



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

---

**“DISEÑO MECÁNICO DE LA ESTRUCTURA DE  
SOPORTE DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO  
INTERCONECTADO A LA RED DE LA  
UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO”**

---

**TRABAJO MONOGRÁFICO  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA**

**PRESENTA  
SAMUEL ISMAEL CHAN LÓPEZ**

**SUPERVISORES  
M.E.S. ROBERTO ACOSTA OLEA  
DR. GLISERIO ROMELI BARBOSA POOL  
DR. JOSÉ HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ**



**CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, ENERO DE 2015**



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**TRABAJO MONOGRÁFICO ELABORADO BAJO LA  
SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADA  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA**

**COMITÉ DE SUPERVISIÓN:**

**ASESOR:**

  
**M.E. S. ROBERTO ACOSTA OLEA**

**ASESOR:**

  
**DR. ROMEL GLISERIO BARBOSA POOL**

**ASESOR:**

  
**DR. JOSÉ HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ**



**CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, ENERO DE 2015**



**UNIVERSIDAD DE  
QUINTANA ROO**  
**SERVICIOS ESCOLARES**  
**TITULACIONES**

## *Dedicatoria:*

*A toda mi familia, en especial a mis padres que siempre han confiado en mí y me han apoyado sin condición.*

## *Agradecimientos:*

*A mis padres, por su invaluable apoyo en todos mis proyectos y porque sembraron en mí la semilla del deseo de superación con su ejemplo.*

*A mi esposa e hijo por ser mi inspiración y motivo de superación constante.*

*A todos los profesores que contribuyeron con esfuerzo y dedicación a mi formación.*

*A mis asesores porque sin su apoyo no hubiera podido culminar con éxito este trabajo.*

## **Resumen**

En este trabajo, se realiza el diseño mecánico de la estructura de soporte del sistema fotovoltaico interconectado a la red de 2.5 kW de la Universidad de Quintana Roo.

Para esto, se plasma la importancia de los sistemas de aprovechamiento de energía solar, principalmente, los sistemas fotovoltaicos y se realiza la descripción de estos sistemas y sus componentes. En este sentido, uno de estos componentes es la estructura de soporte.

Para el diseño de la estructura a instalar en la Universidad de Quintana Roo, se realizan cálculos necesarios para que soporte el peso mismo del sistema y sea lo suficientemente fuerte para soportar fenómenos naturales que la pudieran afectar. También, se determina el espacio donde van a ser ubicados y si tendrá movimiento o no, para aprovechar al máximo la energía solar, pero tomando en cuenta los costos.

# Índice

Resumen .....	3
Objetivos. ....	5
Capítulo I “Sistemas alternos de generación de energía” .....	6
1.1. Introducción.....	6
1.2. Sustentabilidad.....	7
1.3. Desarrollo energético sustentable en México.....	8
1.4. Estrategia nacional de Energía 2013 – 2027.....	9
1.5. Energía Solar. ....	14
1.6. Sistemas para el aprovechamiento de energía solar. ....	22
1.7. Sistemas fotovoltaicos.....	26
1.7.1. Clasificación de los sistemas fotovoltaicos. ....	27
1.7.2. Tipos de módulos fotovoltaicos.....	28
1.7.3. Generación de energía fotovoltaica. ....	30
1.7.4. Características de un módulo fotovoltaico. ....	33
1.7.5. Conexiones en serie y paralelo.....	39
1.7.6. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red. ....	40
1.7.7. Pasos a seguir para el cálculo de un sistema fotovoltaico.....	41
Capítulo II “Estructuras de soporte”.....	43
2.1. Tipos de soportes.....	46
2.2. Emplazamiento de la estructura. ....	56
2.3. Criterios de elección de soporte. ....	62
2.4. Distancia entre módulos Fotovoltaicos.....	64
Capítulo III “Diseño mecánico de la estructura de soporte del sistema fotovoltaico interconectado a la red de la Universidad de Quintana Roo”. ....	65
3.1. Sitio seleccionado. ....	65
3.2. Características de los módulo fotovoltaicos. ....	68
3.3. Fuerza del viento sobre los módulos.....	71
3.4. Selección de materiales para la estructura. ....	74
3.5. Diseño de la estructura de soporte.....	77
Comentarios finales.....	85
Bibliografía. ....	86

## **Objetivos.**

### Objetivo general

Diseñar mecánicamente la estructura para garantizar la correcta operación de un sistema fotovoltaico de 2.5 kW interconectado a la red en la Universidad de Quintana Roo.

### Objetivos específicos

1. Generar un documento con información técnica acerca de las estructuras de soporte de los sistemas fotovoltaicos.
2. Realizar la memoria de cálculo de los esfuerzos involucrados sobre la estructura de soporte.
3. Especificar el diseño de la estructura con los detalles técnicos requeridos.

# **Capítulo I “Sistemas alternos de generación de energía”.**

En este capítulo se comentará acerca de la importancia de la sustentabilidad e implementación de energías alternas, que para llevarse a cabo en México se han desarrollado estrategias nacionales de energía. Estas estrategias se abordan únicamente con el propósito de dar énfasis al uso de energía renovable.

Debido a que México se encuentra en una zona de gran potencial de energía solar, se presentará brevemente algunos aspectos referentes a características y movimientos del Sol. Posteriormente se hablará de los equipos que se utilizan en el aprovechamiento de energía solar, como son los equipos fotovoltaicos.

## **1.1. Introducción.**

La importancia que en la actualidad tienen los sistemas alternos de generación de energía es imprescindible, ya que debido a factores como el deterioro ambiental y la falta de recursos energéticos en los próximos años, hace ver un futuro incierto en cuanto al suministro de energía. Lo anterior también como consecuencia del agotamiento de las reservas de petróleo en todo el mundo, ya que este combustible es el que impulsa el funcionamiento de todo tipo de sistemas en la actualidad. Por tal motivo es urgente realizar proyectos que encaminen a la independencia de los sistemas de generación de energía provenientes de fuentes fósiles.

