacto. -----	89
Figura 4.15 Anemómetro Digital.-----	89
Figura 4.16 Medidor de Radiación Solar. -----	90
Figura 4.17 Estación meteorológica. -----	91
Figura 4.18 Higrómetro. -----	91
Figura 4.19 Higrómetro. -----	92
Figura 4.20 Pluviómetro Electrónico. -----	92
Figura 4.21 Medidor de Radiación Solar Portátil. -----	93

## **LISTA DE TABLAS.**

Tabla 1.1 Clasificación de los concentradores solares. Tabla del libro Solar Energy Engineering: proceses and systems. Soteris Kalogirou. 1 edición. British Library. USA, 2009. pp 122 -----	9
Tabla 3.1 Clasificación de los instrumentos interiores y exteriores de una estación meteorológica. -----	69
Tabla 4.1 Cotización final de los equipos que se utilizaran para la Plataforma Solar.-----	93

## **INTRODUCCIÓN.**

En la actualidad nos hemos dado a la tarea de comenzar a generar energía a partir de otros tipos de fuentes alternas para así lograr alcanzar nuestros objetivos.

Una de las mayores energías que tenemos a nuestro alcance es la Energía Solar, la cual nos ha acompañado a lo largo de los años y de la que podemos aprovechar ampliamente los recursos que esta nos da.

Por lo tanto, la Energía Solar, y más en específico la radiación solar es una fuente de energía inagotable y gracias al gran avance tecnológico se ha generado cada vez una mayor energía, produciendo un aumento exponencial de las necesidades que satisface. Para ello utilizamos los Concentradores Solares, los cuales tienen como único objetivo el captar y concentrar la radiación solar y a partir de ella generar un aumento de temperatura en las diferentes áreas de aplicación en la que se encuentra.

El aprovechamiento mediante estos Concentradores Solares nos dan un gran tema de estudio ya que existen diferentes tipos de Concentradores Solares siendo los más importantes los de baja, media y alta temperatura, teniendo entre ellos aplicaciones diversas como a continuación se muestra:

1.- Captadores Solares de Baja Temperatura.- pueden elevar la temperatura del fluido hasta 70 °C mediante absorbedores (ya sean metálicos o no metálicos) y su principal aplicación es para el calentamiento de agua para piscinas y agua de uso doméstico o sanitario.

2.- Concentradores Solares de Media Temperatura.- el uso de estos dispositivos nos permite obtener temperaturas de entre los 100 °C y 300 °C. Su principal característica es que todos ellos realizan la concentración mediante espejos dirigidos hacia un receptor de menor tamaño.

3.- Concentradores Solares de Alta Temperatura.- operan a temperaturas mayores de 500 °C y se usan para generar electricidad, los más conocidos en esta categoría son colectores parabólicos.

Las centrales solares son instalaciones destinadas a aprovechar la radiación del Sol para generar energía eléctrica. De manera general, puede decirse que las principales aplicaciones de los sistemas de aprovechamiento solar de baja y media temperatura se dan en el ámbito doméstico o industrial; son los sistemas basados en alta temperatura los que de manera específica, se utilizan para la producción de electricidad.

Con todos estos conocimientos adquiridos nos disponemos a la tarea de poder aplicarlos, el objetivo primordial de esta investigación es la de dar una propuesta, lo mas efectiva posible, de una Plataforma Solar para la Facultad de Ingeniería de Ciudad Universitaria en la Ciudad de México; esto para lograr que los estudiantes de dicha institución tengan un espacio en el cual puedan aplicar los conocimientos vistos en clase, ya que la Plataforma Solar tendrá una carácter académico, también se pretende que todos los profesores e investigadores logren hacer uso de dicha propuesta para un mejor análisis de los resultados que ellos logren obtener.

Para lograr este propósito es necesario hacer un análisis a las diferentes centrales solares experimentales existentes en el mundo, identificar cual es sistema de funcionamiento y el porqué lo adoptaron con esas características.

De un forma muy particular esta tesis no tiene solamente un carácter técnico, que es la de obtener el grado de Ingeniera Mecánica; sino también tiene la finalidad de servir a la institución que me dio la formación necesaria en mis estudios profesionales y así poder contribuir de esta forma para ayudar a todo el personal estudiantil, académico y docente que labora en sus aulas de estudio.

A continuación se dará una breve descripción de cada uno de los temas contenidos en esta investigación, dando la semblanza de cada uno de los temas que se van a estudiar a lo largo de la tesis, esperando que sean los mas adecuados posibles y que no se modifiquen con el paso del tiempo.

El Capítulo 1 está dedicado a exponer todos los principios básicos de los Concentradores Solares, la forma en como concentrar la radiación solar, su funcionamiento y los diferentes tipos que existen; que la clasificación más importante es dependiendo la temperatura que genera.

Se expone a grandes rasgos los elementos que componen a cada uno de los concentradores solares y se habla brevemente del proceso de fabricación de cada uno de ellos.

También nos da a conocer las diferentes clasificaciones de las centrales solares para así poder dar una propuesta eficaz que se necesite para nuestro trabajo de estudio.

El Capítulo 2 resume toda la información redactada sobre las Plataformas Solares existentes en el mundo y de los trabajos que se han hecho en los diferentes países sobre el tema. Nos da una descripción general de lo qué es, los elementos que la componen y su funcionamiento.

Se mencionan las Plataformas Solares más importantes en el mundo, las cuales se encuentran en España, Francia y Alemania. Con estas referencias podemos comenzar a darnos una idea general de la mejor propuesta de una Plataforma Solar para la Facultad de Ingeniería para así llevar a cabo nuestra investigación y comenzar a dar la propuesta más sustentable.

El Capítulo 3 necesitamos analizar a fondo la problemática existente en la Facultad de Ingeniería para así poder dar una propuesta de la Plataforma Solar que se implementaría en dicha institución.

Para esto, necesitamos encontrar en lugar más conveniente para lograr la construcción e instalación de la Plataforma Solar para que todos los interesados tengan un acceso sencillo a ella, y que los alumnos, profesores e investigadores puedan trabajar en ella.

En específico el objetivo de este tema es el de tener una idea clara, y precisa de los elementos que estarán en la propuesta, dando las medidas, los componentes, el tipo y número de concentradores solares que se utilizarán para nuestro proyecto.

El Capítulo 4 esta dedicado a la parte experimental de esta investigación.

Realizaremos todos los análisis y cálculos necesarios para poder determinar si la propuesta que se esta planteando en la capítulo anterior es óptima para su futura construcción.

Se debe tomar en cuenta varios factores principalmente el diseño, y que cumpla con el objetivo primordial, también debemos considerar que los materiales con los que se fabriquen sean los más económicos posibles, pero de buena calidad, y por último pero sin restarle importancia se debe tomar en cuenta que en un futuro se deben cambiar los elementos o piezas y/o darles mantenimiento, para esto se necesita que sea de una sencilla instalación.

## **CAPITULO 1. DESCRIPCIÓN DE LOS CONCENTRADORES SOLARES.**

Un concentrador solar es un tipo especial de intercambiador térmico que transforma la radiación solar en energía térmica utilizable. El aprovechamiento mediante colectores térmicos de la energía solar es la aplicación más inmediata de las tecnologías solares, se basa en la captación de energía mediante cuerpos expuestos a la radiación, preferentemente de color oscuro con el fin de mejorar la conversión. Usualmente el dispositivo se utiliza para calentar un fluido, que circulando por el colector se transfiere la energía a un sistema de almacenamiento intermedio para su uso final en el momento de la demanda. También se define como cualquier dispositivo diseñado para recoger la energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica; donde se concentra la radiación debe de ser de un área menor para lograr aumentar su densidad.

Los concentradores se dividen en tres grandes grupos: los captadores de baja temperatura, utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción; concentradores de media temperatura y los concentradores de alta temperatura, conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir energía eléctrica.

Es muy importante entender la gran diferencia que existe entre los captadores y los concentradores solares, ya que la función del captador es simplemente la de captar la radiación solar para después disiparla a lo largo del panel solar; en cambio, el concentrador solar además de captar la radiación, solar está la concentra en un punto

fijo, la cual se hace pasar por un área de menor tamaño para así elevar el valor de la densidad y aprovechar la radiación solar de una manera más eficiente.

Los concentradores solares no solamente se clasifican de una manera, sino se pueden clasificar en base a varios parámetros. Además de la clasificación que acabamos de utilizar otra de ellas puede ser en función del fluido térmico que utiliza. Los colectores pueden utilizar un líquido o un gas para transferir el calor. Los líquidos más frecuentes son el agua, una disolución anticongelante o un aceite térmico. El gas que se suele utilizar como fluido térmico es el aire.

Una de las clasificaciones más comunes que podemos encontrar en los concentradores solares es por su forma geométrica y entre las grandes clasificaciones encontramos los concentradores solares de placa plana y los cilindros parabólicos.

### 1.1 Reseña Histórica de los Concentradores Solares.

Un concentrador solar capaz de concentrar la energía solar en un área reducida aumentando la 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 objetivo capaz de captar dicha energía para su aprovechamiento.

Los concentradores son dispositivos capaces de aprovechar la energía solar con un sistema de espejos que concentran la energía proveniente del Sol en un punto, para calentar agua y convertirla en vapor. Este vapor mueve unas turbinas que a su vez mueven un generador para producir electricidad. El concentrador más simple y conocido que muchos hemos usado para quemar pequeños objetos es la clásica lupa.

Históricamente, la idea de concentrar la radiación solar para obtener más energía, fue anterior a la de los colectores planos

Un relato muy famoso de la antigüedad nos cuenta cómo en el año 212 a. C. a petición del rey Herón, Arquímedes, quemó las naves romanas que sitiaban la ciudad de Siracusa, utilizando un gran espejo cóncavo. En sus trabajos de óptica, Euclides menciona que es posible obtener temperaturas elevadas mediante un espejo cóncavo.

Lavoisier construyó un concentrador con una lente de más de 1 m de diámetro, que alcanzaba temperaturas de 1700 °C con el que podía fundir platino.

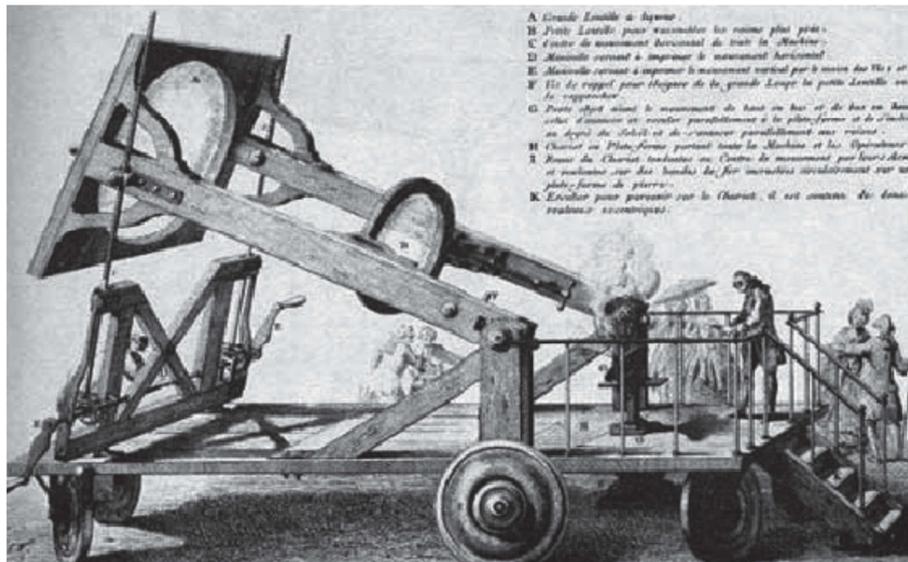


Figura 1.1. Concentrador de Lavoisier. [1.15]

No nos podemos olvidar de Mouchot que construyó un colector en forma de cono truncado de 2.2 m de diámetro que utilizó primero en una caldera y después en una planta para bombear agua. (Ver Figura 1.2)

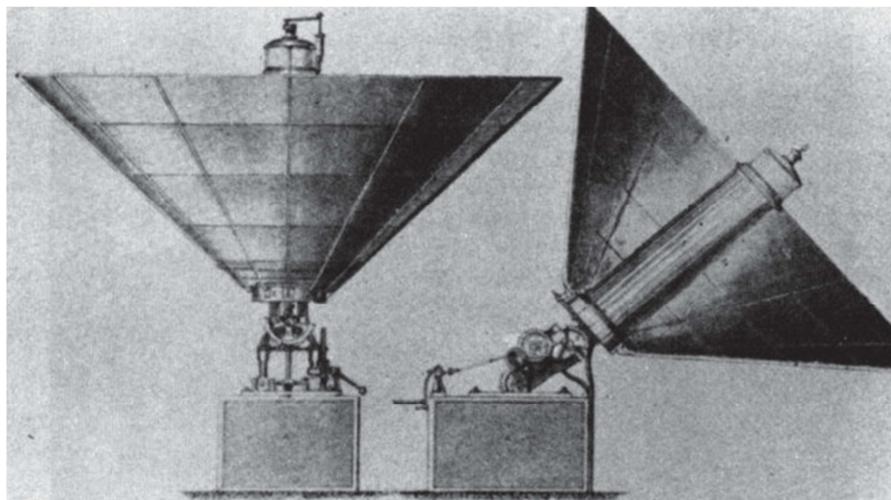


Figura 1.2 Horno de Mouchot. [1.16]

Para referirnos a un aparato construido más recientemente podemos citar el horno solar de Odeillo construido en 1969. Es uno de los dos mayores hornos solares del mundo, con una potencia térmica de 1,000 kW.

Funciona por concentración de los rayos solares mediante espejos reflectantes. Una primera serie de filas de espejos orientables (63 en total) y situados sobre una ligera cuesta, recogen los rayos solares y los transmiten hacia una segunda serie de espejos concentradores que forman la enorme parábola en el edificio principal. Los

rayos convergen a continuación hacia la zona superior del edificio central que los concentra sobre un objetivo, una superficie circular de 40 cm de diámetro, 18 metros delante de la parábola. Usando este método, la temperatura en el objetivo puede alcanzar los 3,400 °C.

Existe una gran variedad de concentradores, pero podemos decir que todos ellos pueden clasificarse en dos categorías básicas:

Los cilíndricos cuya superficie reflectora es la mitad de un cilindro, y los paraboloides que presentan una geometría de paraboloide de revolución. Ambos tipos de concentradores, que utiliza únicamente la energía solar directa, deben orientarse continuamente al Sol de manera precisa mediante un mecanismo apropiado. Por otra parte, el acabado de las superficies que constituyen el sistema óptico no sólo debe ser de buena calidad, sino que debe mantener sus propiedades por largos períodos de tiempo sin ser deterioradas por el polvo, lluvia y medio ambiente. (Ver Figura 1.3)



Figura 1.3 Colector actual de concentración. [1.17]

Los colectores se clasifican de acuerdo a su forma y su radio de concentración, además de las diferentes temperaturas a las que pueden llegar, como se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Clasificación de los concentradores solares. Tabla del libro *Solar Energy Engineering: proceses and systems*. Soteris Kalogirou. 1 edición. British Library. USA, 2009. pp 122

MOVIMIENTO	TIPO DE COLECTOR	TIPO DE ABSORBEDOR	RADIO CONCENTRACIÓN	RANGO DE TEMPERATURA
Estacionario	Colector de placa plana	Plano	1	30°C - 80°C
	Tubo de vacío colector	Plano	1	50°C - 200°C
	Colector Parabólico	Tubular	1 a 5	60°C - 240°C
5 a 15			60°C - 300°C	
Seguimiento de Eje Único	Reflector Lineal Fresnel	Tubular	10 a 40	60°C - 250°C
	Colector de Canal Cilindrico	Tubular	5 a 15	60°C - 300°C
	Colector de Canal Parabólico	Tubular	10 a 85	60°C - 400°C
Seguimiento de Dos ejes.	Colector de Disco Parabólico	Punto	600 a 2000	100°C - 1500°C
	Colector de campo de Heliostatos	Punto	300 a 1500	150°C - 2000°C

### 1.2 Captadores Solares de Baja Temperatura.

Éste tipo de aprovechamiento de la energía solar es el más extendido, por ser el utilizado en el ámbito doméstico, comunitario e industrial para calentamiento de agua, piscinas y apoyo a calefacción.

Se denominan de baja de baja temperatura, porque la temperatura de trabajo de los fluidos dentro del campo de colectores solares, no supera los 100 °C aunque éstos puedan superar los 190 °C fuera de las condiciones normales de trabajo.

El captador solar más utilizado en esta rama es el de celdas solares o mejor conocido como captador de placa plana, (ver Figura 1.4), dado que el funcionamiento de estos tipos es el de solamente captar la radiación solar para después ir elevando la temperatura del fluido que contiene.



Figura 1.4 Captador solar de placa plana. [1.18]

Éstos Captadores se caracterizan por no poseer métodos de concentración, ser más económicos y resultar eficientes para obtener agua caliente sanitaria. Además, nos ofrecen la ventaja de usar una orientación fija, es decir, no tienen ningún sistema de seguimiento hacia el Sol, solamente se colocan a un cierto grado de inclinación para poder absorber y aprovechar tanto la radiación directa como la difusa.

Los captadores de placa plana se componen de cuatro elementos principales: la cubierta transparente (vidrio o similar), la placa captadora (superficie negra que va a absorber la luz solar), el aislante y la carcasa (contenedor de todo lo anterior).

**a) Cubierta transparente:**

Es la encargada de dejar pasar la radiación solar, evitar que el calor emitido por la placa captadora se vaya del sistema y reducir las pérdidas por convección. Estamos logrando el efecto invernadero con una cubierta de vidrio o plástico y de esta forma aumentando la eficiencia del colector.

**b) Placa captadora:**

Tiene por misión absorber de la forma más eficiente posible la radiación solar y transformarla en energía térmica utilizable mediante su transferencia al fluido (agua, aceite, aire, etc.). Existen diferentes modelos, siendo los más usuales:

a) Dos placas metálicas separadas unos milímetros entre las cuales circula el fluido.

b) Placa metálica sobre la cual están soldados o embutidos los tubos por los que circula el fluido calor. En lugar de una placa metálica se puede dotar de unas aletas de aluminio a los tubos de cobre.

c) Dos láminas de metal unidas a gran presión excepto en los lugares que forman el circuito del fluido.

d) Placas de plásticos, usadas exclusivamente en climatización de piscinas.

**c) Aislamiento:**

La placa captadora está protegida en su parte posterior y lateral por un aislamiento que evita las pérdidas térmicas hacia el exterior.

◆ Las características de estos aislantes son las de resistir altas temperaturas sin deteriorarse, lo que muchas veces se consigue colocando entre la placa y el aislante, una capa reflectante, que impida que el aislante reciba directamente la radiación.

◆ Desprender pocos vapores al descomponerse por el calor y en caso de ocurrir que no se adhieran a la cubierta.

◆ No degradarse por el envejecimiento u otro fenómeno a la temperatura habitual de trabajo.

◆ Soportar la humedad que se pueda producir en el interior de los paneles sin perder sus cualidades.

Los materiales más usados son lana de vidrio, espuma rígida de poliuretano y poliestireno expandido.

**d) Carcasa:**

Es la encargada de proteger y soportar los elementos que constituyen el colector solar, además de servir de enlace con el edificio por medio de los soportes.

◆ Rigidez y resistencia estructural que asegure la estabilidad.

◆ Resistencia de los elementos de fijación: mecánica para los esfuerzos a transmitir, y química para soportar la corrosión.

◆ Resistencia a la intemperie, a los efectos corrosivos de la atmósfera y a la inestabilidad química debido a las inclemencias del tiempo.

◆ Ventilación del interior del captador para evitar que allí se condense el agua

- ◆ Evitar toda geometría que permita la acumulación de agua hielo o nieve en el exterior del colector.

En la siguiente se pueden apreciar cada uno de los elementos de un captador solar de placa plana. (Figura 1.5).

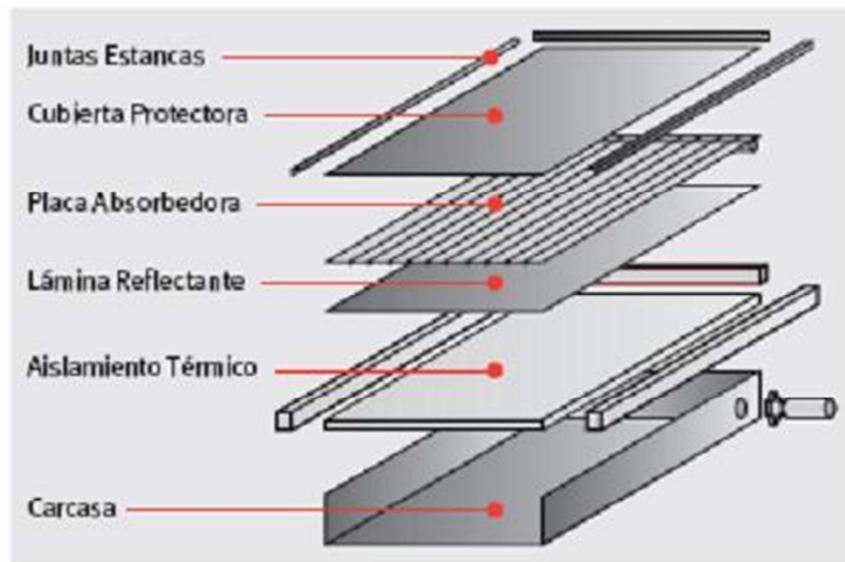


Figura 1.5 Componentes de un captador solar de placa plana [1.11]

El funcionamiento de estos captadores se fundamenta en el efecto invernadero. Hay materiales transparentes a las radiaciones visibles e infrarrojos de pequeña longitud de onda, pero opacos a los rayos infrarrojos de mayor longitud de onda como el vidrio y el plástico. Cuando los rayos luminosos penetran en un recinto cubierto por estos materiales, calientan o mejor dicho elevan la temperatura de dicho recinto, la cual a su vez emiten radiaciones, que al ser de mayor longitud de onda se reflejan sin poder escapar al exterior, dando como resultado una progresiva elevación de la temperatura, hasta llegar al equilibrio térmico entre el recinto y el ambiente.

El rendimiento o eficiencia de un captador plano varía con la intensidad de la radiación, con la velocidad del viento, con la inclinación respecto a la horizontal, con la diferencia de temperatura entre la cubierta y el absorbedor, pero en general varía de entre 30% y 65%.

### 1.3 Concentradores Solares de Media Temperatura.

En éste tipo de sistemas, se usan reflectores parabólicos en una configuración de canal para enfocar la radiación solar directa sobre un tubo largo que corre a través de su foco y que conduce al fluido de trabajo, el cual puede alcanzar temperaturas hasta de 400 °C.

Su aplicación principal es la generación de electricidad, éste tipo de sistemas consisten en grandes plantas que contienen una gran extensión de espejos parabólicos que concentran la radiación solar sobre conducciones por las que circula aceite como medio de transferencia de calor, el calor absorbido por el aceite se intercambia posteriormente con agua donde se lleva a cabo la generación de vapor, el cual, a su vez se expande para completar un ciclo en el que éste acciona grandes turbinas que generan electricidad. Durante los periodos de baja insolación, o bien para nivelar la oferta, se asisten con gas natural.

Están formados por espejos cóncavos curvados en forma de canal que concentran su radiación sobre una tubería que transporta al fluido [ver figura 1.6] la cual alcanza altas temperaturas.



Figura 1.6 Colector solar de canal parabólico. [1.19]

Son los que ofrecen posibilidades más interesantes a corto plazo, utilizándose de cara a servicios de tipo domésticos, tales como la producción de agua caliente sanitaria, calefacción, climatización de piscinas, invernaderos, secaderos, etc.

#### 1.4 Concentradores Solares de Alta Temperatura.

Se denominan así a los sistemas de concentración solar que están destinados en su mayoría para la investigación y en su minoría para el uso doméstico. Se clasifican en hornos solares y concentradores cilíndricos parabólicos.

◆ Hornos Solares.

Los hornos solares se constituyen de un sistema óptico compuesto por un helióstato con seguimiento automático del Sol que refleja la radiación solar a un espejo concentrador. El espejo concentrador puede ser un espejo paraboloide o un grupo de espejos esféricos. Debido a que la zona focal del espejo concentrador está fija, es sencillo instalar aparatos experimentales o de aplicación. El nivel de potencia del horno es ajustado usando un atenuador, que trabaja como una persiana, y está localizado ente el helióstato y el concentrador. (Ver figura 1.7)

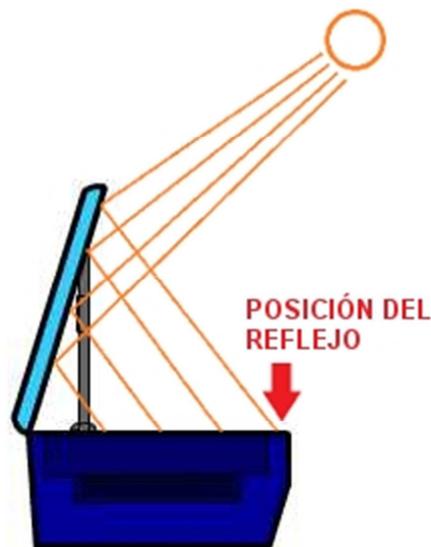


Figura 1.7 Funcionamiento de un Horno Solar. [1.19]

Los hornos solares son reflectores parabólicos o lentes construidos con precisión para enfocar la radiación solar en superficies pequeñas y de este modo poder tener un nivel alto de temperatura. El límite de temperatura que puede obtener con un horno solar está determinado por el segundo principio de la termodinámica, como la temperatura de la superficie del Sol, esto es 600 °C, y la consideración de las propiedades ópticas de un sistema de horno limita la temperatura máxima disponible. Se han usado hornos solares para estudios experimentales hasta 3,500 °C y se han publicado temperaturas superiores a 4,000 °C. Las muestras pueden calentarse en atmósferas controladas y en ausencia de campos eléctricos o de otro tipo si así se desea. En la siguiente figura se puede apreciar un ejemplo de un horno solar. (Ver Figura 1.8)



Figura 1.8. Horno solar de tipo horizontal. [2.10]

Los hornos solares constan de una superficie reflectora, la cual recibe los rayos solares y lo refleja sobre un área específica de menor área que la superficie reflectora por lo que incrementa su densidad o intensidad de radiación. En todos los casos la concentración de los rayos esta directamente relacionada con la geometría de la superficie reflectora y de la ubicación que tengan con respecto al Sol.

Los hornos solares se clasifican en dos categorías, en los hornos solares verticales, su funcionamiento consiste en un espejo plano, también llamado helióstato, el cual refleja los rayos solares de forma vertical y paralelos, en dirección a un disco parabólico.

Los hornos solares horizontales reflejan los rayos del sol de manera horizontal y paralelos en el helióstato, el cual es el espejo captador plano y los refleja sobre el disco parabólico, el cual los vuelve a reflejar concentrándolos en su foco (área de ensayos). La cantidad de luz incidente se regula mediante el atenuador situado entre el concentrador y el helióstato.

Una de las principales ventajas de los hornos de eje horizontal es que son los más extendidos, sobre todo para tamaños mayores, y los hornos de eje vertical tienen la ventaja de que en ellos se pueden llevar a cabo experimentos.

◆ Concentrador Solar Cilíndrico Parabólico.

El principio de los concentradores parabólicos es concentrar mediante procedimientos ópticos la energía que irradia el sol antes de su transformación en calor. Así, una radiación solar que entra a un concentrador a través de una superficie determinada es reflejada, o absorbida por una superficie menor, para luego ser transformada en energía térmica.

La ventaja importante de este tipo de concentrador es que ante todo la reducción de las pérdidas térmicas en el receptor, pues al ser éste de menor superficie habrá menos área para la radiación del calor y por lo tanto el líquido que circula por el receptor puede calentarse a mayores temperaturas con un rendimiento razonable. (Ver Figura 1.9)

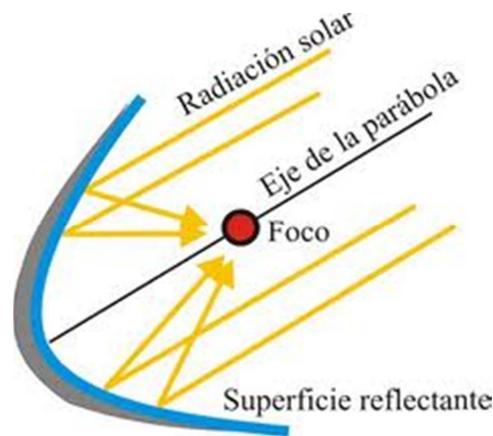


Figura 1.9 Funcionamiento del concentrador solar parabólico. [1.12]

Los concentradores solares cilíndricos tienen una concentración con foco lineal, que permite alcanzar temperaturas mayores a  $400^{\circ}\text{C}$  con una buena eficiencia (60%-70%). La concentración óptica de la radiación solar hace que la superficie del tubo del absorbedor sea mucho menor que el área de abertura de colector, lo que reduce significativamente las pérdidas térmicas de éste, ya que las pérdidas térmicas son función no solo de la temperatura media de trabajo, sino también de la superficie del absorbedor, que es el componente de mayor temperatura del concentrador; ya que esta concentración óptica, provoca que solamente la radiación solar directa sea aprovechable por el colector y exige que el colector se mueva a lo largo del día conforme el Sol describe su trayectoria diaria.

Desde un principio, los colectores cilindro-parabólico (CCP) fueron pensados para aplicaciones que demandan energía térmica a unos niveles superiores a los  $300^{\circ}\text{C}$ , que suelen ser procesos industriales. Puesto que la potencia térmica demandada por cualquier proceso es el orden de los cientos de KW o incluso los MW, los CCP han sido tradicionalmente diseñados para ser instalados en grandes campos solares, varios

órdenes de magnitud mayores a los tradicionales sistemas domésticos de producción de agua caliente. Además, por razones de economía, las dimensiones de un CCP son notablemente mayores que las de un captador solar plano. Debido a la necesidad de poseer un sistema de seguimiento solar y a las características técnicas y constructivas inherentes a este tipo de captador solar, se consigue una reducción notable del costeo específico por metro cuadrado de captación cuando se incrementa el tamaño del CCP, dentro de unos límites lógicos.

El concentrador de alta temperatura alcanza temperaturas mayores a 500 °C. La siguiente evolución en los concentradores consiste en añadir otra cubierta entre la anterior y el convertidor y hacer vacío entre las dos. Así se consigue un mayor aislamiento de entre el exterior y el interior y que se alcancen temperaturas aún mayores.

A continuación se describen los componentes más importantes en el Concentrador Cilíndrico Parabólico:

#### Receptor Solar.

En caso del colector de líquido el convertidor se compone de una placa absorbente y conductos de fluido térmico. En el caso del concentrador de aire el convertidor es la placa absorbente, ésta intercepta la radiación solar que deja pasar la cubierta y la transforma en calor. En los concentradores sin cubierta la radiación alcanza directamente, a través del aire contenido en el conducto, la placa absorbente. En estos casos el convertidor está constituido por una placa plana en la que se han insertado una red de conductos por las que circula el fluido térmico. Al chocar la radiación con la placa se transforma en calor. Este calor se transfiere después al fluido térmico que circula por los conductos. Los materiales más usados para construir la placa y sus conductos son el cobre y el acero inoxidable.

Si el fluido circula por una única tubería que lo distribuye por toda la placa se denomina en serie (como un serpiente). Si existen dos conductos, uno de entrada y otro de salida que se conectan con unos cuantos tubos que circulan por la placa, se denomina en paralelo.

La radiación interceptada por la cubierta se transmite y alcanza la placa absorbente del convertidor, transformándose en calor. Como es sabido, el cuerpo que absorbe más radiación es el cuerpo negro. Por lo tanto es conveniente que la cubierta tienda a comportarse como un cuerpo negro para así aumentar su capacidad de absorción de la radiación. Debido a que la placa del convertidor alcanza temperaturas ligeramente altas, se convierte en

emisora de radiación que es energía perdida. Para minimizar estas pérdidas y para aumentar la absorción de radiación, se usan los denominados recubrimientos selectivos que suelen estar formados por una capa delgada de óxido metálico, de color negro, con baja emisividad de radiación térmica y gran coeficiente de absorción.

#### Circuito de fluido térmico

El fluido circulante ha de estar directamente en contacto con el absorbedor, de forma que la transferencia de calor desde la placa al fluido se realice en las mejores condiciones. El circuito que sigue el calor hasta llegar al fluido térmico debe ser lo más corto posible y debe encontrar la menor resistencia posible. La radiación se convierte en calor al ser interceptada por la superficie captadora y la temperatura del convertidor aumenta hasta hacerse mayor que la temperatura del fluido. El calor se propaga siguiendo el gradiente de temperaturas: primero a través de la placa del convertidor hasta alcanzar la zona de unión entre la placa y la tubería que conduce al fluido. La unión entre la tubería y la placa debe tener continuidad metálica (normalmente por soldadura), si no la transferencia de calor puede verse perjudicada y podría ser con convección en vez de conducción ya que se genera una resistencia térmica mayor y se dificulta la transferencia de calor desde la placa al tubo.

#### Aislamiento térmico

Al encontrarse el convertidor a una temperatura superior a la del ambiente, se transfiere de forma espontánea calor a la atmósfera. La emisión de calor por la cara que recibe la radiación es mitigada por el efecto invernadero. Para reducir la emisión de calor por la cara posterior se instala una lámina de aislamiento térmico, desde 4 y hasta 5 cm de espesor, entre la cara posterior y la caja. El aislamiento cumple la función de disminuir las pérdidas de calor desde el convertidor hasta el ambiente que lo rodea.

La capacidad para impedir que el calor se fugue depende de las propiedades físicas del aislante. Las principales son: conductividad térmica, densidad aparente, comportamiento ante la humedad, estabilidad térmica, etc. Un aislante muy utilizado es la fibra de vidrio, que resiste bien las altas temperaturas y es económico, pero no resiste bien la humedad.

#### Caja

La caja aloja el conjunto de componentes que constituyen el colector. Su función principal es asegurar la estabilidad de todo el conjunto ya que si no podría originar pérdidas por fugas de calor y también impedir que entre

humedad si hay componentes que se dañen con ella. Además se evita el contacto con contaminantes que puedan corroer al entrar en contacto con el convertidor. Si hay humedad dentro, puede empañar los cristales haciendo disminuir la transmitancia de los cristales y reduciendo el flujo de radiación disminuyendo con ello el rendimiento del colector.

La caja tiene que aguantar las condiciones corrosivas a las que es sometido por parte de la atmósfera. Ha de ser duradera y soportar el paso del tiempo con el mínimo deterioro posible.

### Cubierta

La cubierta del concentrador es transparente y cumple una doble misión. La primera, atenuar las pérdidas de calor del convertidor impidiendo, en lo posible, el paso de la radiación que éste emite; la segunda, evitar que el aire exterior esté en contacto con el convertidor y provoque pérdidas por convección. Ésta característica solo la poseen los concentradores de media y alta temperatura.

La atenuación de las pérdidas de calor por radiación desde la superficie del absorbedor puede lograrse aprovechando el “efecto invernadero”. Este efecto se consigue al crearse dos ambientes: uno interior, cerrado por la superficie transparente de vidrio, también puede utilizarse el plástico, y otro exterior. La radiación solar que llega del exterior se transmite a través de la superficie transparente y se propaga hasta el recinto interior, donde es interceptada en la superficie del convertidor. Al chocar la radiación se transforma en calor y la placa eleva su temperatura. Al aumentar su temperatura la placa absorbente emite radiación en una longitud de onda mayor, con menor energía, y está radiación interior no se transmite al exterior a través de la cubierta transparente. En consecuencia queda atrapada entre la placa y la cubierta, efecto pretendido que facilita la transmisión de la radiación solar pero no permite la transmisión de la radiación de origen térmico desde la placa hacia el exterior.

Las cubiertas pueden ser de vidrio o de plástico aunque este último material tiene el inconveniente de perder sus propiedades ante los rayos ultravioleta y de ser blando que permite su fácil rayado. Las ventajas son que es más barato y ligero. La distancia aconsejable entre el absorbedor y la cubierta es de 25-40 mm. El problema del vidrio es su fragilidad pero las cubiertas actuales son de vidrio templado que solventan en parte este problema.

Se consigue disminuir las pérdidas por radiación que emite la cubierta por estar a una temperatura mayor que el ambiente. Son más recomendables para emplazamientos en climas fríos, sometidos a vientos intensos y frecuentes, pero no para climas templados.

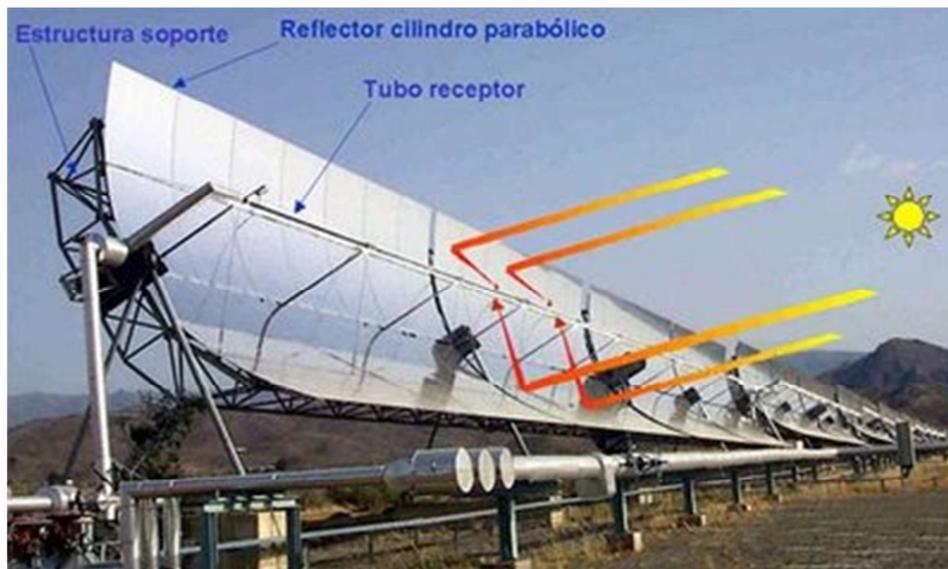


Figura 1.10 Principio de funcionamiento y componentes de un CCP. [1.13]

Un concentrador solar cilindro parabólico, conocido mediante las siglas CCP, esta compuesto básicamente por un espejo cilíndrico parabólico que refleja la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo absorbedor colocado en la línea focal de la parábola. Esta radiación concentrada sobre el absorbedor hace que el fluido que circula por el interior del tubo caliente, obteniendo de esta forma energía térmica a partir de la radiación solar.

No obstante, debido al interés creciente que esta despertando, la instalación de sistemas solares de climatización y la de pequeños campos solares para abastecer energicamente pequeñas industrias en zonas con una buena exposición solar, hay empresas que están comercializando modelos de CCP de tamaño, de características adecuadas, para pequeñas instalaciones en viviendas plurifamiliares o edificios de oficina, así como para alimentar procesos industriales con consumos térmicos moderados de rango de los 250 °C a 400 °C. Por ejemplo una compañía americana ha diseñado un sistema solar con CCP's de un tamaño pequeño para instalarlo en terrazas y azoteas.

### 1.5 Descripción de las Instalaciones Solares

Las centrales solares son instalaciones destinadas a aprovechar la radiación del Sol para generar energía eléctrica. De manera general, puede decirse que las principales aplicaciones de los sistemas de aprovechamiento solar de baja y media temperatura se dan en el ámbito doméstico o industrial; son los sistemas basados en alta temperatura los que de manera específica, se utilizan para la producción de electricidad.

El aprovechamiento de la energía solar se puede dar de dos formas la vía térmica y la vía fotovoltaica siendo la más utilizada la térmica por las diversas aplicaciones que presenta, ya que convierte la energía procedente del Sol en calor, en cambio la fotovoltaica la transforma en energía eléctrica.

En los sistemas solares basados en la vía térmica se distinguen tres diferentes modalidades las cuales son: de baja, media y alta temperatura. Los primeros funcionan a partir de captadores que transmiten la radiación en forma de calor hasta un fluido que circula por conducto y alimenta sistemas de calefacción, climatización, entre otros; los cuales aprovechan la energía solar para generar temperaturas de entre 35 °C y 100 °C.