## **1.2. Sustentabilidad**

El concepto de desarrollo sustentable nace a partir de la década de los 80's y es impulsado como resultado de la crisis económica sufrida por los países en desarrollo.

Este término acuñado en 1987 por la comisión mundial sobre el Medio Ambiente y el desarrollo llamada comisión Brundtland, sobre desarrollo sustentable se define como aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Escobar Delgadillo, 2007).

### **1.3. Desarrollo energético sustentable en México.**

El programa sectorial de energía 2007-2012 retoma los objetivos y estrategias del plan nacional de desarrollo y propone dentro de sus objetivos, dos que están relacionados con el impulso de las energías renovables:

El primero es “equilibrar el portafolio de fuentes primarias de energía” y tiene como indicador cuantitativo aumentar la participación de las energías renovables en la capacidad de generación de energía eléctrica de un 23 a un 26%, contemplando proyectos hidroeléctricos de más de 30 MW.

El segundo objetivo es “fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles técnica, económica, ambiental y socialmente viables” y retoma el indicador del objetivo anterior.

Las energías renovables cuentan con un marco específico: La ley para el aprovechamiento de las energías renovables y el financiamiento de la transición energética (LAERFTE), que establece entre otras disposiciones una estrategia nacional para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía. En esta ley se observa una intención de promover la participación social en cada una de las etapas del programa (SENER, 2010).

## **1.4. Estrategia nacional de Energía 2013 – 2027.**

La Estrategia Nacional de Energía 2013-2027 (ENE), propicia la inclusión social de la población a los beneficios que derivan del uso de la energía, la sustentabilidad a largo plazo del sector, y la mitigación de los impactos negativos que la producción y el consumo de energéticos puedan tener sobre la salud y el medio ambiente, incluyendo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

En este documento se menciona que por mandato legal para el año 2024 se deberá generar el 35% de electricidad a partir de energías no fósiles.

Dentro de los temas estratégicos, los que mencionan las fuentes de energía alterna son:

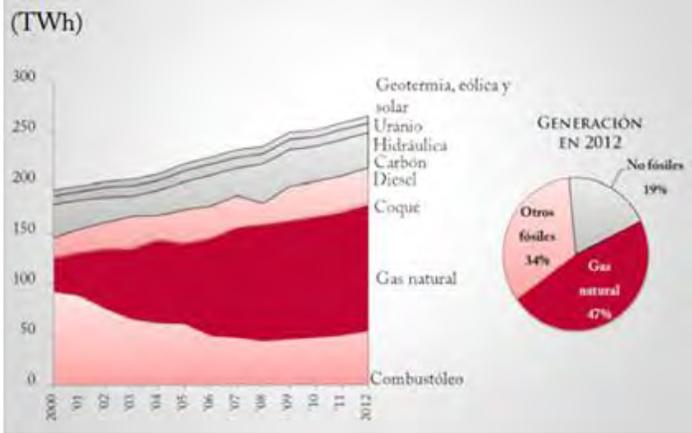
- El tema estratégico número 2.
- El tema estratégico número 4.
- El tema estratégico número 10.
- El tema estratégico número 15.

El tema estratégico número 2, se refiere a promover el uso eficiente de la energía en todos los sectores. Una de las líneas de acción que se plantea es: El fortalecimiento de capacidades técnicas para el desarrollo de proyectos de ahorro de energía y de energías renovables de gobiernos estatales y municipales.

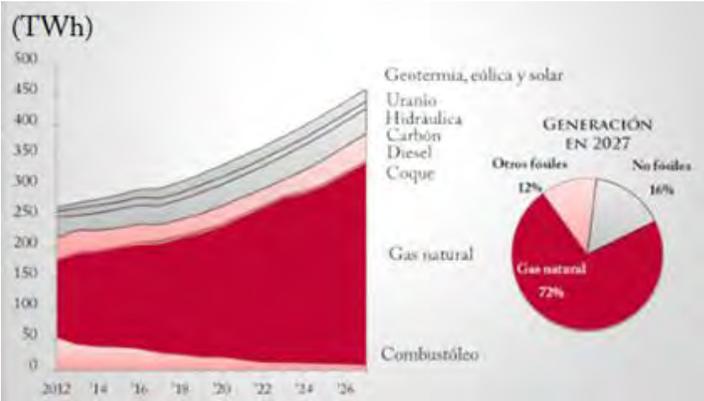
El tema estratégico número 4, se refiere a ampliar el acceso de energía para comunidades menos favorecidas. Una de las líneas de acción es establecer programas de apoyo a la población de escasos recursos para adoptar tecnologías eficientes y/o de energías renovables.

Dentro del tema estratégico número 10, referente a diversificar y optimizar el parque de generación, menciona que la mayor incorporación de usuarios y el mayor acceso al suministro de energía han significado un reto para satisfacer las

necesidades de energía eléctrica de la población con calidad, confiabilidad y estabilidad. Para esto, una de las opciones que se plantea para la diversificación del parque de generación son las energías renovables.



**Figura 1:** Generación por tipo de combustible del sistema eléctrico nacional 2012 (SENER, 2012).



**Figura 2:** Generación por tipo de combustible, sistema eléctrico nacional en el escenario de planeación 2027 (SENER, 2012).