Las principales instalaciones de media temperatura empleadas, generalmente, para producir vapor utilizado en aplicaciones industriales, son las de concentradores distribuidos, los cuales constan de un conjunto de concentradores normalmente de forma cilíndrico-parabólica, esto es para favorecer una eficaz absorción de la radiación solar, que, tras captar la energía solar la transmiten a un fluido en forma de calor. El fluido se calienta y transporta la energía calorífica a través de un circuito primario hasta una caldera, de donde se transfiere otro fluido que transita por el circuito secundario, este segundo fluido, normalmente agua, pasa al estado de vapor a alta temperatura, y es enviado al grupo turbina-alternador donde generará energía eléctrica en virtud de un ciclo termodinámico convencional, o bien será empleado para alimentar procesos industriales.

Las Centrales Solares se suelen construir en grandes zonas de terreno, donde no hay nada alrededor, este tipo de instalaciones disponen, además, de un elemento que permite almacenar la energía calorífica para afrontar los cambios de radiación. En este proceso, el fluido del circuito secundario envía previamente su calor al sistema de almacenamiento antes de llegar al grupo turbina-alternador. La modalidad de media temperatura aprovecha la energía solar a temperaturas de entre 100 °C y 300 °C. Por su parte, los sistemas de alta temperatura pueden ser aprovechados para proveer energía eléctrica.

Existen cuatro configuraciones diferentes de los sistemas solares de concentración: Los sistemas lineales (tales como los concentradores cilindro-parabólicos y los concentradores Fresnel) y los sistemas puntuales como son las torres solares y los discos parabólicos, también conocidos como Discos-Stirling. Todos ellos tienen que orientarse hacia el sol para poder concentrar la radiación directa. A continuación se describirán brevemente los tipos de centrales basadas en estos sistemas.

#### a) Centrales solares de torre central

El tipo de planta más común es la denominada central de receptor central, integrada por una gran superficie cubierta de grandes espejos que reflejan la radiación del Sol, concentrándola en un pequeño punto, éstos son los denominados heliostatos. Provistos de mecanismos específicos conectados a un ordenador central estos espejos direccionales se van moviendo según dos ejes de giro, de manera que en todo momento, se encuentran en la posición idónea para recibir la máxima intensidad de la radiación solar y para concentrarla de modo eficaz en el receptor central. Generalmente, el punto receptor se dispone sobre una caldera situada de una torre de gran altura; en este caso se trata de centrales solares de tipos central como se aprecia en la figura 1.11.

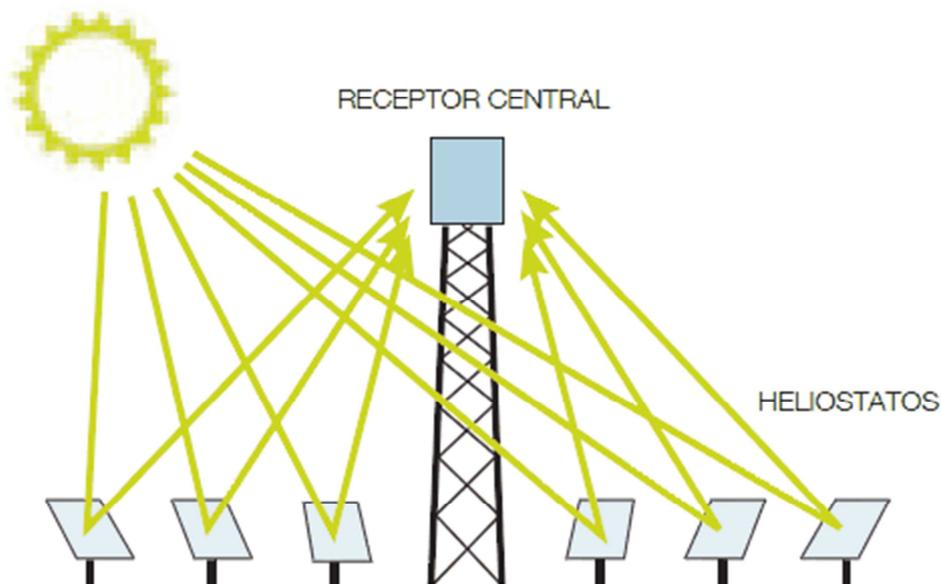


Figura 1.11 Funcionamiento de una Torre Central. [1.14]

En la figura 1.12 se puede observar la Torre Principal de una central solar de este tipo.



Figura 1.12 Torre Principal de una Central Solar. [1.18]

### b) Centrales solares con discos parabólicos.

En este tipo de instalaciones, las superficies reflectantes adoptan la forma geométrica de un paraboloide de revolución. En el foco de la parábola, donde se localiza el receptor, se concentra la energía solar captada (Figura 1.13). El receptor opera como un intercambiador de calor, a través del cual circula el fluido portador de calor. El máximo aprovechamiento de la energía solar se logra gracias a que los discos poseen un sistema de seguimiento de la trayectoria solar según dos ejes. Cada uno de los discos parabólicos puede actuar como unidad independiente o bien integrar un conjunto, originando un sistema de mayor potencia.

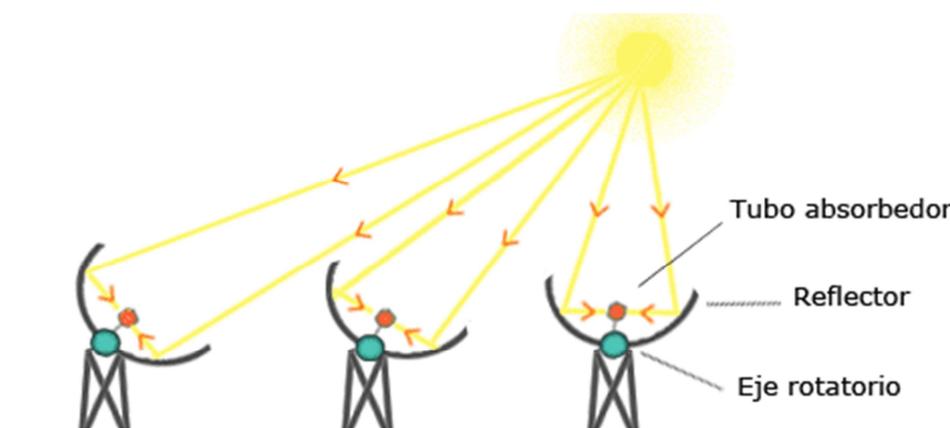


Figura 1.13 Funcionamiento de un Disco Cilindro Parabólico. [1.19]

El campo solar de una central de cilindros parabólicos contiene un gran número de colectores en filas paralelas, compuestos por espejos parabólicos que absorben la luz

solar en un tubo receptor que pasa por el foco de la parábola (que es una línea) y que generan temperaturas de aproximadamente de 400 °C.

Este tipo de tecnología es la más eficiente a la hora de transformar la energía solar en electricidad de todas las existentes. Cada sistema puede llegar a producir, dependiendo del diámetro del disco, hasta 25 KW en los sistemas más avanzados. En algunas plataformas solares hay discos que tienen 8.5 metros de diámetro y producen 10 KW cada uno.

Este tipo de sistema también recibe el nombre de central solar tipo disco Stirling, el cambio de nombre se da debido a la aplicación a la cual es sometida, ya que trabaja por medio de un motor Stirling. Ver figura 1.14.



Figura 1.14 Funcionamiento de un disco Stirling. [1.19]

### c) Central Solar de colectores tipo Fresnel.

Su funcionamiento se basa en un lecho de espejos planos ligeramente curvados, los cuales concentran los rayos solares en un tubo receptor fijo localizado a varios metros de altura, donde directamente se calienta y evapora agua que circula a través de éste. (Figura 1.15).



Figura 1.15 Funcionamiento de los colectores Fresnel. [1.18]

Los colectores Fresnel son espejos planos ligeramente curvados que sirven para la captación de los rayos solares y la concentración de la radiación solar en un tubo receptor fijo situado a varios metros de altura de los espejos, ahí se calienta y se evapora el agua para luego ser convertida en energía eléctrica.

La ventaja de los colectores Fresnel respecto al cilindro parabólico es que su instalación es más barata, sin embargo, su eficiencia es menor.

Una de las desventajas de la torre central de disco parabólico es el gran espacio que ocupa para su instalación, pero es la más eficiente en cuanto a la concentración de radiación solar.

### 1.6 Componentes de una Plataforma o Instalación Solar.

Los principales Componentes de una Instalación Solar son:

1. - **Heliostatos:** Son varios espejos orientados, en los que se refleja la luz del Sol, haciendo que converjan en la caldera.
2. - **Caldera:** Es la parte de la central solar en la que convergen los rayos solares reflejados por los heliostatos, alcanzando una gran temperatura. Al alcanzar esa gran temperatura, calienta el agua que pasa por ella y la transforma en vapor.
3. - **Turbina:** El vapor generado en la caldera mueve la turbina, la cual está unida al generador para que éste reciba su movimiento.

4.- **Generador o alternador:** Es el encargado de generar energía eléctrica; gracias al movimiento rotatorio de la turbina, el generador transforma ese movimiento en energía eléctrica mediante inducción.

5. - **Acumulador:** Almacena la energía calorífica que no ha sido utilizada, ejemplo de los clásicos termos de agua caliente, para su posterior empleo en ausencia de radiación solar.

6. - **Transformador:** Se encarga de transformar la energía eléctrica generada en el alternador para hacerla llegar a la red eléctrica.

7. - **Condensador:** Es donde se convierte el vapor (proveniente de la turbina) en agua líquida. Ello es debido a que en el interior del condensador existe un circuito de enfriamiento encargado de enfriar el vapor, transformándose en agua líquida.

8. - **Bomba:** Es la encargada de impulsar el agua de nuevo hasta la caldera.

9. - **Centro de control:** Es donde se controla todo el proceso de transformación de la energía solar en energía eléctrica.

### 1.7 Clasificación de las Instalaciones Solares.

Existe una amplia clasificación de las Centrales Solares, siendo la más general la siguiente clasificación:

- a) Principio de Circulación.
- b) Sistemas de Intercambio.
- c) Por la Solución de Integración con el Sistema de Energía Auxiliar.
- d) Por su Aplicación.

A continuación se dará una breve descripción de cada una de las clasificaciones.

#### **a) Principio de Circulación.**

Se refiere al mecanismo mediante el cual se produce el movimiento del fluido caloportador que circula por el circuito de la Central Solar.

A su vez esta clasificación se subdivide en dos, las cuales son por circulación natural y circulación forzada.

La circulación natural, llamada también por termosifón, el fluido involucrado circula por convección libre; mientras que en la circulación forzada se instalan

dispositivos auxiliares para la circulación del fluido, como pueden ser bombas y esto da origen a la circulación forzada.

**b) Sistemas de Intercambio.**

Se refiere a la forma de transferir al circuito la energía proveniente de los diferentes componentes involucrados en la Plataforma Solar.

Esta transferencia se puede realizar de forma directa siendo el fluido de trabajo del colector el agua de consumo, a esto se le llama sistema directo, en el cual se mantiene el fluido de trabajo de los colectores en un circuito independiente sin posibilidad de ser distribuidos.

En los sistemas indirectos, la utilización de un intercambiador introduce una pérdida de rendimiento adicional en el proceso de transferencia de calor al depósito de acumulación que puede minimizarse con las dimensiones adecuadas para dicho sistema.

Cuando se utiliza un sistema directo, es fundamental asegurarse del uso de materiales compatibles entre sí y con el fluido del consumo.

Una de las grandes desventajas de este tipo de centrales solares son los daños que se producen en los colectores por corrosión y también aumenta la presencia de residuos que afectan el correcto funcionamiento los cuales hacen que poco a poco se vaya perdiendo rendimiento del sistema.

**c) Por la Solución de Integración con el Sistema de Energía Auxiliar.**

La creciente presencia de la Energía Solar Térmica en el sector residencial ha provocado la adquisición de nuevos sistemas que en la actualidad no eran muy comunes. Estos reciben el nombre de una serie de sistemas integrales de producción de agua caliente sanitaria en los que partición de la concentración solar alimentan con agua caliente o precalentada un calentador de gas.

Las grandes ventajas que presenta este tipo de central solar no se requiere de ningún espacio extra ni para la acumulación solar ni para los diferentes componentes que se tienen, además de que la distribución del agua caliente se da de manera uniforme.

Entre los inconvenientes principales que se presentan en el sistema se encuentran la dificultad para el control preciso de la instalación, todo esto desde el punto de vista de la alimentación de la instalación solar.

**d) Por su Aplicación.**

Para esta clasificación solo vamos a tomar en cuenta el para qué vamos a utilizar el fluido, por lo general el objetivo de todas estas clasificaciones es el de calentar agua, y como ya se ha mencionado, solo nos va a interesar el para que se ocupará el agua.

Estas funciones son:

◆ *Producción de agua caliente sanitaria.*

La temperatura necesaria para el agua varía desde los 40°C hasta los 50°C. Esto implica que los concentradores mas adecuados son los de placa plana, ya que, además de captar la radiación solar, también la difunde, y esto le da la gran ventaja de poder trabajar en los días nublados y no solamente en los soleados.

Todo esto depende del uso y el cuidado que los usuarios le den al agua, ya que si la desperdician y no la racionan bien, estos valores se alterarían y ya no se darían las cifras esperadas.

◆ *Calentamiento de piscinas.*

Por lo general este tipo de instalaciones son mixtas, es decir, dedicadas a la producción de agua caliente sanitaria y el calentamiento del agua que esta contenida en la piscina.

Las instalaciones solares para la preparación del agua caliente sanitario y de calentamiento de piscinas proporcionan un considerable ahorro de combustible. Los requerimientos de temperatura van desde los 22°C y hasta los 30°C, dependiendo de la aplicación de la piscina, es decir si es para niños o para competencias o para vacacionar.

## **CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES SOLARES EN EL MUNDO PARA SU INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.**

En este capítulo se abordarán todos los conceptos y equipos involucrados en una instalación solar. A continuación se dará una breve reseña de las instalaciones solares experimentales en el mundo.

Para un funcionamiento rentable, las centrales solares térmicas necesitan un alto porcentaje de radiación directa, por ello se instalan normalmente en zonas de alta radiación solar (por ejemplo el sur de Europa, el norte de África o el suroeste de los Estados Unidos).

Las centrales solares que se encuentran en el mundo tienen aplicaciones diferentes dado que en algunos lugares, que son en su mayoría, se utilizan para poder producir otro tipo de energías gracias a la Energía Solar, pero en cambio otras solamente se aplican para aplicaciones meramente académicas y para investigaciones científicas.

Para el desarrollo de este trabajo solamente nos enfocaremos en las centrales solares que se usan para fines experimentales, es decir, laboratorios de investigación para la Energía Solar. Las cuales se muestran en la figura 2.1.

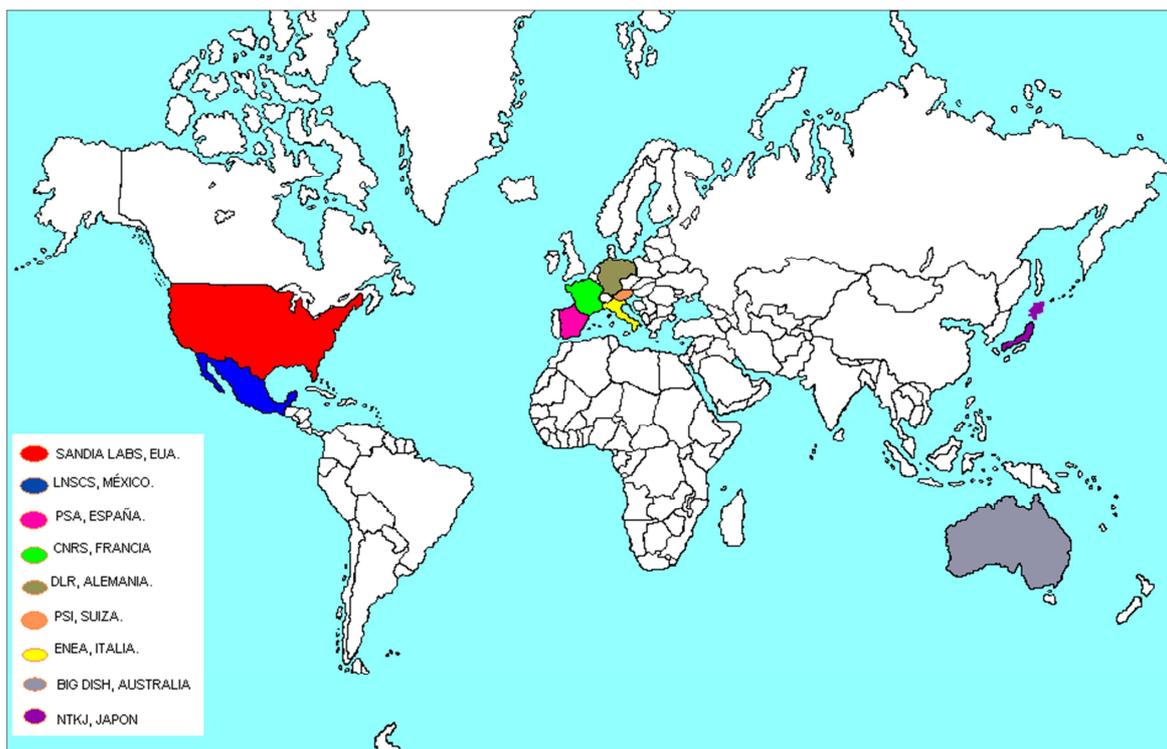


Figura 2.1 Principales centrales solares experimentales en el mundo.

A continuación se dará una breve explicación de las diferentes Centrales Solares existentes en el mundo.

### 2.1 Instalaciones Solares en España.

La energía solar en España, tanto fotovoltaica como termosolar, se encuentra en una fase avanzada de investigación, desarrollo, instalación y aprovechamiento. España es uno de los países de Europa con mayor cantidad de horas de Sol, a lo que se unen los compromisos europeos y mundiales en instalación de energías renovables así como la conveniencia estratégica de disminuir la gran dependencia energética exterior y aumentar la autonomía energética. Todo ello contribuye a que España sea uno de los primeros países a nivel mundial en investigación, desarrollo y aprovechamiento de la energía solar.

#### **a) Plataforma solar de Almería.**

La Plataforma Solar de Almería (PSA), también conocida como la Plataforma Solar de Tabernas, es parte del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas es un centro de investigación, desarrollo y prueba de tecnologías de concentración de energía solar. ISFOC en Puertollano es un instituto de desarrollo para concentradores fotovoltaicos (CPV) y evalúa los mismos para optimizar la producción a gran escala y determinar el coste de la misma. [1]

Dicha instalación cuenta con una amplia gama de diferentes sistemas de concentración de energía solar y abarca una extensa cartera de proyectos en las áreas de:

- ◆ Aplicaciones de baja temperatura en la edificación.
- ◆ Producción de electricidad con tres tecnologías: torre central, colectores cilindro–parabólicos y discos parabólicos.
- ◆ Aplicaciones de Química Solar.
- ◆ Tratamiento de materiales.

Localizada en el término municipal de Tabernas, a 40 Km de Almería, la Plataforma Solar está compuesta por las siguientes instalaciones, las cuales se pueden apreciar en la figura 2.6.

- ◆ Una central solar de torre (CESA–1) con una potencia de 7 MW térmicos, un receptor de vapor a 500 °C y una presión 100 bares que produce a través de un grupo turbo-generador 1.2 MW. Tiene también un sistema de almacenamiento térmico formado por dos tanques de sales fundidas con capacidad de 12 MW de energía. La torre, de 80 m de altura, está dotada de un lazo de alta temperatura con un receptor cerámico que produce aire a 1,000 °C y una presión de 10 bares.
- ◆ Un sistema de torre central (CRS) con 4 MW de capacidad con un sistema flexible de control que permite realizar ensayos.
- ◆ Un sistema de concentradores distribuidos (DCS) subdividido en 2 campos de concentradores cilindro-parabólicos con seguimiento en dos ejes y un campo de concentradores con seguimiento en un eje que producen vapor de proceso para producción de electricidad en otras aplicaciones industriales.
- ◆ Un horno solar de alta concentración para trabajos metalúrgicos, químicos o de desarrollo de materiales.
- ◆ Una planta de desalinización solar acoplada al campo de concentradores DCS.
- ◆ Tres discos parabólicos (DISTAL I) de membrana tensada, con seguimiento solar individual mediante montura polar.

*[1] Información tomada de la página oficial de la Plataforma Solar de Almería.*

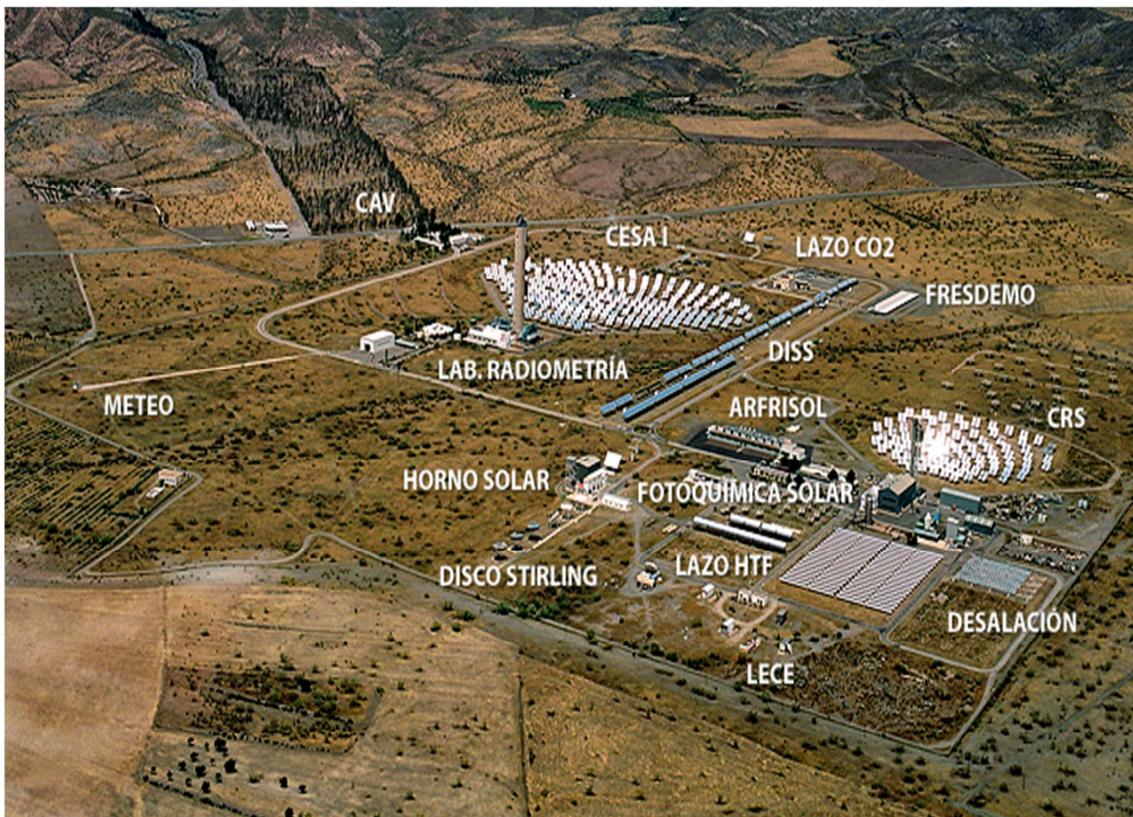


Figura 2.2 Vista de la Plataforma Solar de Almería. [2.14]

En la actualidad CESA-I sólo se utiliza como una instalación de ensayo de componentes y subsistemas como heliostatos, receptores solares, sistemas de almacenamiento térmico, turbinas de gas, sistemas de control e instrumentación para la medida de altos flujos de radiación solar concentrada.



Figura 2.3 Instalación del Proyecto CESA. [2.14]

La instalación capta la radiación solar directa por medio de un campo de 300 helióstatos, de  $39.6 \text{ m}^2$  de superficie cada uno, distribuidos en un campo norte de 16 filas con una extensión de  $330 \times 250 \text{ m}$ . Los helióstatos tienen una reflectividad nominal promedio del 90%, el error de seguimiento solar en cada eje es de 1.2 rad y la calidad de imagen en rayo reflejado de 3 rad. La instalación CESA-I cuenta con la experiencia más extensa en helióstatos tipo vidrio-metal que hay en el mundo, disponiendo en su campo de unidades de primera generación fabricadas por SENER y CASA, así como unidades con facetas reflectantes de segunda generación de la empresa ASINEL y facetas y prototipos de tercera generación desarrollados por CIEMAT en colaboración con la empresa SOLUCAR. A pesar de sus más de 20 años de antigüedad, el campo de helióstatos se encuentra en un estado óptimo de funcionamiento al haberse mantenido con carácter estratégico un programa continuado de reposición de espejos y facetas y de reparación de componentes en los mecanismos de accionamiento. Al Norte del campo de helióstatos se ubican dos áreas adicionales que son utilizadas como plataforma de pruebas de nuevos prototipos de helióstatos, una situada a 380 m de la torre y la otra a 500 m de distancia. La máxima potencia térmica que proporciona el campo sobre la apertura del receptor es de 7 MW, a una irradiancia típica de diseño de  $950 \text{ W/m}^2$  se obtiene un flujo pico de  $3,3 \text{ MW/m}^2$ . El 99% de la potencia se recoge en un círculo con diámetro de 4 m y el 90% de la misma en un círculo de 2.8 m.

La torre es de hormigón y tiene una altura de 80 m, siendo capaz de soportar una carga de 100 toneladas (Figura 2.3). A lo largo de la torre hay tres niveles de ensayo:

- ◆ Una cavidad adaptada para su uso como horno solar y ensayo de materiales, situada a 45 m de altura, que ha sido utilizada con gran éxito en la reproducción de la rampa de calentamiento, durante su reentrada en la atmósfera, de las piezas del escudo cerámico de los transbordadores espaciales y también en el tratamiento superficial de aceros y otros compuestos metálicos.
- ◆ Una cavidad con un banco calorimétrico de ensayo de receptores volumétricos presurizados a 60 m.
- ◆ Una instalación de ensayo de receptores volumétricos atmosféricos en la parte superior de la torre, a la cota de 80 m.

La torre se completa con una grúa en la parte superior con 5 toneladas de capacidad y un elevador montacargas con capacidad para 1,000 kg.



Figura 2.4 Vista de la Torre del CESA-1 reflejada en un heliostato. [2.14]

La planta SSPS-CRS fue inaugurada como parte del proyecto SSPS (Small Solar Power Systems) de la Agencia Internacional de la Energía en septiembre de 1981. Originalmente fue concebida como planta de demostración para la producción continuada de electricidad y utilizaba un receptor refrigerado por sodio líquido que era además utilizado como medio de almacenamiento térmico. Actualmente, al igual que la planta CESA-I, es una instalación de ensayos dedicada fundamentalmente al ensayo de pequeños receptores solares en el rango de 200-350 kW de potencia térmica. El campo de helióstatos está formado por 91 unidades fabricadas por la compañía Martin-Marietta, de  $39.3 \text{ m}^2$  de superficie cada una. Existe un segundo campo con 20 helióstatos de  $52 \text{ m}^2$  y  $65 \text{ m}^2$  en la zona norte que puede también ser utilizado como apoyo, en este caso son helióstatos de segunda generación fabricados por MBB y Asinel. El campo de helióstatos CRS ha sido recientemente mejorado con la conversión de todos sus helióstatos en unidades autónomas, comunicadas por radio con el control central y alimentadas por energía fotovoltaica, siguiendo el concepto desarrollado y patentado por investigadores de la PSA. En la actualidad la instalación CRS dispone del primer campo de helióstatos autónomos, que no precisa del uso de zanjas ni cableados, gracias al apoyo económico obtenido por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, a través de su Programa PROFIT. Dichos helióstatos se encuentran en la figura 2.4.



Figura 2.5 Helióstato autónomo del campo CRS. [2.14]

La reflectividad nominal promedio del campo es del 90%, el error de seguimiento solar es de 1.2 rad por eje y la calidad óptica en rayo reflejado es de 3 rad. En condiciones típicas de irradiancia de  $950 \text{ W/m}^2$ , la potencia térmica total del campo asciende a 2.7 MW y se obtiene un flujo pico de  $2.5 \text{ MW/m}^2$ . El 99% de la potencia se recoge en un círculo con diámetro de 2.5 m y el 90% de la misma en un círculo de 1.8 m.

La torre, de 43 m de altura, es metálica y dispone de dos plataformas de ensayo. La primera plataforma ocupa dos niveles a 32 y 26 m de altura y es una zona diáfana preparada para admitir ensayos de nuevos receptores para aplicaciones termoquímicas. La segunda plataforma de ensayo se encuentra en lo alto de la torre, a 43 m de altura, y alberga un recinto cerrado con puente grúa y un banco de ensayos calorimétrico para la evaluación de pequeños receptores volumétricos a presión atmosférica. Figura 2.5.



Figura 2.6 Vista frontal del banco de ensayos de receptores volumétricos en la torre CRS. [2.14]

La infraestructura de la torre se completa con una grúa con capacidad para 600 kg y un elevador de cremallera con capacidad para 1,000 kg.

El banco de ensayos calorimétrico consta de un circuito de aire de recirculación con ventilador axial y un calefactor eléctrico de 40 kW para controlar la temperatura del aire de retorno, así como instrumentación de medida de temperaturas, presión y caudal. El aire de salida del absorbedor es enfriado mediante el uso de un intercambiador de calor refrigerado por agua, la cual es usada como método indirecto para realizar el balance térmico. El banco calorimétrico viene siendo usado con éxito desde el año 1986, con las lógicas mejoras y actualizaciones, en la evaluación de todo tipo de absorbedores volumétricos metálicos y cerámicos.

Para la caracterización del mapa de flujo de la radiación solar concentrada en ambas torres, se utilizan dos sistemas de medida PROHERMES II (Programmable Heliostat and Receiver Measuring System II). Para ello, el haz de radiación solar concentrada incidente es interceptado por un blanco de características difusoras (Lambertiano), situado en un plano paralelo e inmediatamente anterior al que contiene a la apertura del receptor, instante en el que un dispositivo CCD de alta resolución adquiere la correspondiente imagen. Luego de un tratamiento exhaustivo de la misma, se puede integrar la potencia total, así como realizar el cálculo del resto de las magnitudes de interés, tales como el pico de flujo o parámetros estadísticos de la distribución de energía sobre el receptor.

Además de todas las instalaciones anteriores, España cuenta con diferentes laboratorios de investigación, los cuales se enumeran a continuación:

- **Lazo de ensayos.**

El objetivo de esta instalación experimental es el estudio de gases a presión como fluidos de trabajo en captadores cilindro-parabólicos, que no se hayan estudiado hasta el momento, evaluando su comportamiento bajo diversas condiciones reales de operación.

El lazo experimental de ensayos se encuentra situado al norte del edificio de control del lazo DISS, albergando los equipos necesarios para su control y adquisición de datos.



Figura 2.7 Vista del lazo de ensayos.

La instalación se diseñó inicialmente para trabajar a presiones y temperaturas de hasta 100 bar y 400 °C, constando de los siguientes elementos:

- \*Dos captadores cilindro-parabólicos de tipo Eurotrough II orientados Este-Oeste, con una superficie total de captación por colector de 274.2 m<sup>2</sup> y una longitud de 50 m cada uno.

- \*Un enfriador refrigerado por aire, de 400 kW de potencia nominal.

- \*Una soplante que suministra el caudal necesario para la refrigeración adecuada de los captadores.

- \*Un sistema de adquisición de datos y control que permite una completa monitorización del lazo en cuanto a temperatura, caudal, presión, radiación y presencia de humedad en el circuito.

- \*Válvulas automáticas de control que permiten variar de forma precisa y segura el caudal de fluido de alimentación a los colectores.

- \*Un circuito auxiliar que permite el llenado con gases del lazo de ensayo.

- **Planta Experimental DISS.**

La planta DISS fue puesta en funcionamiento en el año 1998, con el fin de llevar a cabo experimentos relacionados con la generación directa de vapor a alta presión y temperatura de 100 bar y 400 °C, respectivamente.

La instalación consta de dos subsistemas: el Campo Solar y el Sistema de Potencia. En el Campo Solar, el agua de alimentación se precalienta, evapora y convierte en vapor sobrecalentado hasta una presión máxima de 100 bar y una temperatura máxima de 400 °C, conforme circula por los tubos absorbedores de un lazo de captadores cilindro-parabólicos de 665 m de longitud y 3,838 m<sup>2</sup> aproximadamente de superficie de captación solar. El caudal nominal de vapor sobrecalentado que se puede generar en el sistema es de 1 kg/s aproximadamente. En el Sistema de Potencia este vapor sobrecalentado se condensa, procesa y se utiliza de nuevo como agua de alimentación para el Campo Solar (funcionamiento en ciclo cerrado).

La planta en su conjunto posee un alto grado de flexibilidad de operación, permitiendo operar el sistema desde muy bajas presiones hasta 100 bar. Además está equipada con un completo sistema de válvulas que permite la configuración del Campo Solar en modo recirculación (zonas de evaporación y sobrecalentamiento perfectamente diferenciadas) y en modo *Once Through* (el separador intermedio de agua-vapor y la bomba de recirculación situados en el Campo Solar no se utilizan en este modo de funcionamiento). La instalación se completa con una gama de instrumentos que permiten una total monitorización del sistema (caudales y temperaturas de fluido en las distintas zonas de Campo Solar, pérdidas de carga en los captadores y en las interconexiones, temperatura y gradiente térmico en las secciones transversales de los tubos absorbedores, etc.) y un sistema de adquisición de datos y control de proceso que dispone de una base de datos donde se registran todos los datos de proceso cada 5 segundos durante las 24 horas.

Entre las capacidades asociadas a esta instalación se encuentran las siguientes:

\*Ensayo de componentes para campos solares de captadores solares cilindro-parabólicos con generación directa de vapor en sus tubos receptores (receptores, juntas de unión, separadores para agua-vapor, instrumentación específica, etc.).

\*Estudio y desarrollo de esquemas de control para campos solares que funcionan con generación directa de vapor.

- \*Estudio y optimización de los procedimientos de operación que deben implementarse en este tipo de campos solares.
- \*Estudio de los coeficientes de transferencia de calor en tubos horizontales por cuyo interior circula un flujo bifásico agua/vapor.
- \*Estudio de correlaciones para el cálculo de la pérdida de carga con flujo bifásico agua/vapor en tuberías horizontales



Figura 2.8 Lazo DISS en operación.

## 2.2 Instalaciones Solares en Estados Unidos.

Entre los años 1984 y 1991 se construyeron en California centrales cilindro-parabólicas con una potencia total de aprox. 350 MW, que hoy todavía se encuentran en funcionamiento y que han producido desde entonces 16,000 GV por hora de electricidad. La larga experiencia con este tipo de central es la razón esencial del porqué en la mayoría de los proyectos iniciados desde el 2004 se utilizan cilindros parabólicos. En el transcurso del dinámico desarrollo del mercado, se están planificando y construyendo muchas centrales de torres solares, al igual que grandes plantas con disco Stirling y de tecnología Fresnel. [2]

[2] Información tomada de la página oficial de los Laboratorios Sandia.

Se espera una enorme expansión de la potencia de las centrales solares térmicas en los Estados Unidos. En el 2010 se han comenzado a construir diversas plantas con una capacidad de aproximadamente 280 MW. Los distintos proyectos, que se encuentran bien en fase de planificación o de realización, alcanzan en conjunto una potencia total aproximada de 9 GW. Las empresas alemanas participan en gran medida en estos proyectos como desarrolladores, constructores o proveedores de componentes claves como son los tubos absorbedores, así como también prestando servicios de ingeniería y de control de calidad.

Con los servicios públicos de California en rápida expansión en cuanto a energías renovables, el desierto de Mojave, ubicado en ese estado, es uno de los puntos más calientes de la energía solar.



Figura 2.9 Central solar tipo Fresnel, ubicada en California, EUA. [2.6]

El año pasado, los planes para el mayor conjunto de paneles solares del mundo se pusieron en marcha en este ideal escenario para centrales solares, pero las últimas noticias que llegan desde allí son aún más innovadoras.

Pacific Gas and Electric (PG&E) ha firmado recientemente el mayor acuerdo de instalación de paneles solares hasta la fecha. La empresa se ha asociado con Bright Source Energy para producir tres nuevas plantas de generación de energía eléctrica de fuente solar-térmica que generará unos impresionantes 500 MW de energía verde limpia.

El acuerdo de 2 a 3 mil millones de dólares para las plantas proporciona opciones adicionales (hasta 900 MV totales), lo cual sería suficiente para alimentar a 375,000 hogares de California.

La ley de California requiere actualmente que PG&E obtenga al menos un 20% de su energía a través de fuentes renovables en el 2010. Este es uno de los factores que impulsan este acuerdo. El gigante de la energía ha estado muy ocupado en la firma de contratos para la diversificación de su cartera de energía renovable a fin de incluir energía solar, eólica, biomasa, geotérmica e hidroeléctrica.

La árida extensión del desierto de Mojave en California cuenta con un potencial de clase mundial para la tecnología solar-térmica de Bright Source, la cual utiliza miles de espejos para concentrar la energía solar sobre una caldera, donde el agua se vaporiza para mover turbinas. Las plantas de energía solar térmica utilizará la tecnología Power Tower de Bright Source Energy, la cual presume de ser una energía más eficiente que los diseños anteriores cilindro-parabólicos.

Las plantas emplean a miles de diminutos espejos planos móviles llamados helióstatos para enfocar y concentrar la energía del Sol a una caldera de agua, calentándola a más de 1,000°C. Esto genera vapor, que a su vez mueve una turbina para generar electricidad. Las plantas consisten en agrupaciones de los llamados campos solares, en los cuales cada torre podrá producir 20 MV de energía.

Bright Source predice que la escala de las plantas grandes, su bajo costo de producción, y la relativa fiabilidad con las que pueden ser operadas, las cuales permitirán competir con los combustibles carbonados en precio.

Con 9 plantas instaladas en California, EUA, con la tecnología de canal parabólico, ya que es una de las tecnologías mas maduras con más de 100 años de experiencia en operación.

Esas plantas fueron desarrolladas por Luz Internacional Limited y denominadas “Solar Electric Generating Systems” (SEGS), con una capacidad de generación eléctrica de 14 a 80 MW cada una, y una capacidad total instalada de 354 MW. Dichas centrales han funcionado de forma híbrida, utilizando 25% de gas natural, como sistema de respaldo, (ver Fig. 2.14).

En el ámbito experimental, EUA cuenta con los laboratorios Sandia, (*Sandia National Laboratories*), los cuales son operados por los Laboratorios Nacionales Sandia en el Departamento de Energía de EE.UU. (DOE), el Fondo Nacional de Solar Thermal Test (NSTTF) es la posibilidad única prueba de este tipo en los Estados Unidos. El objetivo principal del NSTTF es proporcionar datos experimentales de ingeniería para el diseño, construcción y operación de los componentes y sistemas únicos en

propuestas de las plantas solares térmicas eléctricas previstas para la generación de energía a gran escala.

Además, el sitio fue construido e instrumentado para proporcionar instalaciones de ensayo para una variedad de aplicaciones solares y no solares. La instalación puede proporcionar las siguientes ventajas:

- Flujo de calor de alta y las temperaturas de ensayo de materiales o simulación calentamiento aerodinámico.
- Grandes campos de la óptica para la observación astronómica o de las calibraciones de satélite.
- Horno solar para fines de investigación.
- Una plataforma giratoria para la evaluación de colectores cilindro-parabólicos.



Figura 2.10 Instalaciones de los Laboratorios Nacionales de Sandia. [2.7]

El horno solar utiliza una de heliostatos que sigue el sol a la luz solar directa en un plato con espejo parabólico. Debido a que el punto focal del plato no se mueve, es fácil de instalar experimentos. El nivel de potencia del horno se ajusta mediante un atenuador que funciona como una persiana veneciana situada entre el heliostato y el plato.

Las principales características del horno solar en el laboratorio son:

- Celdas solares de alta temperatura termoquímicos.
- Un heliostato de que es de 95 m<sup>2</sup>

- Un plato que es 6.7 metros de diámetro

Este horno proporciona

- 16 kW de potencia térmica total
- Flujo pico hasta 500 W / cm<sup>2</sup>

El horno tiene un control de potencia para simular transitorios térmicos nucleares y otros. Las aplicaciones incluyen.

- La investigación de las propiedades termofísicas de los materiales en la luz solar concentrada, incluyendo la expansión térmica, conductividad térmica y la difusividad, el calor específico, propiedades mecánicas, y la emisividad espectral y absorptividad.
- Simulación de los efectos térmicos de las explosiones nucleares en materiales y componentes.
- La determinación de los umbrales de rendimiento y el fracaso de alta temperatura materiales cerámicos y refractarios.