De acuerdo con las figuras 1 y 2, y atendiendo únicamente al criterio de menor costo del escenario de planeación de CFE, se observa que no es posible que la expansión cumpla con lo establecido en otras disposiciones legales como la LAERFTE. Por lo que se tendrá que promover la conformación de una cartera de

proyectos suficiente y adecuada a partir de la incorporación de los costos ambientales y el costo que representan las emisiones de carbono en función de la meta. De acuerdo con dicha Ley, el sector eléctrico deberá concentrarse en incorporar energías no fósiles en su cartera de fuentes primarias de energía debiendo llegar, como se ha mencionado a 35% de la generación con este tipo de fuentes para el 2024.

Según este documento, para dar cumplimiento a las atribuciones de la SENER que le fueron asignadas conforme a la LAERFTE, será necesario establecer y actualizar el Inventario Nacional de las Energías Renovables con programas a corto plazo, así como planes y perspectivas a mediano y largo plazo, comprendidas en el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables y en la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (SENER, 2012).

Para efectos de este trabajo monográfico, el tema estratégico número 15, posiblemente sea el más importante, ya que este se enfoca en: Identificar y aprovechar el potencial de energías renovables en México.

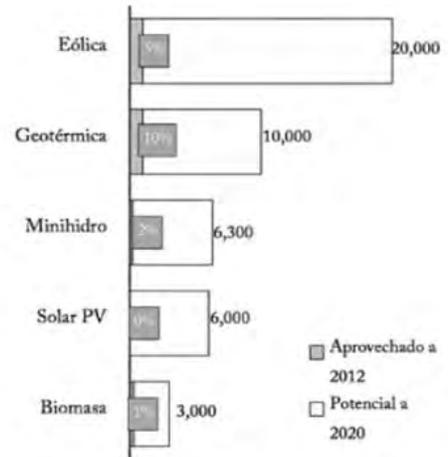
En este sentido, este documento menciona: “México dispone de un potencial renovable indiscutible, con un amplio porfolio de recursos que se pueden observar en la figura 3 (eólico, solar, geotérmico, biomasa e hídrico). Derivado de lo anterior, deben ser impulsadas las diferentes tecnologías para su aprovechamiento, en sus diferentes etapas de desarrollo, de modo que estos recursos puedan ayudar en la diversificación de la matriz energética, la eficiencia del uso de recursos no renovables y la reducción de importaciones de energéticos”

Para esto, es necesario contar con información suficiente y con el nivel de certidumbre adecuado que permita al país conocer y difundir su potencial.

## RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES



## POTENCIAL RENOVABLE Megawatts



**Figura 3:** Recursos energéticos renovables y potencial renovable en México. (SENER, 2012)

En cuanto a la sustentabilidad y aprovechamiento de recursos energéticos, las líneas de acción son:

- Explorar el territorio nacional para generar una base de datos que permita mejorar las estimaciones de los recursos no aprovechados.
- Impulsar el desarrollo de un mercado competitivo de biocombustibles, sin afectar la seguridad alimentaria, siempre y cuando constituyan una alternativa en términos ambientales (de acuerdo a un análisis de ciclo de vida), económicos y sociales.
- Promover la vinculación efectiva de los sectores; académico nacional, centros de investigación e industriales para el desarrollo óptimo de las energías renovables.

En cuanto al desarrollo de investigación, la línea de acción es:

- Fomentar el desarrollo de recursos humanos especializados para la innovación tecnológica y aprovechamiento de las energías renovables, tanto en aplicaciones eléctricas como térmicas.

Por último es importante crear un marco regulatorio adecuado para el aprovechamiento de estas fuentes de energía, con instrumentos fiscales y económicos que permitan a las industrias alcanzar un mayor grado de madurez en el mediano plazo. Asimismo, la innovación institucional en materia de contratos es una de las fronteras más promisorias a explorar, ya que la seguridad en la inversión y opciones para provisión de estas energías promueven el desarrollo del potencial (SENER, 2012).

Para este trabajo, se tomará en cuenta que México se ubica en una de las regiones con mayor potencial de energía solar, por lo que a continuación hablaremos acerca de este tema.

## 1.5. Energía Solar.

El Sol es una estrella formada casi toda de hidrógeno y una pequeña porción de helio, la que produce una cantidad enorme de energía debido a una reacción nuclear por fusión, reacción que tiene lugar gracias a las altas temperaturas y presiones que se alcanzan en su interior. Esta energía se transmite a la fotosfera mediante mecanismos de convección.

Dado que la mayor fuente de energía es precisamente el Sol debido a que emite  $3.73 \times 10^{23} \text{ Kw}$  de energía radiante y con esto se tiene una constante solar  $I = 1353 \text{ w/m}^2 = 1.94 \text{ cal/cm}^2\text{min}$  (esta constante solar es la radiación medida en la superficie perpendicular a los rayos solares fuera de la atmosfera terrestre y a distancia media al Sol) (Sarmiento, 2007).

De acuerdo con Tudela (1982), la tierra recibe del Sol en tres días, una cantidad de energía mayor que la correspondiente a las reservas totales de carbón, petróleo y gas natural. Con esto nos damos una idea de la cantidad de energía que no aprovechamos debido a que todavía no contamos con dispositivos que transformen y almacenen esta energía de forma eficiente.

México es uno de los países privilegiados que se encuentra dentro de una franja geográfica con mayor insolación, Figura 4. Sin embargo el uso de la energía solar es inadecuado y prácticamente no existe el aprovechamiento de este recurso como consecuencia del uso exagerado de los hidrocarburos. Sin embargo se puede hacer mucho en cuestión de ahorro de energía que conlleven a la productividad y eficiencia en las diversas actividades del ser humano (García Chávez, 1999).



**Figura 4:** Mapa de radiación global media diaria en México (Muños Herrera, s.f.).

Así mismo, las horas de sol pico por día para la república mexicana puede observarse en la figura 5, donde se aprecia que el estado de Quintana Roo es uno de los estados con un buen promedio al respecto.

Horas de sol pico por día para la República Mexicana

Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*		Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*	
			Hor	Inc				Hor	Inc
Aguascalientes	Aguascalientes	21.88	5.78	6.10	Nayarit	Tepic	21.51	6.06	6.42
Baja California	Ensenada	31.87	5.98	6.76	Nuevo León	Monterrey	25.70	5.17	5.43
	Mexicali	32.65	5.96	6.81	Oaxaca	Oaxaca	17.06	4.88	5.01
	Tijuana	32.54	5.96	6.79	Puebla	Puebla	19.06	5.22	5.44
Baja California Sur	La Paz	24.15	6.46	6.89	Querétaro	Querétaro	20.61	5.57	5.87
	San José del Cabo	23.06	6.41	6.80	Quintana Roo	Cancún	21.16	6.01	6.32
Campeche	Campeche	19.83	5.91	6.16		Chetumal	18.51	5.85	6.09
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	16.76	4.88	5.00	San Luis Potosí	San Luis Potosí	22.16	5.57	5.85
Chihuahua	Chihuahua	28.63	5.96	6.52	Sinaloa	Culiacán	24.82	6.05	6.52
	Ciudad Juárez	31.73	5.78	6.41		Los Mochis	25.80	6.35	6.84
Coahuila	Saltillo	25.42	5.54	5.86		Mazatlán	23.20	6.04	6.47
	Torreón	25.53	5.96	6.37	Sonora	Ciudad Obregón	27.49	6.35	6.89
Colima	Colima	19.26	5.97	6.30		Hermosillo	29.07	6.22	6.81
Distrito Federal	Ciudad de México	19.33	5.11	5.36	Tabasco	Villahermosa	18.00	5.36	5.50
Durango	Durango	24.04	5.92	6.36	Tamaulipas	Ciudad Victoria	23.73	5.18	5.38
Guanajuato	Guanajuato	21.02	5.77	6.09		Nuevo Laredo	27.49	4.95	5.19
	León	21.11	5.75	6.07		Tampico	22.21	5.05	5.23
Guerrero	Acapulco	16.88	6.19	6.52	Tlaxcala	Tlaxcala	19.32	5.08	5.29
	Chilpancingo	17.54	6.09	6.43	Veracruz	Coatzacoalcos	18.15	4.88	5.00
Hidalgo	Pachuca	20.11	4.96	5.17		Orizaba	18.85	4.64	4.76
Jalisco	Guadalajara	20.69	5.89	6.24		Veracruz	19.20	4.56	4.66
México	Toluca	19.28	5.77	6.09		Xalapa	19.50	4.71	4.84
Michoacán	Morelia	19.71	5.79	6.13	Yucatán	Mérida	20.97	5.94	6.23
Morelos	Cuernavaca	18.92	5.76	6.07	Zacateras	Zacatecas	22.77	5.86	6.21

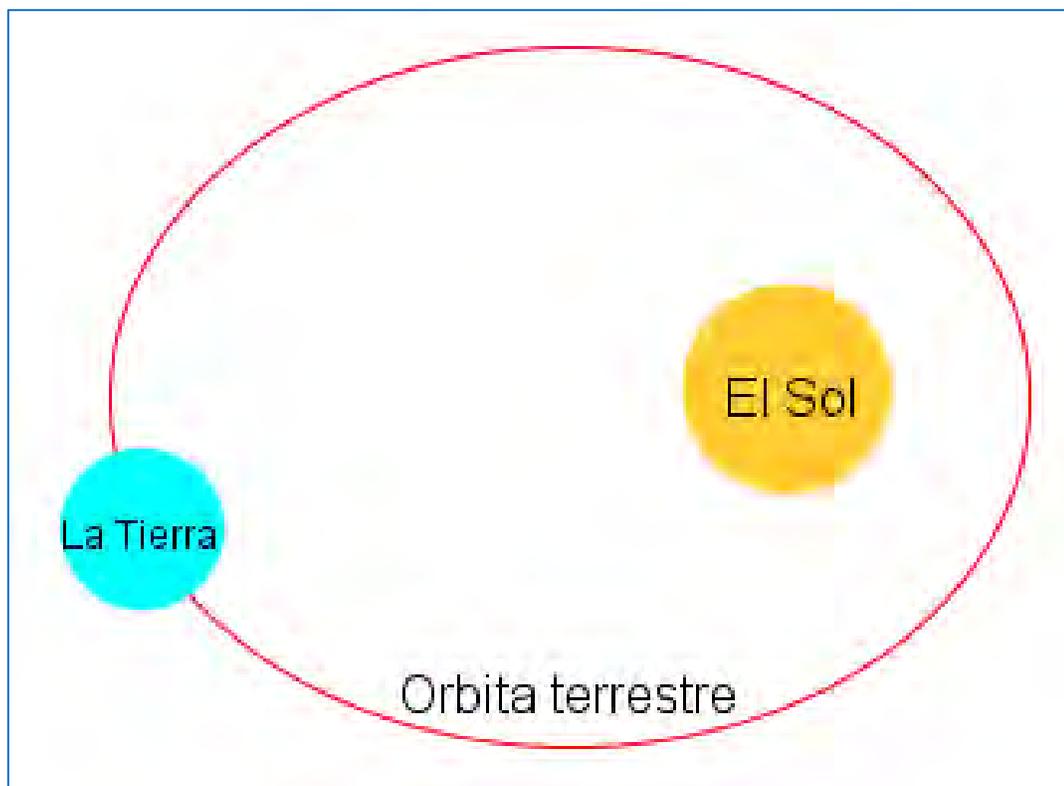
Hor = Plano horizontal    Inc = Plano inclinado a la latitud de la localidad correspondiente  
 \*De acuerdo con datos del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER) IIE-GENC, y del Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM.