Aplicaciones:

Ensayos de materiales a alta temperatura, recubrimientos en materiales cerámicos y metálicos, ensayos de prototipos de convertidores avanzados y reactores químicos para producción de electricidad y aplicaciones de química solar.



Figura 2.11 Horno solar de los Laboratorios Nacionales de Sandia. [2.7]

### 2.3 Instalaciones Solares en Alemania.

La mayor central de energía solar del mundo se inauguró en julio de 2005 en Franconia, Baviera. El complejo se llama Bavaria Solarpark (ver Figura 2.12) y sus paneles solares cubren una superficie de 250,000 m<sup>2</sup>. El proyecto está formado por 3 subsistemas diferentes, localizados en 3 ciudades alemanas: Solarpark Mühlhausen (6.3 MW) Solarpark Günching (1.9 MW) y Solarpark Minihof (1.9 MW). La empresa Siemens lideró este proyecto que genera energía para un total de 3,500 hogares tras una inversión superior a los 70 millones de euros provenientes del sector privado.

La segunda central más grande del mundo también está en Alemania, cerca de Leipzig. Con 33,500 paneles solares modulares monocristalinos y una capacidad de producción de 5 MV, la central será suficiente para abastecer a 1,800 hogares. La inversión ascendió a 20 millones de euros, según Shell Solar y Geosol, las firmas constructoras. [3].

[3] Información tomada de la página oficial de Solar Server.



Figura 2.12 Mühlhausen, parque solar de Baviera. [2.17]

En cuanto a las instalaciones solares que tiene Alemania para fines de investigación, tenemos al Centro Aeroespacial de Alemania (DLR German Aerospace Center), ubicado en Stuttgart. El personal que labora en este instituto es de aproximadamente 55 personas, entre científicos y técnicos.

### **Horno Solar del DLR**

Las características principales del horno solar del DLR (Ver figura 2.13) son:

- Una superficie del helióstato de 57 m<sup>2</sup> y un concentrador con 159 facetas esféricas dispuestas en lente de frésnel de 42 m<sup>2</sup> de superficie total.
- Potencia pico: 25 kW.
- Flujo pico: 5000 kW/m<sup>2</sup>.

Aplicaciones:

- Experimentos de química solar mediante receptores asociados a reactores, ensayo de materiales en vacío y producción de H<sub>2</sub>.



Figura 2.13 Horno Solar del DLR. [2.11]

### 2.4 Instalaciones Solares en Francia.

Las instalaciones solares PROMES-CNRS Odeillo ofrecen una gama de hornos solares para las corrientes de alta temperatura, capaz de producir temperaturas mayores de 3,000 °C. Cuentan con una amplia variedad de reactores modulares y equipos, diseñados y desarrollados en el laboratorio, para alcanzar en las mejores condiciones, la investigación de alto nivel en un vasto campo de la ciencia también un

amplio conjunto de herramientas en los métodos de diagnóstico y análisis avanzado y caracterización de materiales para complementar estas instalaciones.

Estos sistemas de energía solar se adaptan tanto a las cuestiones de investigación básica como las de riesgo, a medida que más avanzada sea la investigación es el tipo de planta que se utiliza desde la aplicada, hasta la planta piloto.

La disponibilidad de alto flujo y las altas temperaturas sin contaminación, y la capacidad de controlar la atmósfera (presión, vacío, la composición), hace que los instrumentos únicos para el estudio de la síntesis de materiales, los procesos químicos solares, ciclos de almacenamiento de productos químicos de la energía solar, el comportamiento térmico de la física de los materiales en condiciones extremas, la física fundamental de alto flujo. [4]

*[4] Información tomada de la página oficial de Promes Francia.*

Las principales instalaciones del laboratorio de energía solar son:

- El horno solar de 1 MV ( MWSF ).
- Los 11 hornos solares de media potencia ( MSSFs ).

#### **Horno solar (MWSF).**

El horno solar de 1 MV ( MWSF ), (Ver figura 2.14) consta de un espejo parabólico facetado truncado de 1830 m<sup>2</sup> y 18 m de longitud focal, iluminados por un campo de helióstatos de 63 móviles con una superficie total de 2,835 m<sup>2</sup> . La parábola se construye en el lado norte del edificio de 8 pisos que alberga a 9 de los 11 hornos solares de potencia media (MSSF), este se utiliza para oficinas, una biblioteca, salas de conferencias, un taller, y otras actividades de investigación en el laboratorio.

El MWSF 1 MV se centra en un área de aproximadamente 80 cm de diámetro, con un máximo de 10 MW / m<sup>2</sup>, en el hogar.



Figura 2.14 Horno solar constituido de 63 paneles solares.  
Horno Odeilo. (Horno Solar más grande del mundo). [2.10]

Las zonas experimentales de la MWSF son los 4° y 5° piso de la casa torre, otros pisos de la torre se utilizan como salas de diagnóstico, preparación y almacenamiento. Una elevación de 10 toneladas puede ser utilizado para instalar equipo experimental pesado.

El campo de helióstatos (Figura 2.15) es controlado y supervisado desde la torre por un dispositivo de control a las coordenadas calculadas de bucle abierto.



Figura 2.15 Campo de helióstatos. Imagen tomada de PROMES. [2.10]

El área experimental está equipado con una plataforma retráctil y ajustable controlado por ordenador para el posicionamiento preciso de la configuración experimental.

Los hornos solares (MSSFs) está formado por 11 cubos de 1.5 a 6 KV

Nueve se encuentran en la 6° planta del edificio principal, corriendo a lo largo de un eje vertical: a 6 KV, 4 KV y 2 KW. Están iluminados por tres heliostatos situados en el lado sur del edificio.

- Un conjunto de dos ejes 2 de KV eje horizontal está en un edificio vecino

Los concentradores 6 KV tiene una relación de concentración de aproximadamente 4,500, por un punto focal de 8 cm de diámetro (Figura 2.15)

Los concentradores y dos 1,5 kW tienen una mayor concentración de aproximadamente 15,000, para un punto focal de 1 cm de diámetro

Los MSSFs están bien equipadas con persianas o reguladores de caudal, las cámaras de vacío o en atmósfera controlada, los dispositivos de medición de temperatura y los instrumentos de diagnóstico. [4]

La instalación MWSF se compone de un metro cuadrado 1,830 facetas concentrador parabólico truncada, la longitud focal de 18 m, sistema de iluminación de 63 heliostatos, la superficie total 2,835m<sup>2</sup>. La parábola está instalada en la cara norte del edificio de 8 pisos que alberga a nueve de los concentradores MSSFs, oficinas, biblioteca, salas de conferencias, talleres, y las actividades de laboratorio de otras investigaciones.

El MWSF centra 1 MV a un punto situado a unos 80 cm. de diámetro para producir aproximadamente 10 MV / m<sup>2</sup> en su foco.

Las habitaciones experimentales para la MWSF se instalan en las plantas 4° y 5° de la torre central en el foco de la parábola; otros pisos de la torre se utilizan para el diagnóstico de las salas de preparación y el almacenamiento. A 10 toneladas de capacidad de carga ascensor se puede utilizar para instalar el equipo experimental de gran tamaño.

El campo de heliostatos es controlado y monitoreado desde la torre mediante un lazo abierto coordenadas calculadas.

El área experimental está equipado con un movimiento fino, controlado por ordenador plataforma, retráctil y multidireccional para el posicionamiento del dispositivo experimental.

### **Eurodish.**

El Eurodish es un sistema integrado desarrollado en el proyecto Envirodish que combinan un concentrador parabólico con un solitario solar de potencia del motor Stirling para producir 10 kW de electricidad. Este sistema completo se encuentra bajo investigación en el PROMES-CNRS para el análisis más allá del proyecto inicial: mejora de la eficiencia, el costo de operación de demostración, la hibridación, la cogeneración

El concentrador parabólico sigue al sol moviendo de acuerdo con 2 ejes, colocando el plato siempre en la dirección del sol, ver figura 2.16.

PROMES-CNRS está modificando esta plataforma para aprovechar el alto rendimiento concentrador inicialmente desarrollado para otros experimentos, como termo-acústico de producción de frío:

- La potencia disponible es de 52 KW, el obturador está disponible para ajustar la potencia
- Hasta 9300 kW / m<sup>2</sup> pico de flujo

El sistema EuroDish permite experimentar procesos a escala industrial, ya que esta tecnología concentradora está disponible comercialmente.

Las modificaciones consisten principalmente en la suma de los conceptos desarrollados especialmente:

- Cámaras de observación: enfoque, visión general
- De red, electricidad, agua y aire a presión para los experimentos
- Eje Z plataforma de alta precisión para ajustar la posición experimento hasta una carga 400 Kg
- Refrigerado por agua del obturador para ajustar la potencia térmica de hasta 0 al 100%, adecuado para la regulación del proceso.
- 600 kg de la grúa a instalar y retirar fácilmente el motor Stirling solitario y las plataformas de apoyo a los experimentos, lo que permite el montaje y puesta a punto en el taller cercano en lugar de al aire libre.



Figura 2.16 Vista anterior y posterior de las nuevas unidades de Eurodish. [2.18]

### **MSSF VERTICAL**

El laboratorio funciona con 4 parábolas de 2 m, y 4 parábolas 1.5 m de eje vertical, que forma parte de los once hornos solares (MSSF).

Estas parábolas ofrecen una gran flexibilidad y gran capacidad para organizar fácilmente los diferentes proyectos. Su equipo de tamaño razonable, estándar y de muy alto rendimiento está diseñado para la eficacia de los procesos innovadores y pruebas de materiales con un gran número desconocido y por lo tanto numerosas adaptaciones rápidas necesarias.

Estos concentradores de la oferta ya sean alrededor de 1.5 o 1 kW de potencia térmica en el foco de los 2 y 1.5 m de parábolas. La densidad de potencia es la más alta ofrecida por los actuales hornos solares: alcanza 16,000 KW / m<sup>2</sup> en su foco, con un diámetro de enfoque aproximadamente 1.5 y 1 cm de ancho, permitiendo la temperatura en exceso de 3600 °C, de hecho, hasta ahora ningún material conocido resiste estos flujos en equilibrio térmico sin derretirse.

Cada concentrador esta equipado con:

- Eje Z motorizado y soporte informático de posicionamiento regulable con precisión de 0,1 mm.
- XY manual de sistema de posicionamiento con pinzas para la reproducibilidad de la posición de fácil.

- Circuito de agua, por ejemplo, para el enfriamiento.
- Aire comprimido para el enfriamiento o actuadores.
- Fácil acceso para el uso de instrumentos de alto nivel: DAQ, Pirometría, sistemas de imágenes.



Figura 2.17 MSSF Vertical. Imagen tomada de PROMES. [2.10]

### **MSSF HORIZONTAL.**

El laboratorio cuenta con dos parábolas 2 m de eje horizontal, parte de las once de tamaño mediano hornos solares (MSSF).

Estas parábolas ofrecen una gran flexibilidad y gran capacidad para organizar fácilmente los diferentes proyectos. Su equipo de tamaño razonable, estándar y de muy alto rendimiento está diseñado para la eficacia de los procesos innovadores y pruebas de materiales con un gran número desconocido y por lo tanto numerosas adaptaciones rápidas necesarias.

Estos concentradores de la oferta de alrededor de 1.5 kW de potencia térmica en el centro. La densidad de potencia es la más alta ofrecida por los actuales hornos solares: alcanza 16000 kW / m<sup>2</sup> en su foco, con un diámetro de enfoque alrededor de 1.5 cm de ancho, permitiendo la temperatura en exceso de 3500 °C, de hecho, hasta ahora ningún material conocido soporta estos flujo en equilibrio térmico sin derretirse.

Cada concentrador cuenta con:

- XYZ-eje de posicionamiento de soporte con una alta precisión: en una parábola, los ejes X y Z están motorizados y controlable ordenador.
- circuito de agua, por ejemplo, para el enfriamiento
- aire comprimido para el enfriamiento o actuadores
- fácil acceso para el uso de instrumentos de alto nivel: DAQ, Pirometría, sistemas de imágenes, un espectrómetro de ...

Hay dos tipos de persianas disponibles para regular la potencia de entrada desde el heliostato:

- una velocidad de obturación simple con dos puertas corredizas.
- una persiana motorizada.

### 2.5 Instalaciones Solares en Suiza.

Los programas de investigación del Laboratorio de Tecnología Solar en el PSI y el Instituto de Tecnología de la Energía en la ETH Zurich son pioneros en el avance de las ciencias termoquímica, térmica, y electroquímica las cuales son aplicadas en la ingeniería en el campo de la tecnología de la energía solar concentrada. La investigación se centra en la transferencia de radiación de calor en los flujos de multifase química y la reacción que se genera en el análisis termodinámico de nuevos procesos de conversión de energía solar de alta temperatura.

La misión de PSI (Laboratorio de Tecnología Solar) es el desarrollo de la ciencia y la tecnología necesaria para transformar la energía solar en combustibles químicos a escala industrial con un proceso de termoquímico que los efectos de esta conversión de forma más competitiva que cualquier otro solar a los combustibles proceso.

Las instalaciones de investigación de la PSI / ETH incluyen:

- ▶ Una instalación de 40 kW de 5,000 paneles solares; y un horno solar.
- ▶ Una instalación de 50 kW de 11,000 paneles solares de alto flujo; simulador solar.
- ▶ Dos instalaciones de 75 kW de 5,000 paneles solares de alto flujo.
- ▶ Laboratorios de química física.

El personal de PSI / ETH en conjunto incluye 10 científicos, ingenieros técnicos, y de 9 a 11 estudiantes de doctorado y 20 estudiantes de maestría. El PSI sirve como el agente operativo de Química Solar en el programa de la Agencia Internacional de Energía (SolarPACES). [5]

*[ 5 ] Información tomada de la página oficial del Instituto Paul Scherrer en Suiza.*

Las características principales de las Instalaciones de investigación de concentración solar son:

### **Horno Solar 40 kW de alto flujo**

El Horno solar de PSI consiste en un horno de 120 m<sup>2</sup> de área de paneles solares, el cual está compuesto de helióstatos que le dan seguimiento al sol en un eje plano con 8.5 m de diámetro en su concentrador parabólico. Ofrece hasta 40 kW de energía y sus coeficientes de concentración es superior a 5,000 paneles solares (1 panel solar = 1 kW / m<sup>2</sup>). La intensidad del flujo solar puede aumentar aún más a un máximo de 10,000 paneles solares mediante el uso de concentradores secundarios. Un obturador veneciano tipo ciego situado entre el concentrador y el helióstato controla la entrada de alimentación al reactor.



Figura 2.18 Horno solar del Instituto Paul Scherrer en Suiza. [2.19]

### **Simulador Solar de Alto Flujo (50 kW).**

El Simulador Solar de alto flujo del PSI (HFSS), comprende una serie de 10 a 15 arcos de alta presión de xenón, cada uno cerrado, junto con los reflectores elipsoidales truncados especulares de interés común. Proporciona una fuente externa de radiación térmica intensa que se aproxima a las características de transferencia de calor de alta concentración de los sistemas solares, como las torres solares y hornos solares, sin embargo, permite el trabajo experimental en condiciones controladas de permanentes

como no permanentes para las mediciones reproducibles y validación de los modelos, independientemente de las condiciones climáticas. Cada uno de estos arcos puede activarse y desactivarse de forma individual, permitiendo el ajuste de la potencia de entrada radioactiva en el reactor químico.

La distribución del flujo de radiación en el plano focal se mide ópticamente mediante la grabación de la imagen sobre un objetivo Lambertian, adquirida por una cámara CCD rápido equipada con filtros ópticos. Esta instalación es capaz de entregar una potencia total de radiación de 50 kW con un pico de flujo radiativo superior a 10,000 paneles solares. La potencia total de la radiación es interceptado por un objetivo cuyo diámetro es de 6cm y representa una abertura del reactor con una potencia de 20 kW, y el flujo medio de energía radiante sobre esta abertura es más de 7,000 paneles solares.

### 2.6 Instalaciones Solares en Italia.

Para este país el centro mas importante de investigación es el ELIOSLAB, el cual tiene como principal objetivo desarrollar componentes, tecnologías y sistemas para la captación de la energía solar y su uso con factores de alta concentración o radiación, en la forma de alta temperatura (temperaturas mayores a los 800 °C). Forman parte del Laboratorio de ENEA, la Universidad de Nápoles Federico II, la segunda universidad de Nápoles, Angelantoni, y CRIS (*Consortio Investigación e Innovación para el Sur, Ansaldo*).

Las áreas en las que se concentra el Laboratorio de Investigación y Desarrollo ELIOSLAB son:

- Desarrollo de nuevos materiales y sustratos para la realización de superficies reflectantes de doble adecuado plana y curvada las cuales utilizan en la concentración de energía solar térmica, en particular:

- Desarrollo de métodos y equipos para la captación solar y la organización de la óptica geométrica y los espejos y la caracterización de haces de luz solar a una alta concentración.

- Proyecto del receptor solar a alta temperatura. Planta de pulverización catódica, Agencia Nacional de Nuevas Tecnologías, Energía y Desarrollo Económico Sustentable.

- Elaboración y diseño de una tecnología solar para alta concentración, horno solar. [6]

*[6] Información tomada de la página oficial del ENEA en Italia.*

### **Laboratorio de componentes solares de calefacción.**

El laboratorio lleva a cabo la clasificación de componentes solares de investigación y desarrollo en tecnologías de la información de la calefacción solar a baja temperatura y medianas empresas, ofreciendo un servicio de componentes y sistemas capaces de determinar el rendimiento térmico, la fiabilidad y la durabilidad de colectores comerciales o planes de prototipos de concentración.

El laboratorio realiza investigaciones en el campo de aplicaciones de calefacción solar a baja temperatura y medianas empresas, mediante el apoyo técnico y científico para el desarrollo de los planes de prototipos o de concentración (CPC sistemas, los sistemas de punto lineal y parabólica, sistemas de lentes de Fresnel).



Figura 2.19 Vista de los Colectores Solares en prueba. [2.15]

En particular, las actividades incluyen:

- Análisis y optimización de sistemas de energía, la energía solar la temperatura baja y media.
- Los modelos de desarrollo de la termodinámica de fluidos y modelos ópticos. Los cuales también incluyen el análisis y la optimización de la energía solar diseñado para aplicaciones de media temperatura.

**Centro de Investigación Trisaia Agencia Nacional de Nuevas Tecnologías, Energía y Desarrollo Económico Sustentable.**

Este centro tiene como principal objetivo la realización de experimentos con los colectores solares en el Laboratorio de calefacción de componentes solares; sus actividades incluyen:

- La evaluación y optimización de los sistemas técnicos y económicos de la energía solar refrigeración.
- La caracterización de la energía de los colectores a concentración para aplicaciones de media temperatura a través de el uso de facilidad, capaz de analizarla de manera experimental desde su punto de vista térmico; estos componentes cuenta con una temperatura de trabajo de hasta 300 ° C.

El laboratorio está acreditado desde el año 2002, está equipado para realizar todas las pruebas prescritas por los reglamentos de la Nación Europea y la industria internacional, tanto lo que respecta a las pruebas de colectores solares, como para los casos de los sistemas solares para la producción de agua caliente.

Para la caracterización energética y la calefacción de componentes y sistemas solares, el laboratorio es capaz de realizar las siguientes pruebas:

- Determinación de la curva de eficiencia bajo condiciones estacionarias de energía y su caracterización transitoria.
  - Evaluación de la caída de presión.
  - Determinación de la constante de tiempo y la capacidad de la térmica.
  - Determinación de la IAM (modificador del ángulo incidencia).
  - La verificación de la resistencia de las condiciones de los componentes anormal de funcionamiento (resistencia a la sobre- presión y los choques térmicos, tanto internos como externos).
  - Pruebas de resistencia a la intemperie (lluvia, nieve, viento y granizo)
  - Pruebas de envejecimiento acelerado a través de la exposición del componente, por un período de tiempo prolongada a la radiación, a la energía solar en condiciones de el estancamiento seco.
- Los sistemas con los cuentan son para:

- Evaluación experimental del servicio diario y estimación (el uso de algoritmos de simulación adecuados) para sitios múltiples para el año europeo y nacional.
- Verificación de los requisitos de seguridad, fiabilidad y durabilidad dispuesto en la normativa técnica.

El Laboratorio participa en la capacitación de los componentes solares también a las actividades de regulación del sector tanto a nivel nacional como en el internacional. A nivel nacional, coordina el GL 901 de la Comisión de calor italiano (CTI) que se ocupa de el desarrollo de las normas técnicas nacionales en el campo de la energía solar térmica en Europa es un miembro oficial CEN / TC 312 que se refiere a la definición de las reglas técnicas para la caracterización de los componentes solares térmicos.

#### **Laboratorio de óptica de los concentradores solares.**

El Laboratorio de Óptica colector solar tiene una caracterización de servicio y control de calidad de los concentradores solares utilizando métodos innovadores y instrumentos originales desarrollados por ENEA: el perfilómetro. Esta tecnología de perfilómetro óptico ha sido ampliamente aplicada a los paneles reflectantes de la planta de Arquímedes, éstos se utilizan para controlar la alineación de los espejos de campo.

El instrumento se utilizará para las pruebas necesarias en la planta, también nos proporciona la inspección aérea de los espejos de campo, utilizando aeronaves sin piloto, con la cámara térmica y la sala de juntas con el fin de de control, además de la alineación mutua receptor-parábola,



Figura 2.20 Vista del Perfilómetro. [2.15]

Óptica y el sistema de inspección visual.

Usuarios potenciales: El laboratorio ofrece a los productores y los usuarios de colectores cilindro-parabólicos, los servicios caracterización y calificación de los paneles reflectantes y asesoramiento para la instalación y uso en fabricación de equipos para controles de calidad.

En la actualidad se está ultimando el desarrollo de dos nuevas herramientas para el control de la alineación de los espejos exteriores. La primera herramienta, denominada Sistema de Inspección Visual de campo, desarrollado con la Marposs empresa, verifica al receptor de la alineación mutua a través de una parábola sistema de video en particular y el análisis de imágenes. El instrumento se utiliza para los controles necesarios.



Figura 2.21 Laboratorio de óptica para el análisis de los concentradores solares. [2.15]

### Centro de Investigación

El centro de investigación se basa en la Energía y Desarrollo Económico Sostenible y en los Reflectores parabólicos lineales, para los cuales hay que darles un mantenimiento para que se logre prolongar la vida de la planta con un costo muy pequeño en comparación con sistemas basados en tierra. El sistema se desarrolla en colaboración con la empresa Electrónica Giani, donde se analiza la parte aérea, mientras que el ENEA desarrolla software de análisis y procedimientos para la gestión de los disparos.



Figura 2.22 Centro de Investigación del ENEA. [2.15]

### 2.7 Instalaciones Solares en Australia.

En la Universidad Nacional de Australia se prueba un prototipo de gran tamaño llamado el “Big Dish” de 400 m<sup>2</sup> y una capacidad de 150 kW; está diseñado para funcionar con un generador de vapor para utilizarse en la cogeneración con producción de vapor solar. Ver figura 2.23.

Este es el mayor concentrador parabólico solar del mundo. Su operación es a través de una caldera que produce vapor sobrecalentado a hasta 500 ° C y trabaja a una presión de 4.5 MPa. Este colector, como ya se había mencionado antes es un prototipo de un diseño que se pretende en última instancia, para su uso en sistemas

de gran escala solar térmica de generación de energía, donde conjuntos de colectores se unen para alimentar energía a una planta de generación de energía central. El grupo opera la antena para obtener datos experimentales de apoyo a las investigaciones sobre los procesos de transformación de la energía, de buscar mejoras en el diseño y para apoyar los esfuerzos para licenciar y comercializar la tecnología.



Figura 2.23 El Big Dish, en la Universidad Nacional de Australia. [2.20]

La torre más alta del mundo, de un kilómetro de altura, esta en Australia y es una planta de energía solar que, a través de paneles extendidos a lo largo de  $5 \text{ km}^2$ , generará una potencia de 200 MW sin contaminar el medio ambiente. El año próximo comienzan las obras, que terminarán dos años más tarde y costarán 380 millones de euros. La planta aprovecha las radiaciones solares para generar electricidad por medio de un proceso de transformación de la masa del aire en viento.

Los paneles solares se instalarán en estructuras de acero construidas a 6m de intervalo. Conservarán una temperatura constante de  $30^\circ$  a una altura que oscilará entre los 2 y 20m sobre el nivel del suelo.

Para conservar el calor durante la noche, unos tubos de plástico llenos de agua caliente sostienen en la base a los paneles solares. Estos paneles calientan el aire que se dirige hacia una chimenea de 130 metros de diámetro, que tiene un grosor de un metro en su base y de 25 centímetros en la cúspide.



Figura 2.24 Torre Solar en Australia. [2.21]

### 2.8 Instalaciones Solares en México.

El propósito del Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar (LNCSyQS) es constituir una red de grupos de investigación que, a través del diseño, construcción y operación de tres instalaciones solares, avance en el desarrollo de dichas tecnologías en México, generando conocimiento científico y tecnológico, así como formando recursos humanos de alto nivel en el área. A saber, estas tres instalaciones solares son: un Horno Solar de Alto Flujo Radiativo (HSAFR), una Planta Fotocatalítica para el Tratamiento de Aguas Residuales (PFTAR) y un Campo de Pruebas para Helióstatos (CPH). [7]

#### **Horno Solar de Alto Flujo Radiativo (HSAFR)**

El Horno que se está desarrollando ofrecerá la posibilidad de usar la radiación solar concentrada tanto para investigación básica, aplicada y desarrollo tecnológico, así como para el estudio de varios procesos industriales, posibilitando dar servicio en esta área.

Entre los posibles usos de investigación de este dispositivo están:

- El desarrollo de componentes para sistemas de torre central para la generación termosolar de potencia eléctrica, tales como heliostatos y receptores.
- El procesamiento y manufactura de materiales avanzados como cerámicas metalizadas para componentes electrónicos.
- La determinación de propiedades termofísicas bajo luz solar concentrada, como son expansión térmica, conductividad y difusividad térmicas, calor

específico, propiedades mecánicas, y propiedades ópticas dependientes de la temperatura. [7]



Figura 2.25 Horno Solar de Alto Flujo en México. [2.9]

Las componentes básicas para la instalación del HSAFR propuesto son: un heliostato de  $81 \text{ m}^2$ , un atenuador de  $50 \text{ m}^2$ , un paraboloide de 6.5 m de diámetro y un edificio de laboratorio donde estarán ubicados el concentrador parabólico, la zona de experimentación y todos los equipos periféricos necesarios para su operación

### **Campo de Pruebas para Helióstatos (CPH)**

El campo de prueba para helióstatos (CPH) es el primero en México y permitirá iniciar las investigaciones científicas y tecnológicas de los sistemas termosolares de potencia eléctrica basados en la arquitectura de torre central.

Las plantas termosolares de potencia de torre central son sistemas complejos de helióstatos que proporcionan una alta concentración solar y son capaces de generar potencias del orden de los MW. Así mismo, estos sistemas son considerados como los sistemas de energía solar más adecuados para la generación de electricidad.

Los helióstatos son dispositivos contruidos mediante paneles reflectantes y cada uno de ellos puede ofrecer un área de captación entre  $20$  y  $150 \text{ m}^2$ . La función de los helióstatos es redirigir la energía del sol hacia el receptor, por lo que estos dispositivos deben ser orientados continuamente en acimut y elevación, mediante

servo-mecanismos y sistemas de control apropiados, los cuales son operados por computadoras. Con este tipo de tecnología, mediante la radiación solar, se puede calentar un fluido de trabajo a temperaturas elevadas en el rango de 800 - 1200 K. [7]



Figura 2.26 Ejemplo de un helióstato en México. [2.9]

El CPH permitirá probar los helióstatos en condiciones muy semejantes a las de operación de una planta de torre central. La infraestructura propuesta consiste en una torre de experimentación, hacia donde será dirigida la radiación proveniente de los helióstatos.

Esta torre estará provista de diferentes sistemas de adquisición de datos, sensores y cámaras para el monitoreo y evaluación de los helióstatos. Además, estará ubicada en un área de terreno suficientemente grande como para poder colocar los helióstatos en diferentes sitios, a distancias similares a las que existen en una planta real (300 metros o más entre el helióstato y la torre) y donde estarán sometidos al viento, polvo, arena, lluvia y cambios de temperatura extremos. Con estas condiciones es posible evaluar el desempeño de los helióstatos en una situación real.

Se ha considerado la ciudad de Hermosillo, Sonora como el lugar adecuado para instalar el CPH, ya que esta localidad ofrece condiciones climáticas y de insolación adecuadas para trabajar con estos sistemas. Se propone ubicar el subproyecto de CPH en las instalaciones de la Universidad de Sonora (UniSon), donde existe desde hace tiempo un grupo de investigación que estudia el aprovechamiento de la energía solar en la localidad y además donde las autoridades tienen interés particular en desarrollar esta tecnología y cuentan con el espacio necesario a través del proyecto de desarrollo del polo científico tecnológico puerta norte de la UNISON para instalar el sistema. Se plantea iniciar con una batería de quince helióstatos y se espera que, a lo largo del

tiempo y a medida que nuevos diseños se vayan desarrollando, el número de helióstatos se incrementa, con lo cual será posible estudiar el comportamiento dinámico de un conjunto mayor de este tipo de dispositivos.

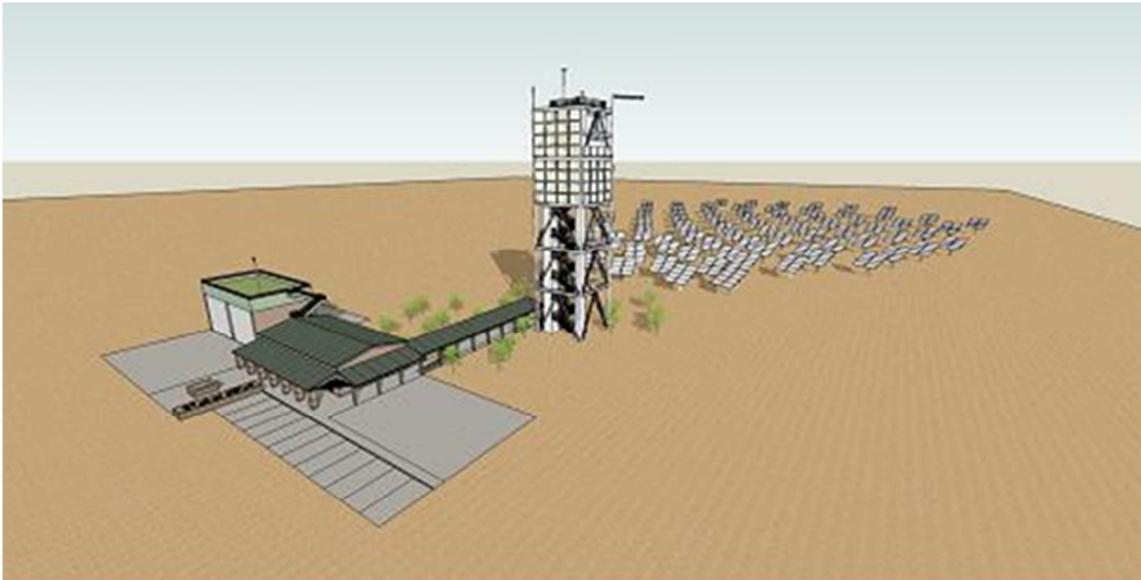


Figura 2.27 Esquema del campo de pruebas para los helióstatos en México. [2.9]

*[7] Información tomada de la página oficial del Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química en México.*

## **CAPITULO 3. SELECCIÓN DE EQUIPOS EXPERIMENTALES.**

Los equipos que estudiaremos en este capítulo serán muy importantes debido al objetivo que tiene cada uno de ellos, para esto necesitamos analizarlos.

### 3.1 Equipo de Adquisición de Datos.

La adquisición de datos, consiste en la toma de muestras de un fenómeno de la vida cotidiana para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador o alguna tarjeta electrónica. Este proceso consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).

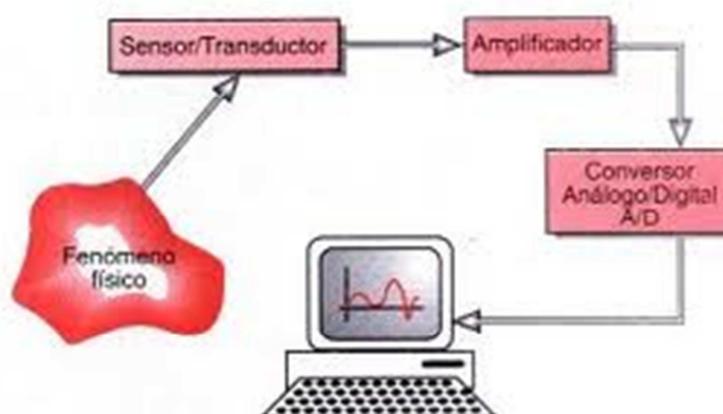


Figura 3.1 Sistema de Adquisidor de Datos. [3.3]

### 3.1.1 Proceso de adquisición de datos.

**Dato:** Representación simbólica puede ser por medio de representación numérica, alfabética o alguna otra característica de un valor. No tiene sentido en sí mismo, pero convenientemente procesado se puede utilizar en la relación de cálculos o toma de decisiones.

**Adquisición:** Recopilación de un conjunto de variables físicas, para después convertirlas en voltaje y digitalización de manera que se puedan procesar en un ordenador.

**Sistema:** Conjunto organizado de dispositivos que interactúan entre sí ofreciendo prestaciones más completas y de más alto nivel. Una vez que las señales eléctricas se transformaron en digitales, se envían a través del bus de datos a la memoria del PC. Una vez los datos están en memoria pueden procesarse con una aplicación adecuada, archivarlas en el disco duro, visualizarlas en la pantalla.

**Bit de resolución:** Número de bits que el convertidor analógico a digital (ADC) utiliza para representar una señal.

**Rango:** Valores máximo y mínimo entre los que el sensor, instrumento o dispositivo funcionan bajo unas especificaciones.

**Teorema de Nyquist:** Al muestrear una señal, la frecuencia de muestreo debe ser mayor que dos veces el ancho de banda de la señal de entrada, para poder reconstruir la señal original de forma exacta a partir de sus muestras.

Los componentes de los sistemas de adquisición de datos, poseen sensores adecuados que convierten cualquier parámetro de medición de una señal eléctrica, que se adquiere por el hardware de adquisición de datos. Los datos adquiridos se visualizan, analizan, y almacenan en un ordenador, ya sea utilizando el proveedor de software suministrado u otro software. Los controles y visualizaciones se pueden desarrollar utilizando varios lenguajes de programación de propósito general como VisualBASIC, C++, Fortran, Java, Lisp, Pascal. Los lenguajes especializados de programación utilizados para la adquisición de datos incluyen EPICS, utilizada en la construcción de grandes sistemas de adquisición de datos, LabVIEW, que ofrece un entorno gráfico de programación optimizado para la adquisición de datos, y MATLAB. Estos entornos de adquisición proporcionan un lenguaje de programación además de bibliotecas y herramientas para la adquisición de datos y posterior análisis.

De la misma manera que se toma una señal eléctrica y se transforma en una digital para enviarla al ordenador, se puede también tomar una señal digital o binaria y convertirla en una eléctrica. En este caso el elemento que hace la transformación es

una tarjeta o módulo de Adquisición de Datos de salida, o tarjeta de control. La señal dentro de la memoria del PC la genera un programa adecuado a las aplicaciones que quiere el usuario y, luego de procesarla, es recibida por mecanismos que ejecutan movimientos mecánicos, a través de servomecanismos, que también son del tipo transductores.

### 3.1.2 ¿Cómo se adquieren los datos?

La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico o la propiedad física de un objeto a investigar, el cual se desea medir. Esta propiedad física o fenómeno podría ser el cambio de temperatura de una habitación, la intensidad de una fuente de luz, la presión dentro de una cámara, la fuerza aplicada a un objeto, o muchas otras cosas. Un eficaz sistema de adquisición de datos puede medir todas estas propiedades.

Un sensor es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica correspondiente medible, tal como tensión, corriente, el cambio en los valores de resistencia o condensador, etc. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores para convertir las señales de los fenómenos físicos mensurables en la adquisición de datos por hardware. Transductores son sinónimo de sensores en sistemas de DAQ. Hay transductores específicos para diferentes aplicaciones, como la medición de la temperatura, la presión, o flujo de fluidos. DAQ también despliega diversas técnicas de acondicionamiento de Señales para modificar adecuadamente diferentes señales eléctricas en tensión.

El acondicionamiento de señales suele ser necesario si la señal desde el transductor no es adecuado para la DAQ. La señal puede ser amplificada o desamplificada, o puede requerir de filtrado, o un cierre patronal, en el amplificador se incluye para realizar su modulación. Varios otros ejemplos de acondicionamiento de señales podría ser el puente de conclusión, la prestación actual de tensión o excitación al sensor, el aislamiento, linealización, etc. Este tratamiento previo de la señal normalmente lo realiza un pequeño módulo acoplado al transductor.

El hardware del DAQ son por lo general las interfaces entre la señal y un PC. Podría ser en forma de módulos que pueden ser conectados a la computadora de los puertos (paralelo, serie, USB, etc...) o ranuras de las tarjetas conectadas a (PCI, ISA) en la placa madre. Por lo general, el espacio en la parte posterior de una tarjeta PCI es demasiado pequeño para todas las conexiones necesarias, de modo que una ruptura de caja externa es obligatorio. Las tarjetas DAQ a menudo contienen múltiples componentes (multiplexores, ADC, DAC, TTL-IO, temporizadores de alta velocidad, memoria RAM). Estos son accesibles a través de un bus por un micro controlador, que puede ejecutar pequeños programas. El controlador es más flexible que una unidad lógica dura

cableada, pero más barato que una CPU de modo que es correcto para bloquear con simples bucles de preguntas.

El Driver software normalmente viene con el hardware DAQ o de otros proveedores, y permite que el sistema operativo pueda reconocer el hardware DAQ y dar así a los programas acceso a las señales de lectura por el hardware DAQ. Un buen conductor ofrece un alto y bajo nivel de acceso.

Ejemplos de Sistemas de Adquisición y control: el DAQ sirve para obtener datos medioambientales ya sean de energías renovables e ingeniería verde. El DAQ para audio y vibraciones mantenimiento, test. El DAQ de control de movimiento sirve como corte con laser. El DAQ de control de movimiento y la visión artificial nos analiza a los robots modernos.



Figura 3.2 Esquema de Adquisidor de Datos. [3.3]

### 3.2 Estación Meteorológica.

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

Tabla 3.1 Clasificación de los instrumentos interiores y exteriores de una estación meteorológica.

Instrumentos	Exterior son:	Interior son:
El pluviómetro	X	
El anemómetro	X	
La veleta.	X	
El higrómetro		X
El barómetro		X
El medidor de radiación Solar	X	
El velocímetro		X
El termómetro		X



Figura 3.3 Estación Meteorológica. [3.7]

Esta estación tiene ciertos instrumentos en su interior y otros en el exterior. La razón de que algunos instrumentos no estén en el exterior de la caseta es que no deben tener un contacto directo con la radiación solar, la humedad meteorológica, aunque el aire si debe circular por el interior y es por esta razón que los instrumentos meteorológicos de una estación se encuentran al alcance de la radiación, el viento, y se sitúan en el exterior de esta caseta.

Los instrumentos comunes y variables que se miden en una estación meteorológica incluyen:

- Termómetro.
- Termógrafo.
- Barómetro.
- Pluviómetro.
- Psicómetro.
- Piranómetro.
- Anemómetro.
- Pirheliómetro.

La mayor parte de las estaciones meteorológicas están automatizadas (E.M.A.) requiriendo un mantenimiento ocasional. Además, existen observatorios meteorológicos sinópticos, que sí cuentan con personal (observadores de meteorología), de forma que además de los datos anteriormente señalados se pueden obtener aquellos relativos a nubes (cantidad, altura, tipo), visibilidad y tiempo presente y pasado. La recopilación de estos datos se denomina observación sinóptica.

A continuación se dará una breve descripción de cada uno de los instrumentos.

### 3.2.1 Termómetro.

El termómetro es un instrumento de medición de temperatura. Desde su invención ha evolucionado mucho, principalmente a partir del desarrollo de los termómetros electrónicos digitales.