**Figura 5:** Horas de sol pico por día para la República Mexicana (Muños Herrera, s.f.).

Para el estudio del movimiento del Sol y los efectos que este tiene sobre nuestro planeta, la geometría solar es muy importante sobre todo en el ámbito de la construcción y forma parte del estudio y del análisis de un lugar, pero también, derivados de este, tenemos la determinación de orientaciones, asoleamiento, diseño de dispositivos de generación solar, diseño de dispositivos de iluminación natural, etc. (García, 1999).

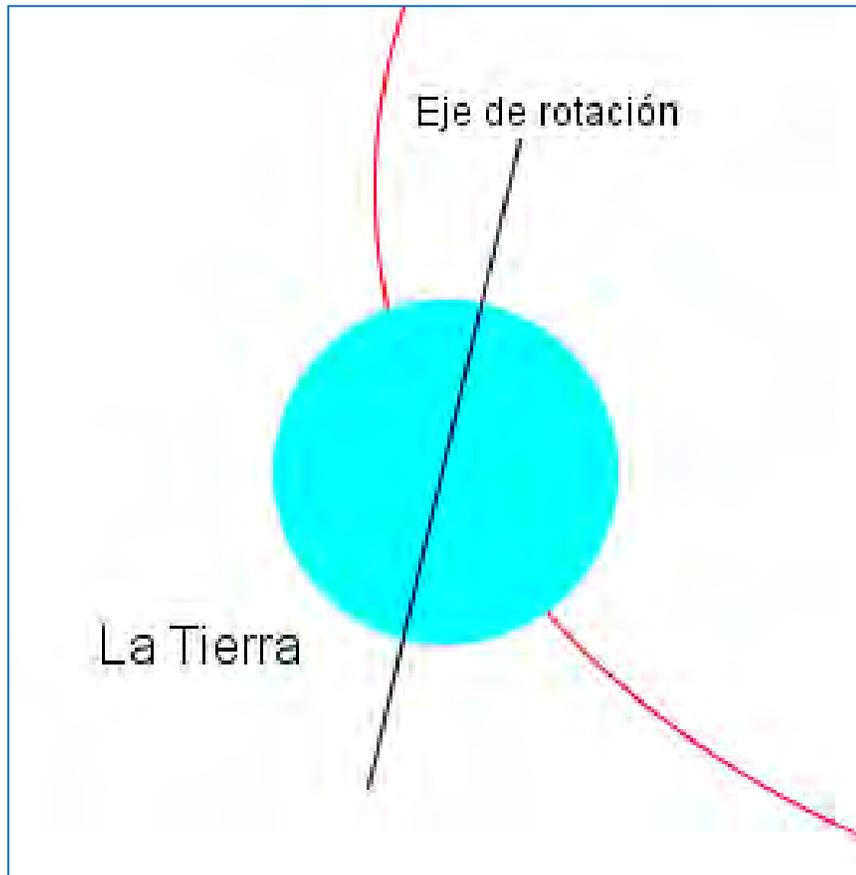
En este estudio de movimiento del Sol, sabemos que la tierra se mueve alrededor de este, realizando cuatro movimientos: traslación, rotación, nutación y precesión.

- **Traslación:** este movimiento se realiza siguiendo aproximadamente una trayectoria elíptica de pequeña excentricidad de tal manera que la distancia máxima es 1.017 veces el promedio y la mínima 0.983 veces el promedio. El plano donde se realiza este movimiento se conoce como plano de la eclíptica.



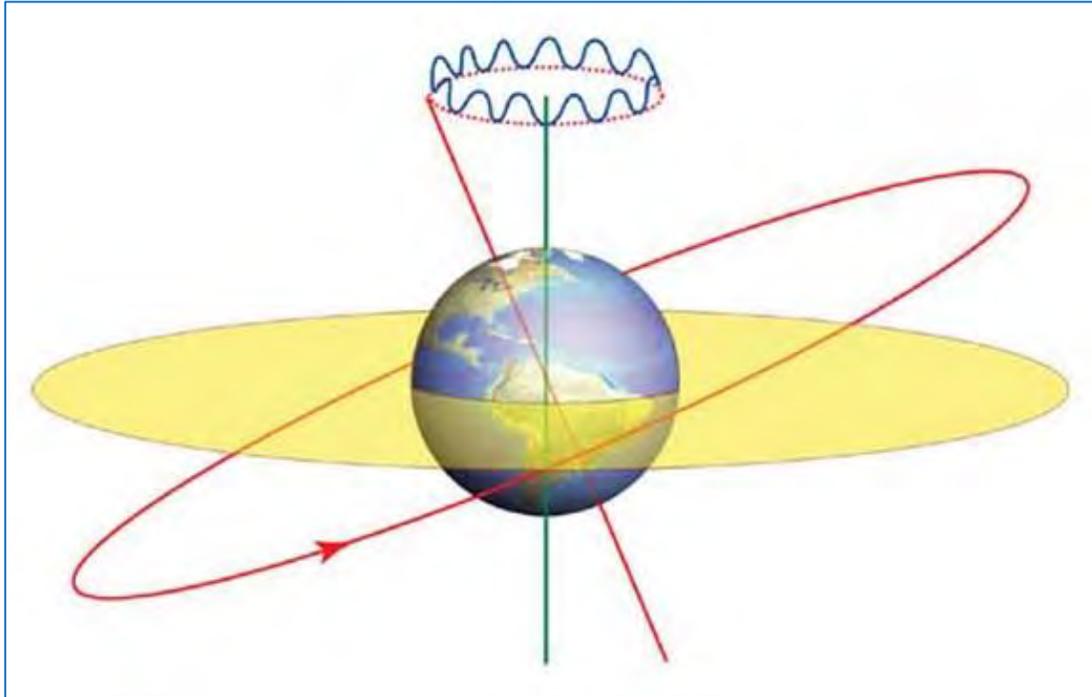
**Figura 6:** Movimiento de traslación de la Tierra.

- Rotación: Este movimiento se da al girar la tierra sobre su propio eje. Este eje es imaginario y pasa por los polos formando un ángulo medio de  $23^{\circ} 27'$  con la normal al plano de la eclíptica. Debido a esta inclinación el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre varía a lo largo del año. Para el hemisferio norte, el mayor ángulo de incidencia coincide con la posición de la tierra más alejada del Sol que es cuando se produce el Solsticio de verano (22 junio); en el Solsticio de invierno (23 de diciembre) coincide con la distancia mínima y en las estaciones intermedias tenemos los equinoccios de primavera y de otoño (21 de marzo y 23 de septiembre respectivamente).



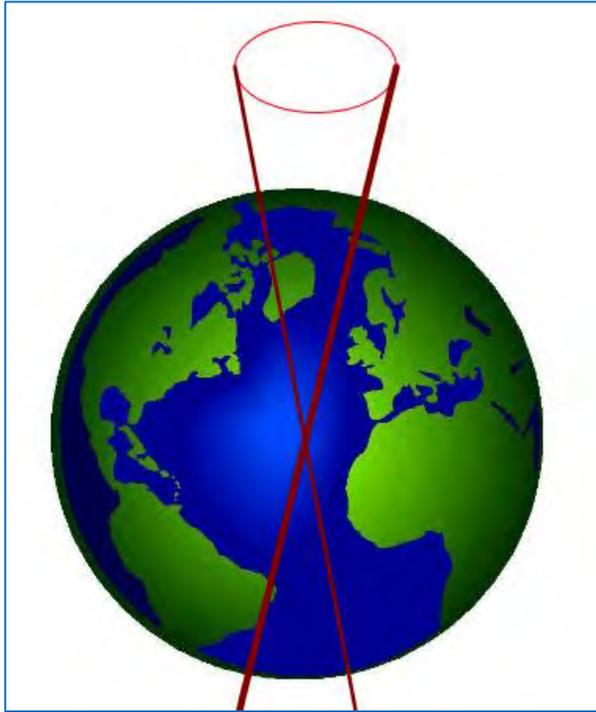
**Figura 7:** Movimiento de rotación de la Tierra.

- Nutación: (del latín “nutare”, cabecear u oscilar). Este movimiento se da con una ligera oscilación del eje de giro alrededor de su posición media y se debe a las fuerzas externas de atracción gravitatoria entre la Luna y el Sol con la Tierra.



**Figura 8:** Movimiento de nutación de la Tierra (Lois, 2006).

- Precesión: Este movimiento hace que la posición que indica el eje de la Tierra en la esfera celeste se desplace alrededor del polo de la eclíptica, trazando un cono y recorriendo una circunferencia completa cada 25 776 años, período conocido como año platónico.



**Figura 9:** Movimiento de precesión de la Tierra.

Un método para indicar la posición del Sol respecto de un punto situado sobre la tierra se basa en utilizar las coordenadas horarias, mediante tres ángulos:

- Declinación: El ángulo que forma el plano del ecuador terrestre con la dirección en que se encuentra el Sol, varía a lo largo del año, siendo nulo en los equinoccios, máximo en el Solsticio de verano y mínimo en el Solsticio de invierno. Su valor puede calcularse mediante ecuaciones ajustadas a los datos experimentales. Dos de las ecuaciones que sirven para este cálculo son la de Lokmanhekim y la de Cooper.



**Figura 10:** Esquema de declinación solar (Vargas, 2014).

- Latitud: Es el ángulo comprendido entre el paralelo del lugar y el ecuador, tomándose como positivo para el hemisferio norte y negativo para el sur.
- Angulo horario: Es el ángulo comprendido entre el plano meridiano que pasa por el punto considerado y el plano meridiano que pasa por el Sol. Su valor depende de la hora del día. El ángulo es cero si el Sol pasa por el punto más alto de su trayectoria. Antes será negativo y después positivo (Jutglar, 2004).

Dos palabras muy usadas en cuanto al tema solar son la insolación y la irradiación. Su uso tiende a causar confusión por lo que a continuación se definen para evitar esta situación:

- Insolación: la cantidad total de radiación solar que se recibe en un punto determinado del planeta sobre  $1 \text{ m}^2$  para un determinado ángulo de inclinación entre la superficie colectora y la horizontal del lugar, recibe el nombre de insolación. El valor de la insolación en una localidad, refleja el valor promedio de la misma. Para obtenerlo, se necesita tener en cuenta las variaciones cíclicas estacionales, conduciendo mediciones de la radiación solar diaria durante 10 o más años (Gasquet, 2004).

- Irradiación: Es el valor de la potencia luminosa. Los fabricantes de módulos fotovoltaicos determinan la máxima potencia eléctrica de salida usando una fuente con una potencia luminosa de  $1\text{kW/m}^2$ . Este valor es conocido con el nombre de Sol, se ha convertido en un estándar para la industria, facilitando la comparación de módulos de distintos orígenes.