Inicialmente se fabricaron aprovechando el fenómeno de la dilatación, por lo que se prefería el uso de materiales con elevado coeficiente de dilatación, de modo que, al aumentar la temperatura, su estiramiento era fácilmente visible. El metal base que se utilizaba en este tipo de termómetros ha sido el mercurio, encerrado en un tubo de vidrio que incorporaba una escala graduada.

Uno de los termómetros más utilizados es el digital, ya que es de fácil instalación y su lectura no requiere de un mayor esfuerzo, a los termómetros también se les llama termopar.



Figura 3.4 Termómetro Digital y Analógico. [3.4]

### 3.2.2. Termógrafo.

Instrumento para registrar las variaciones de temperatura en función del tiempo. El elemento sensible a la temperatura es un doble anillo bimetalico cuya característica principal es el bajo coeficiente de retardo (permite registrar variaciones rápidas de temperatura)

Dicho elemento, que puede ser fácilmente calibrado, está ubicado fuera de la caja de modo de permitir una buena exposición y se encuentra debidamente protegido contra golpes accidentales. El reloj, con 8 días de autonomía, está fijado a la base del instrumento y por lo tanto, para reemplazar la carátula, sólo es necesario retirar el tambor de registro. Un engranaje doble rebatible, colocado bajo el tambor, permite variar el período de registro de diario a semanal. Las fajas diagramadas poseen las divisiones de tiempo necesarias para uso diario y semanal.



Figura 3.5 Termógrafo. [3.5]

### 3.2.3 Barómetro.

Un barómetro es un instrumento que mide la presión atmosférica. La presión atmosférica es el peso por unidad de superficie ejercida por la atmósfera. Uno de los barómetros más conocidos es el de mercurio.

Está formado por un tubo de vidrio de unos 850 mm de altura, cerrado por el extremo superior y abierto por el inferior. El tubo se llena de mercurio, se invierte y se coloca el extremo abierto en un recipiente lleno del mismo líquido. Si entonces se destapa se verá que el mercurio del tubo desciende unos centímetros, dejando en la parte superior un espacio vacío (cámara barométrica o vacío de Torricelli).



Figura 3.6 Barómetro. [3.5]

### 3.2.4. Pluviómetro.

El pluviómetro es un instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recolección y medición de la precipitación.

La cantidad de agua caída se expresa en milímetros de altura. El diseño básico de un pluviómetro consiste en una abertura superior (de área conocida) de entrada de agua al recipiente, que luego es dirigida a través de un embudo hacia un colector donde se deposita y puede medirse visualmente con una regla graduada o mediante el peso del agua depositada. Normalmente la lectura se realiza cada 12 horas. Un litro caído en un metro cuadrado alcanzaría una altura de 1 milímetro. Para la medida de nieve se considera que el espesor de nieve equivale aproximadamente a diez veces el equivalente de agua.

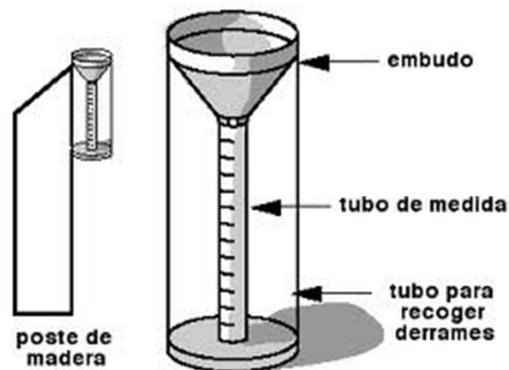


Figura 3.7 Pluviómetro. [3.5]

### 3.2.5 Piranómetro.

Un piranómetro (también llamado solarímetro y actinómetro) es un instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar ( $KV \text{ por } m^2$ ) en un campo de  $180^\circ$ .

Generalmente se utilizan tres medidas de radiación: semiesférica total, difusa y directa. Para las medidas de radiación difusa y semiesférica la radiación directa se suprime utilizando un disco parasol. El principio físico utilizado generalmente en la medida es un termopar sobre el que incide la radiación a través de dos cúpulas semiesféricas de vidrio. Las medidas se expresan en  $KW/m^2$ .

Un ejemplo de piranómetro es el de *Kipp y Zonen*, que se constituye por una pila termoeléctrica contenida en un alojamiento con dos semiesferas de cristal. La pila termoeléctrica está constituida por una serie de termopares colocados horizontalmente, cuyos extremos están soldados con unas barras de cobre verticales solidarias a una placa de latón maciza. El conjunto está pintado con un barniz negro, para absorber la radiación. El flujo de calor originado por la radiación se transmite a la termopila, generándose una tensión eléctrica proporcional a la diferencia de temperatura entre los metales de los termopares.



Figura 3.8 Piranómetro. [3.5]

### 3.2.6. Anemómetro.

Un anemómetro es un aparato destinado a medir la velocidad relativa del viento que incide sobre él. Si el anemómetro está fijo colocado en tierra, entonces medirá la velocidad del viento presente, pero si está colocado en un objeto en movimiento, puede servir para apreciar la velocidad de movimiento relativo del objeto con respecto al viento en calma.

#### **Como funciona**

Para medir la velocidad relativa del viento es necesario utilizar algún proceso físico cuya magnitud varíe según una regla fija con respecto a la variación de esa velocidad. En la práctica entre otros se usan:

1. La variación de velocidad de rotación de una hélice sometida al viento.
2. La fuerza que se obtiene al enfrentar una superficie al viento.
3. La diferencia de temperatura entre dos filamentos calentados por igual, uno sometido al viento y otro en calma.
4. Aprovechando la presión aerodinámica producida en una superficie enfrentada al viento.
5. Otros métodos ultrasónicos o de láser.



Figura 3.9 Anemómetro. [3.5]

### 3.2.7 Heliógrafo.

El heliógrafo es un aparato meteorológico que mide la duración de la insolación diaria.

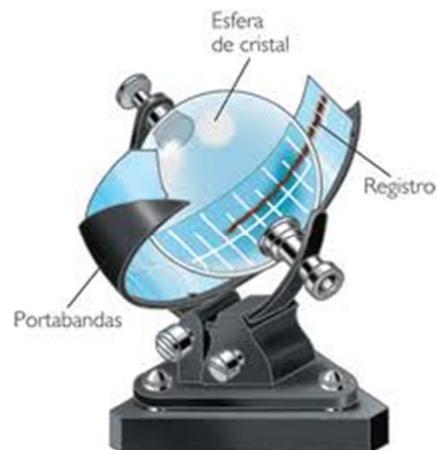


Figura 3.10 Heliógrafo y su funcionamiento. [3.5]

La duración de la insolación se halla concentrando los rayos solares sobre una banda de cartulina teñida de azul que se quema en el punto en que se forma la imagen del sol. Se utiliza como localizador una esfera de cristal, de forma que no es necesario mover este foco constantemente debido al movimiento aparente del sol a lo largo del día y del estacionario.

La banda se fija por medio de ranuras a un soporte curvo y concéntrico con la esfera y tiene impresa una escala de 30 minutos. Si el sol luce durante todo el día sobre la banda se forma una traza carbonizada continua y la duración de la insolación se determina midiendo la longitud de la traza carbonizada. Si el sol brilla de forma

discontinua, dicha traza es intermitente. En este caso, la insolación se determina sumando la longitud de las trazas resultantes.

### 3.2.8 Pirheliómetro.

Los pirheliómetros sirven para medir la radiación solar directa. Tienen una abertura y una cara de recepción que debe permanecer siempre normal a los rayos solares.

Existen varios tipos de pirheliómetros y dependiendo de la inversión disponible para los instrumentos de medida, de los objetivos de precisión y de otros condicionamientos relacionados, se seleccionará la utilización de unos u otros en una campaña de medida.

#### **Pirheliómetro patrones primarios (absolutos).**

Los pirheliómetros absolutos de diseño moderno utilizan receptores de cavidad y, como sensores, medidores diferenciales de flujo calorífico calibrados eléctricamente.

#### **Pirheliómetros patrones secundarios.**

El pirheliómetro de compensación Ångström es un instrumento muy adecuado para la calibración de piranómetros y otros pirheliómetros. Fue diseñado como instrumento absoluto, aunque en la actualidad se utiliza como patrón secundario y debe calibrarse por comparación con un instrumento patrón.

El pirheliómetro de disco de plata es un instrumento de referencia que siempre debe calibrarse por comparación con un patrón primario. Presenta buena estabilidad y todavía se utiliza para calibrar piranómetros y pirheliómetros.

#### **Pirheliómetros de primera y segunda clase.**

Estos pirheliómetros son los que se usan más frecuentemente. Utilizan generalmente termopilas como detectores. Se emplean para un registro continuo de la radiación solar. Pueden utilizarse para la calibración de los instrumentos de una red. A su vez, es necesario calibrarlos por comparación con patrones primarios o secundarios. La precisión en el transcurso de un año y para todas las condiciones ambientales durante el empleo del instrumento debe ser superior al uno por ciento para un pirheliómetro de primera clase y al dos por ciento para uno de segunda. Otro aspecto importante del instrumento es el tiempo de respuesta. Se recomienda un tiempo de respuesta máximo de diez segundos para los instrumentos de primera clase y de treinta segundos para los de segunda clase.



Figura 3.11 Pirheliómetro. [3.5]

## **CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE LA PLATAFORMA SOLAR PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA.**

En este capítulo se describirá la propuesta de nuestra plataforma, es decir, la ubicación en la Facultad de Ingeniería, los concentradores solares que tendrá, así como la cotización de los equipos que se utilizarán para la estación meteorológica y el sistema de adquisición de datos.

### **4.1.- Ubicación de la Plataforma dentro de la Facultad de Ingeniería.**

A continuación se describirá de una manera general la ubicación tentativa que tendrá la Plataforma Solar dentro del Edificio Principal o también llamado Conjunto Norte de la Facultad de Ingeniería, la cual es en la azotea del Laboratorio de Máquinas Térmicas. Se eligió esta área debido a que es una de las zonas donde se concentra gran radiación solar durante todo el año, además de que tiene un gran terreno de superficie el cual se puede aprovechar sin afectar las actividades que se generan en su entorno. Este croquis se puede consultar en la figura 4.1, la cual nos muestra los edificios colindantes para su mejor ubicación.

Se dará el nombre de cada uno de los edificios de dicho conjunto:

- A – Edificio de la Dirección.
- B – Edificio del Circuito Principal.
- C – Edificio Colindante a Arquitectura.
- D – Zona de Laboratorios.
- E – Edificio de USECAD.

F – Edificio de Ingeniería de Minas y Metalurgia.

1 – Auditorio Javier Barros Sierra.

2 – Biblioteca Antonio Dovalí Jaime.

3 – Aula Magna.

Aproximadamente el tamaño de la superficie que se utilizará es de 25.8 m de largo y 15.5 m de ancho, en la cual se distribuirán los colectores de canal parabólico, los colectores cilindro- parabólico, los captadores solares y un horno solar; además de cómo ya se describió anteriormente se colocará una estación meteorológica y un sistema de adquisición de datos.

Cada una de estas estaciones tendrá sus equipos de medición para tomar todas las lecturas necesarias para el análisis de los colectores solares.

Cada concentrador solar tendrá medidas fijas y que se ubicarán en la mejor posición posible para su captar y concentrar la radiación solar.

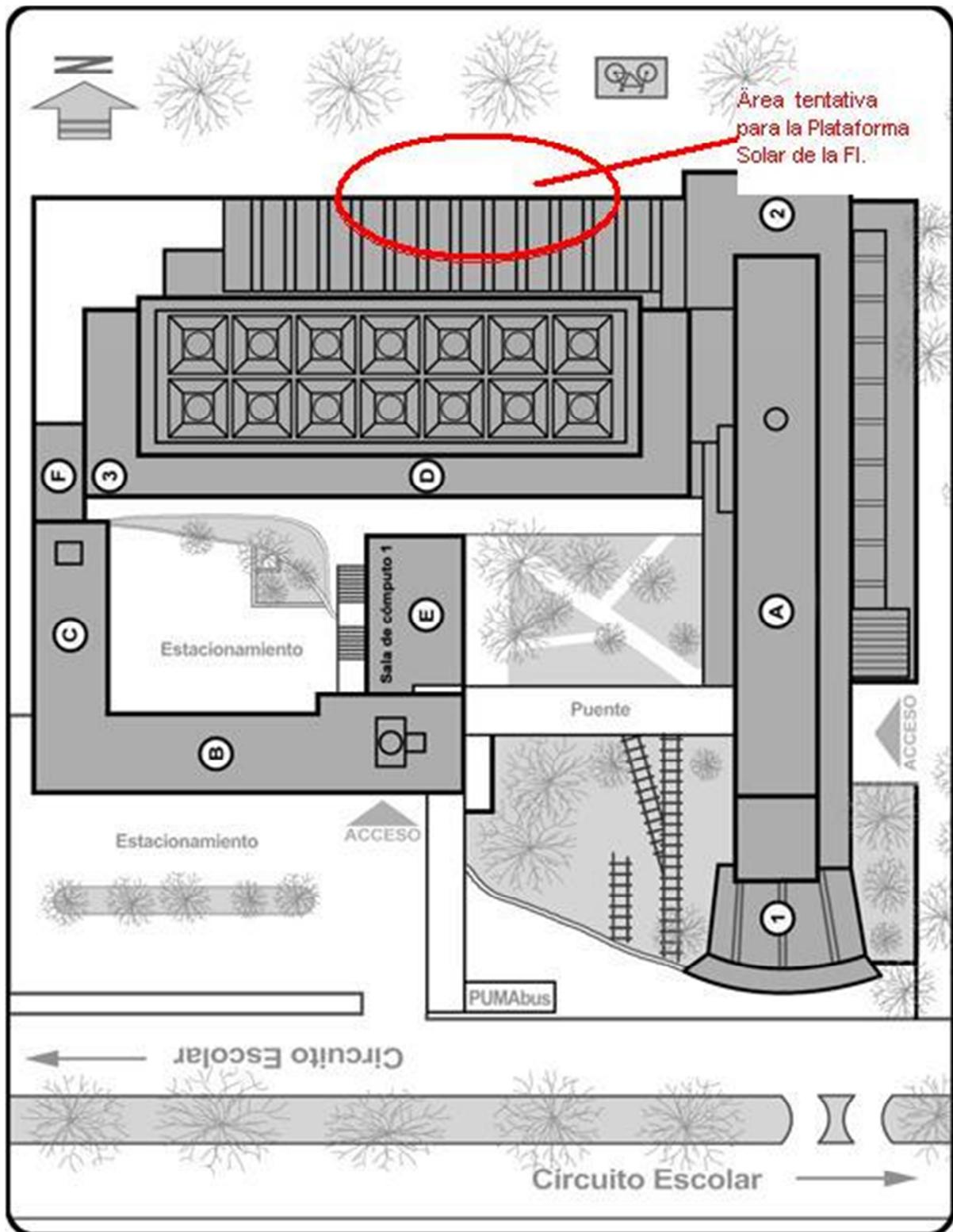


Figura 4.1 Croquis del Edificio Principal o Conjunto Norte de la Facultad de Ingeniería. [4.1]

En la zona, antes señalada colocaremos los colectores solares, los cuales estarán ordenados de la siguiente manera.

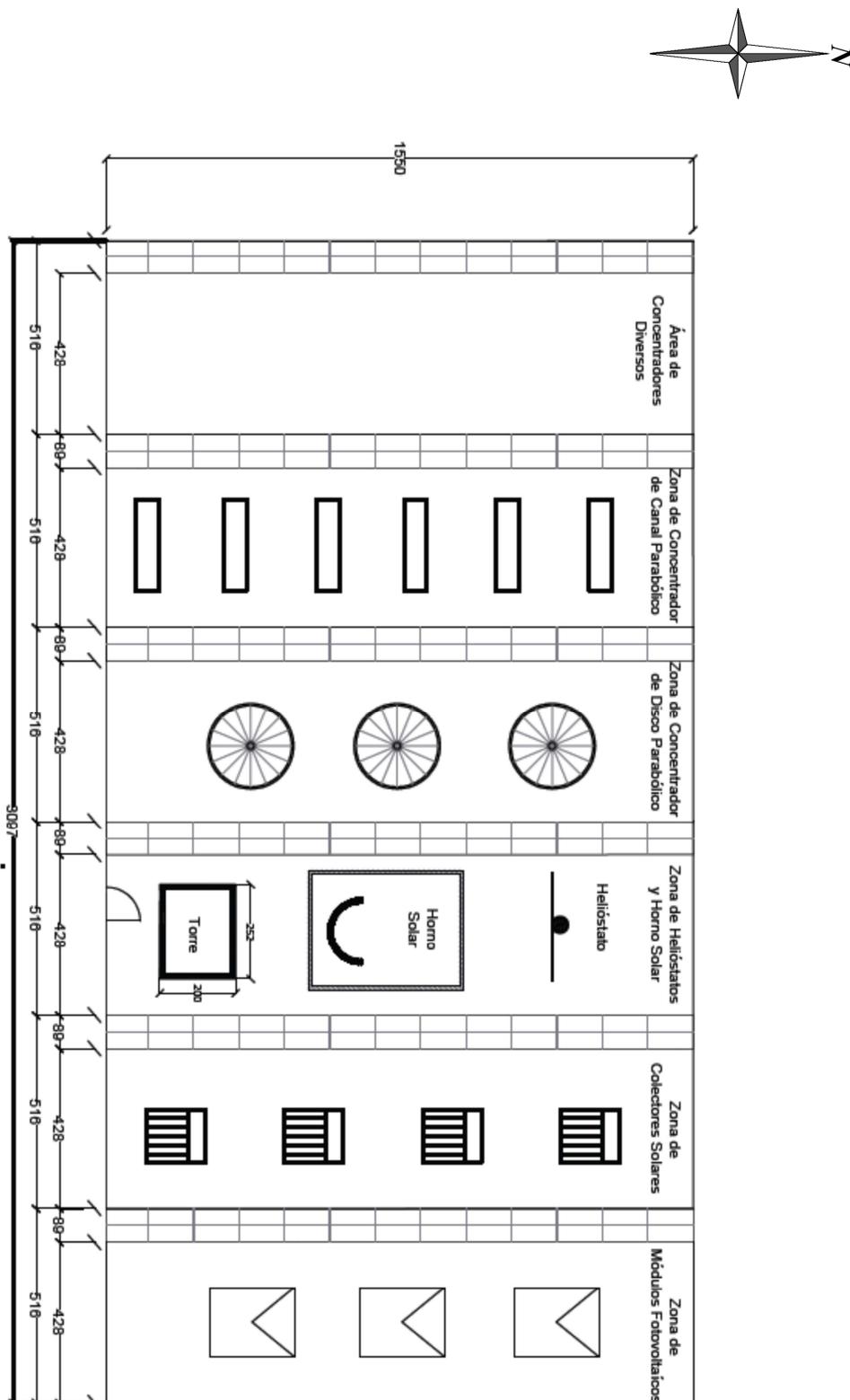


Figura 4.2 Diseño de Plataforma Solar en la Facultad de Ingeniería. Fecha de realización del plano 21 de agosto del 2013.



Figura 4.3 Imagen de la ubicación de la Plataforma Solar en la Facultad de Ingeniería.  
Fecha de captura de la imagen 24 de junio del 2013.



Figura 4.4 Imagen de la ubicación de la Plataforma Solar en la Facultad de Ingeniería.  
Fecha de captura de la imagen 14 de agosto del 2013.

#### 4.2.- Dimensiones y diseño de los concentradores solares.

Describiremos brevemente los concentradores que utilizaremos en la Plataforma Solar, para así tener una idea más general de los componentes que habrá en ella.

- Concentrador Solar de Disco Parabólico.

El concentrador que utilizaremos tendrá una altura de 2.04 m. tomando la medida desde la base; su ancho es de 1.45 m. y una profundidad de 1.40 m.

El plato del concentrador tiene un radio exterior de 0.98 cm y un radio interior de 0.16 cm; su fabricación se hizo dentro de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería por alumnos de la misma institución.



(a)

(b)

Figura 4.5 (a) Imagen del Plato del Concentrador Solar.  
(b) Imagen del Concentrador Solar de Disco Parabólico.  
Fecha de captura de la imagen 24 de junio del 2013.

- Captador Solar.

El captador solar tendrá una forma rectangular (como se muestra en la figura 4.5), sus medidas son 2 m. de largo por 1.65 m. de altura, los cuales están ordenados en parejas cubriendo una ancho de 4 m por 1.65 m. de altura.