## **1.6. Sistemas para el aprovechamiento de energía solar.**

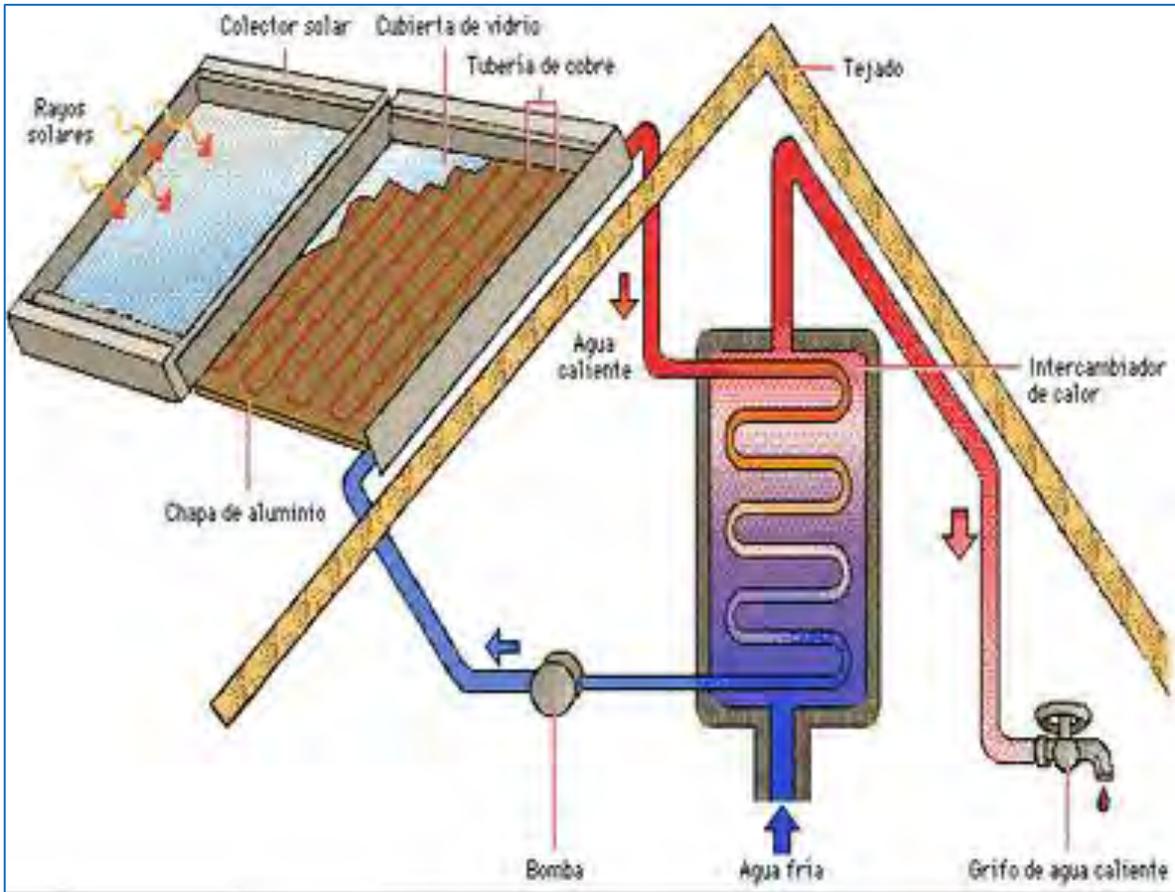
La utilización de la energía solar tiene como objetivos reducir la emisión de gases de efecto invernadero y ahorrar en energías no renovables. Para esto, los equipos que se utilizan en el aprovechamiento de energía solar se clasifican en tres: Sistemas fototérmicos, sistemas fotoquímicos y sistemas fotovoltaicos, los primeros se subdividen de acuerdo a su forma de trabajo, temperaturas y fluidos utilizados (Jutglar, 2004).

### **a) Sistemas fototérmicos.**

Existen dos tipos de sistemas fototérmicos: pasivos y activos.

**Los sistemas fototérmicos pasivos:** Son aquellos en los que se aprovechan los efectos térmicos de la radiación Solar y no se requiere del suministro de otra forma de energía o en el cual su consumo es despreciable (Jutglar, 2004).

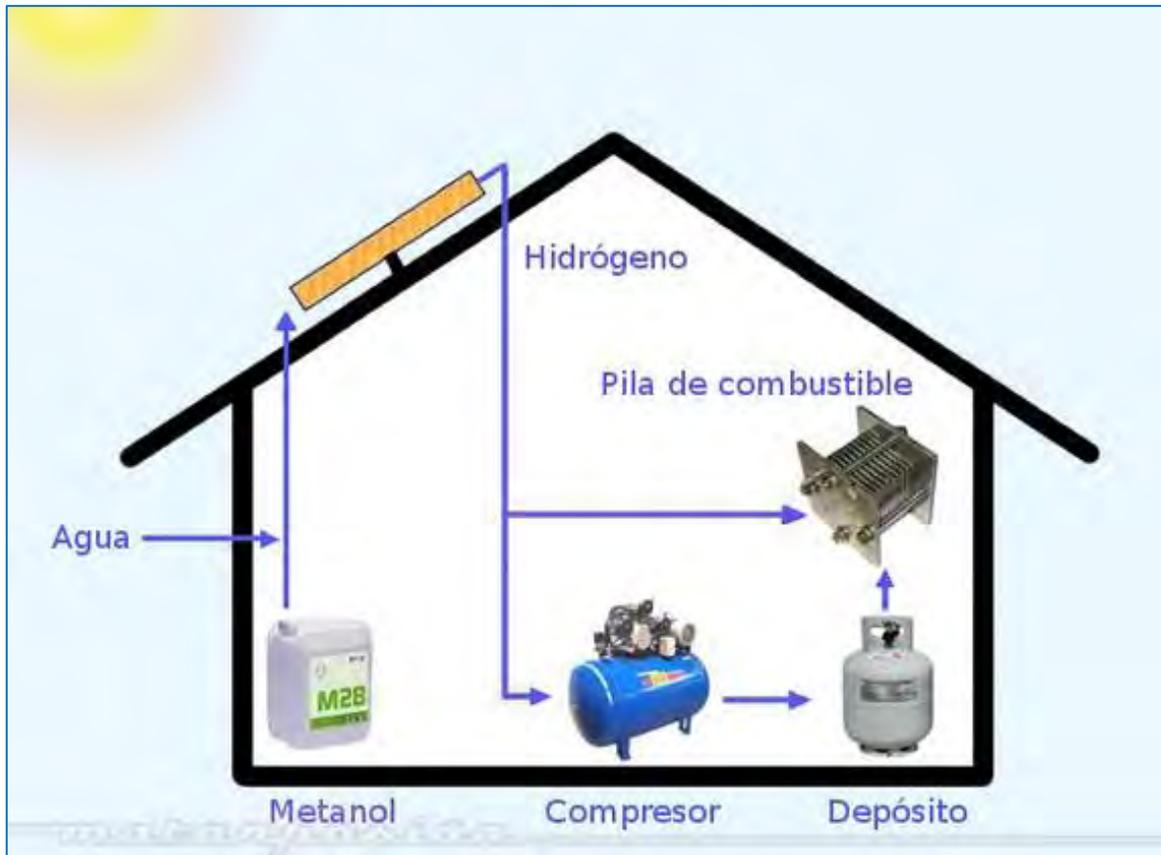
**Los sistemas fototérmicos activos:** Son semejantes a los anteriores pero con la diferencia que se requiere el apoyo de energía eléctrica para ser consumida por bombas, ventiladores, etc. Requeridos para mover los líquidos o gases encargados de transportar el calor desde el captador solar hasta el punto de consumo.