Figura 4.6 Imagen del Captador Solar de la Facultad de Ingeniería.  
Fecha de captura de la imagen 14 de agosto del 2013.

- Concentrador Solar de Tubos Evacuados.

Este concentrador tiene la finalidad de captar la radiación para posteriormente concentrarla, y gracias al tanque que tiene, esta radiación elevará la temperatura del agua, en la figura 4.6 se puede apreciar el concentrador sus medidas vistas desde perfil son las siguientes:

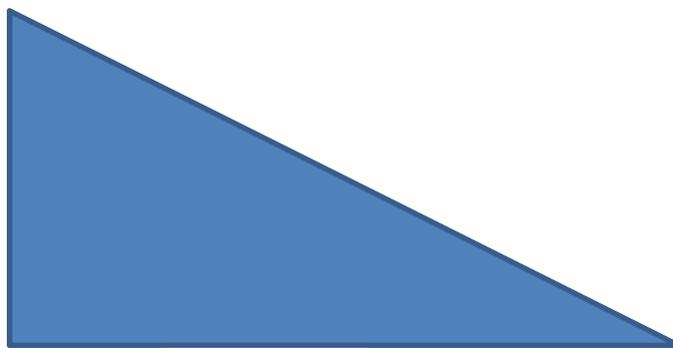


Figura 4.7 Medidas del Concentrador Solar de Tubos Evacuados de la Facultad de Ingeniería.  
Fecha de realización 24 de junio del 2013.



Figura 4.8 Imagen del Concentrador Solar de Tubos Evacuados de la Facultad de Ingeniería.  
Fecha de captura de la imagen 14 de agosto del 2013.

- Concentrador Solar de Canal Parabólico.

Este concentrador tiene la finalidad de concentrar la radiación mediante un receptor a lo largo de toda su geometría, o mejor dicho, de su canal y gracias a esto el fluido de trabajo elevará su temperatura, dado que se encuentra a lo largo de todo el concentrador. Las medidas son de largo 2.42m y de ancho 0.61m, ver figura 4.9.



Figura 4.9 Imagen del Concentrador Solar de Canal Parabólico de la Facultad de Ingeniería.  
Fecha de captura de la imagen 21 de agosto del 2013.

#### 4.3.- Cotización del Precio de los equipos.

Anemómetro de copa, barómetro, medidor de humedad, y medidor de temperatura.

- Unidades del Barómetro: hPa, mmHg, inHg.  
Rango de medida de 10 a 1,100 hPa.
- Unidades del anemómetro: m/s, Km/h, FPM, mph, Knot.  
Rango de medida 0.9 a 35 m/s
- Medición de humedad con punto de rocío.  
Rango de medida de 10% al 95% RH.
- Medición de temperatura con unidades de °C, °F.  
Rango de medición de 0°C a 50 °C
- Opera con 4 baterías DC 1.5V.
- Su precio es de \$350 USD MÁS IVA.



Figura 4.10 Anemómetro 4 en 1. [4.2]

Termómetro Digital.

- Unidades del termómetro: °C y °F.  
Rango de medida de -50 a 1,300 °C.
- Sensor termocople tipo K.
- Retención de datos, retención de la medida máxima registrada.
- Opera con 1 batería DC 9V.
- Tiene un precio de \$265 USD MÁS IVA.



Figura 4.11 Termómetro. [4.2]

#### Pluviómetro.

- Sus medidas son 125mm x 310mm, con una masa de 391g.
- Tapa removible para evitar la evaporación.
- Muy confiable para sus mediciones, incluso para cantidades de lluvia pequeñas.
- Su precio es de \$23 USD.



Figura 4.12 Pluviómetro. [4.3]

#### Estación Meteorológica.

- Toma medidas hasta a una distancia de 300m entre el módulo de sensores integrados y la consola.
- Contiene un colector de lluvia, la cual la mide con una resolución de 0.01”.
- El anemómetro registra velocidades de viento desde 3 hasta 290 Km/h.
- Tiene una cubierta impermeable, la cual evita la corrosión y mantiene a los componentes electrónicos a salvo de la humedad.
- Mide la temperatura e un rango de -40 °C a 65 °C, también mide la humedad relativa de un 0% hasta un 100%.
- Su fuente de alimentación es por medio de un panel solar.
- Su precio es de \$456 USD.



Figura 4.13 Estación Meteorológica. [4.3]

#### Termómetro Digital de Contacto.

- Sus unidades de medición son °C y °F.
- Su rango de medición es de -100°C a 1,300°C
- Se le pueden conectar dos tipos de termopares diferentes. ( K y J)
- Puede almacenar la temperatura tanto máxima como mínima.
- Tiene un precio de \$279.90 USD MÁS IVA.



Figura 4.14 Termómetro Digital de Contacto. [4.4]

#### Anemómetro Digital.

- Sus unidades de medición son m/s, Km/Hr, pie/min y mph
- Su rango de medición es de 0.36 a 108 Km/Hr
- Interfaz USB.
- Puede almacenar hasta 99 mediciones.
- Tiene un precio de \$254.40 USD MÁS IVA.



Figura 4.15 Anemómetro Digital. [4.4]

Medidor de radiación fijo.

- Sus unidades de medición son  $W/m^2$  o Btu.
- Su rango de medición es de 0 a  $2,000 W/m^2$
- Puede almacenar hasta 99 lecturas.
- Tiene la capacidad de almacenar la radiación máxima y mínima.
- Tiene un precio de \$495 USD MÁS IVA.



Figura 4.16 Medidor de Radiación Solar. [4.2]

Estación Meteorológica.

- Mide la temperatura, humedad, punto de rocío, anémometro, pluviómetro y presión atmosférica.
- Mide y almacena las temperaturas máximas y mínimas.  $W/m^2$
- Sus rangos y unidades son: humedad relativa 2-98 %; barómetro mB, hPa inHg y mmHg alcance de medición 700-1050mB / hPa; anemómetro unidad de velocidad del viento m/s , kph, Mph/ Nudos; pluviómetro Alcance 0mm / hr-9999 mm/ Hr.
- Tiene un precio de \$354 USD MÁS IVA.



Figura 4.17 Estación meteorológica. [4.5]

#### Higrómetro.

- Mide la temperatura, humedad, punto de rocío.
- Cuenta con alarma para informar cuando se ha superado una lectura establecida.
- Sus rangos y unidades son: temperatura de -10 a 60°C ó 14 a 140°F; humedad relativa 20-98 %.
- Tiene un precio de \$99 USD MÁS IVA.



Figura 4.18 Higrómetro. [4.5]

### Higrómetro.

- Tiene una precisión del 0% al 90%.
- Hace mediciones en fracciones de segundos.
- Almacena las lecturas tanto máximas como mínimas.
- Su precio es de \$155.70 USD MÁS IVA.



Figura 4.19 Higrómetro. [4.4]

### Pluviómetro Electrónico.

- Se vacía automáticamente cuando ha rebasado la medida que se le registro.
- Puede almacenar las lecturas de hasta una semana anterior.
- Tiene una desviación máxima de +/- 2% de precisión.
- Su precio es de \$105 USD MÁS IVA.



Figura 4.20 Pluviómetro Electrónico. [4.7]

Medidor de Radiación Solar Portátil.

- Tiene cinco canales diferentes, para sus diferentes medidas.
- Puede realizar la lectura en Rangos Gama y Beta.
- Tiene una precisión del 15%.
- Su precio es de \$470 USD MÁS IVA.



Figura 4.21 Medidor de Radiación Solar Portátil. [4.4]

Tabla 4.1. Cotización final de los equipos que se utilizaran para la Plataforma Solar.

<b>COTIZACIÓN FINAL DE LOS APARATOS DE MEDICIÓN.</b>		
Anemómetro	\$350	\$254.40
Termómetro	\$279	\$265
Pluviómetro	\$105	\$28
Estación Meteorológica	\$354	\$456
Medidor de Radiación	\$470	\$495
Higrómetro	\$99	\$155.70
<b>TOTAL NETO</b>	<b>\$1,657</b>	<b>\$1,654.10</b>
<b>TOTAL MAS IVA</b>	<b>\$1,922.12</b>	<b>\$1,918.76</b>

NOTA: El IVA es del 16 % sobre el valor neto, y todos los precios están en dólares.

## **CONCLUSIONES.**

En general el propósito del proyecto se cumplió satisfactoriamente, debido a que es muy viable poder realizar la construcción de la Plataforma Solar en las Instalaciones de la Facultad de Ingeniería, en la parte de la azotea de los Laboratorios de Máquinas Térmicas.

La concentración solar que se da en esa zona es la adecuada para el fin de la Plataforma, ya que nos permite colocar una gran variedad de concentradores y captadores solares distribuidos de manera uniforme y que cada uno de ellos concentre y capte, respectivamente, la radiación solar y podamos hacer las mediciones y los cálculos pertinentes en cada uno.

La zona tiene la ventaja de poder colocar en las instalaciones una estación meteorológica y los elementos que se necesiten, tales como, un sistema adquisidor de datos, y los elementos que en ella se necesiten, además de que también contamos con la gran ventaja de colocar un horno solar.

Los concentradores solares de canal parabólico, disco parabólico y de tubos evacuados, ya están contruidos y listos para su instalación, las medidas o dimensiones de cada uno de ellos se hicieron en base al área que deberán de ocupar, además de la captación solar que se desea que tengan cada uno de ellos.

Uno de los inconvenientes que se encontraron para la realización de este proyecto fue el presupuesto necesario para la adquisición de los instrumentos de medición, ya que, es de aproximadamente \$1,900 USD y se requieren de proveedores que puedan dar los recursos necesarios y continuar con la realización del proyecto.

Otra de las desventajas que se pudieron apreciar fue la del área de acceso, la cual es muy pequeña para que podamos introducir un concentrador de gran tamaño, además de que es un área peligrosa debido a que no cuenta con bardas que delimiten nuestro espacio de trabajo y esto puede provocar algún accidente, así que se sugiere que se debe de colocar una barda como protección.

Para concluir sería necesario añadir que este proyecto no concluye aquí, sino que se debe de dar un seguimiento, debe a que esta tesis tienen como finalidad la de dar una propuesta para la instalación de la Plataforma Solar, sin embargo, hay que continuar con la instalación de los captadores y concentradores solares, la construcción del horno solar, comenzar a buscar el presupuesto económico necesario para la adquisición de los equipos de medición, y sobretodo dar a conocer en toda la comunidad universitaria dicha Plataforma para que se le dé el uso adecuado y puedan venir a entender de una forma más específica los conocimientos adquiridas en el aula con un Laboratorio de Energía Solar.

## **BIBLIOGRAFIA.**

- [1.1]- Duffie, John A., Beckman, William A. “*Solar Engineering of Thermal Processes.*” 3° edición. Editorial John Wiley & Sons Inc. 2006. EUA.
- [1.2]-Richard H. Montgomery. “*Energía Solar: selección del equipo, instalación y aprovechamiento.*” 1° edición. Editorial Limusa. 1986. México.
- [1.3]-Rafael Almanza Salgado, Felipe Muñoz Gutiérrez. “*Ingeniería de la Energía Solar.*” 1° edición. Editorial El Colegio Nacional. 1994. México.
- [1.4]-Castro Gil M. “*Energía Solar Térmica de Baja Temperatura.*” Serie de monografías técnicas de energías renovables. Editorial Progenisa. 2000. España.
- [1.5]-Fernández Salgado José M., Gallardo Rodríguez Vicente. “*Energía Solar Térmica en la Edificación.*” 1° edición. AMV EDICIONES. 2004. México.
- [1.6]-Beltrán Madrigal Josslyn. Tesis “Nuevos Diseños de Pantallas Nulas para la prueba de un Concentrador Cilíndrico Parabólico.” 2011. Facultad de Ciencias, UNAM.
- [1.7]-Ramírez Ramos Everardo Lenin. Tesis “Los Colectores Solares en México.” 2009. Facultad de Estudios Superiores-Aragón. UNAM.
- [1.8]-Zarza Moya Eduardo. Tesis “Generación Directa de Vapor con Colectores Solares Cilindro-Parabólico Proyect Direct Solar Steam (DISS).” 2003. Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Sevilla.
- [1.9]-Yunus A. Cengel; Michael A. Boles. “*Termodinámica.*” 5° edición. McGrawHill. 2006. México.
- [1.10] <http://www.tecnologiasapropiadas.com/biblioteca/CeutaEnergiaSolarParte3.pdf>  
Imagen tomada del sitio de Energía Solar. (Fecha de consulta 14 de septiembre del 2012)

[1.11] <http://www.jcyl.es/web/jcyl>. Imagen de la Universidad Junta de Castilla y León. (Fecha de consulta 28 de septiembre del 2012)

[1.12] <http://www.ies.upm.es/> Imagen de Energías Renovables y Medio Ambiente. (Fecha de Consulta 16 de mayo del 2012).

[1.13] <http://www.cienciasmísticas.com.ar/tecno/solar1.html> Imagen de Central Mareomotriz de Swansea. (Fecha de Consulta 12 de abril del 2012)

[1.14] <http://www.sodean.es> Imagen de adrformacion. (Fecha de consulta 12 de mayo del 2013)

[1.15] <http://www.ambienteescolar.com> Imagen de Ambiente Escolar, tomada del sitio (Fecha de consulta 14 de agosto del 2012).

[1.16] <http://www.terra.org/categorias/articulos> Imagen de Cocinar Bajo el Sol, tomada del sitio (Fecha de consulta 02 de julio del 2012).

[1.17] <http://www.placa-solar.com/colectores-solares> Imagen de Placas Solares, tomada del sitio (Fecha de consulta 07 de agosto del 2012)

[1.18] <http://energiadoblezero.com/energias-renovables/energia-termosolar>. Imagen de Todo sobre energías renovables. (Fecha de consulta 14 de junio del 2012)

[1.19] <http://www.energiamadre.com/energias-renovables-energia-solar-termoelectrica> Imagen de Energías Renovables y Medio Ambiente. (Fecha de Consulta 16 de julio del 2012)

[2.1]-Flamant G., Luxemburgo D., Robert JF, Laplaze D., *“Optimización de la síntesis de fullerenos en un reactor solar de 50 kW.”* 2004. Francia

[2.2]-T. Ait Ahcene, Monty C., J. Kouam, Thorel A., G. Petot-Ervas, A. Djemel. *“Preparación por deposición física de vapor solar (SPVD) y el estudio de la nanoestructuras puro y dopado con Bi nanopulvos ZnO.”* Diario de la Unión Europea de Cerámica Sociedad. 2007. Unión Europea.

[2.3]- Petrasch J., P. Coray, A. Meier, M. Brack, P. Haerberling, D. Wuillemin, A. Steinfeld, "Un hombre de 50 kW de 11,000 paneles solares novela de alto flujo simulador solar sobre la base de una serie de lámparas de xenón de arco." 2007. ASME Journal of Solar Energy Engineering, vol. 129, No. 4, pp 405-411.

[2.4]-Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado e la Republica. “Nuevas Energías Renovables, una iniciativa energética sustentable para México.” 2004.

[2.5]-Jaramillo Delgado, Oscar Alfredo. Tesis “Transporte de Energía Solar Concentrada a través de fibras ópticas: acoplamiento fibra-concentrador y estudio térmico.” 1998.

Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. UNAM.

[2.6] <http://twenergy.com/energia-solar> Imagen de Energías Renovables, una iniciativa de Endesa. (Fecha de consulta 22 de mayo del 2012)

[2.7] <http://www.sandia.gov/> Imagen de Laboratorios Sandia. (Fecha de consulta 11 de julio del 2012)

[2.8] <http://www.sollab.eu/> Imagen del sitio oficial de Alianza de los Laboratorios Europeos de Investigación y Tecnología en Sistemas de Concentración Solar. (Fecha de Consulta 23 de julio del 2012)

[2.9] <http://www.cie.unam.mx/LNSCS/> Imagen tomada del sitio oficial del Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química. (Fecha de consulta 28 de julio del 2012)

[2.10] <http://www.promes.cnrs.fr/> Imagen del Centro Nacional para la Investigación Científica de Francia. (Fecha de consulta 15 de junio del 2012)

[2.11] <http://www.dlr.de/sf/en> Imagen del sitio oficial DLR. (Fecha de consulta 22 de mayo del 2013)

[2.12] <http://energy.sandia.gov> Imagen de los Laboratorios Sandia en EUA. (Fecha de consulta 25 de julio del 2012)

[2.13] <http://solar.web.psi.ch> Sitio Oficial del Instituto Paul Scherrer en Suiza (Fecha de Consulta el 25 de mayo del 2012)

[2.14] <http://www.psa.es> Imagen de La Plataforma Solar de Almería. (Fecha de consulta 23 de junio del 2012).

[2.15] <http://www.enea.it> Imagen tomada del sitio oficial de investigación en Italia (ENEA). (Fecha de consulta 24 de junio del 2013)

[2.16] <http://www.zean.com.ar> Sitio Oficial de Investigación y Difusión de soluciones sustentables, energía renovable, arte, espiritualidad y expresión en Argentina. (Fecha de consulta el 11 de mayo del 2012)

[2.17] <http://www.solarserver.de/solarmagazin> Imagen de Solar Server (Das Internetportal zur Sonnenenergie). (Fecha de consulta 30 de junio del 2012)

[2.18] <http://www.termosolar.renovetec.com> Imagen tomada de Renovetec. (Fecha de consulta 18 de julio del 2012)

[2.19] <http://www.es.lowtechmagazine.com/2012> Imagen tomada de la Revista de Baja Tecnología. (Fecha de consulta 24 de abril del 2013)

[2.20] <http://www.anes.org/anes/index.php?option> Imagen tomada del sitio oficial Australian National University. (Fecha de consulta 24 de junio del 2013)

[2.21] [http://www.tendencias21.net/Torre-solar-en-Australia\\_a12.html](http://www.tendencias21.net/Torre-solar-en-Australia_a12.html) Imagen tomada de la revista oficial Tendencias Tecnológicas. (Fecha de consulta 28 de mayo del 2013)

[3.1]-Mercado, Nicolas; Pianezzola, Luis. “Instrumento adquisidor de datos para monitoreo y control de un secadero de alimentos”. 2009. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

[3.2]- Rojas Morín, Armando. Tesis “Diseño Mecánico de una Estructura tipo Ecuatorial y caracterización térmica del receptor de un concentrador solar de foco puntual con ángulo de apertura de 90°” 2006. Centro de Investigación en Energía. UNAM.

[3.3] - Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, Venezuela.  
<http://uvero.adm.ula.ve> (Fecha de Consulta el 24 de septiembre del 2012)

[3.4] <http://www.homedepot.com> Sitio Oficial de Home Depot. (Fecha de Consulta el 04 de octubre del 2012)

[3.5] <http://www.dunhoff.com> Imagen tomada del sitio oficial de Dunhoff, Productos y Soluciones Industriales. (Fecha de consulta 15 de septiembre del 2012)

[3.6] Yunus A. Cengel, Jhon M. Cimbala. “Mecánica de Fluidos, Fundamentos y Aplicaciones”. 1° edición. McGrawHill. 2006. México.

[3.7] <http://geohistoriatader.blogspot.mx> Imagen tomada del sitio Geografía e Historia. (Fecha de consulta 23 de agosto del 2012)

[4.1] <http://www.ingenieria.unam.mx> Imagen tomada del sitio oficial de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. (Fecha de consulta 15 de mayo del 2013)

[4.2] <http://twilight.mx> . Imagen tomada del sitio Twilight S.A. de C.V. (Fecha de Consulta 26 de julio del 2013)

[4.3] [http://www.sbk\\_mexico.com](http://www.sbk_mexico.com) Imagen tomada del sitio Astronomía y Meteorología S.A. de C.V. (Fecha de Consulta 14 de agosto del 2013)

[4.4] <http://www.cedesa.com.mx> Imagen tomada del sitio Componentes Electrónicos y Dispositivos Especiales. (Fecha de Consulta 14 de agosto del 2013)

[4.5] <http://tpmequipos.com> Imagen tomada del sitio Instrumentos de Medición uso Industrial Especializado. (Fecha de Consulta 23 de agosto del 2013)

[4.6] <http://www.quiminet.com> Sitio Oficial de Quiminet Información y Negocios segundo a segundo. (Fecha de Consulta 29 de julio del 2013)

[4.7] <http://www.gisiberica.com> Imagen tomada del sitio Equipos de Precisión G.I.S. Iberica. (Fecha de Consulta 24 de agosto del 2013)