**Figura 11:** Esquema de un sistema fototérmico activo (Anon., 2014).

## b) Sistemas fotoquímicos.

Estos sistemas de conversión utilizan la energía solar para convertir esta energía en un potencial químico, generalmente almacenable en forma de combustible, capaz de liberar esta energía posteriormente.

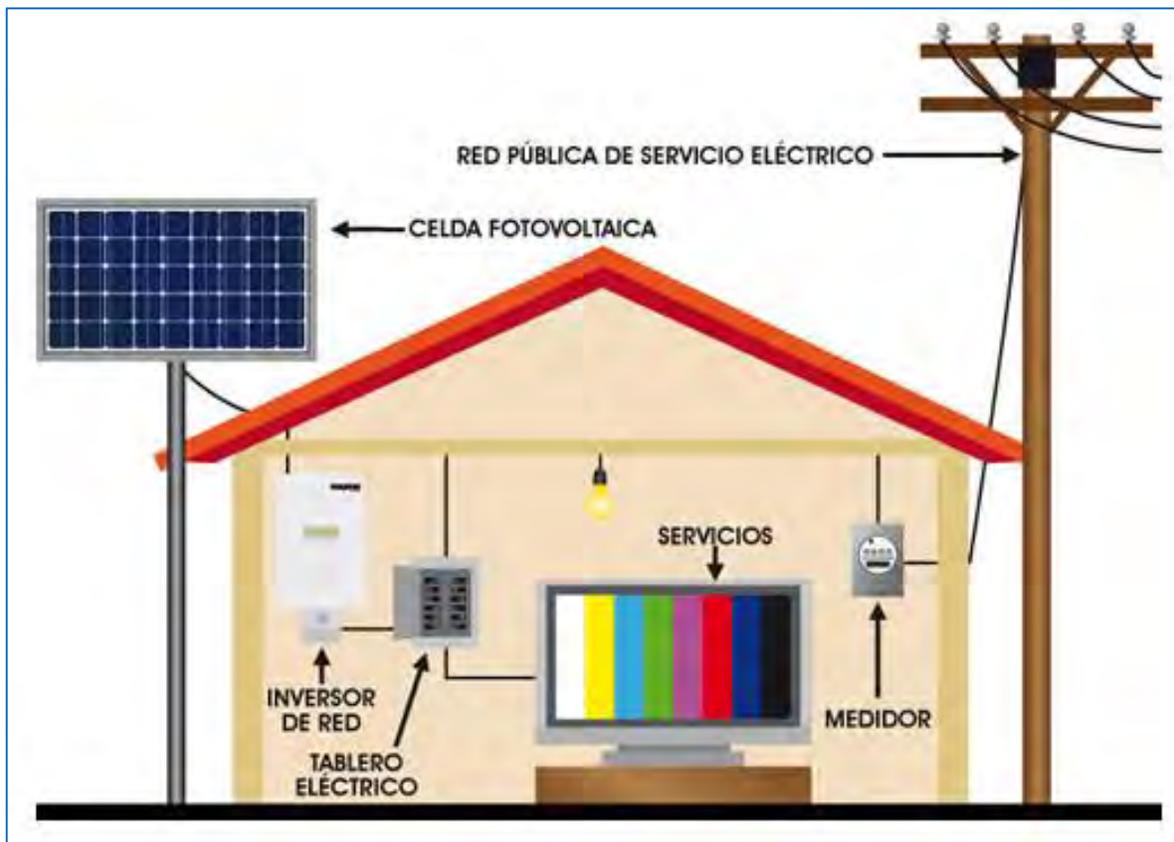


**Figura 12:** Esquema de un sistema fotoquímico (Anon., 2011).

Existen muchos materiales que absorben cantidades importantes de luz en alguna región del espectro solar, las moléculas que absorben la radiación solar incrementan su energía instantáneamente y como resultado de esto pueden ocurrir cambios químicos (Anon., s.f.).

### c) Sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos convierten directamente la energía de radiación solar en energía eléctrica mediante la asociación de celdas fotoeléctricas.



**Figura 13:** Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red (Anon., 2012).

Debido a que este trabajo se enfoca en una parte importante de los sistemas fotovoltaicos, este tipo de sistemas se desarrolla con amplitud a continuación.

## 1.7. Sistemas fotovoltaicos.

Un sistema fotovoltaico consiste en la integración de varios componentes en la que cada uno de ellos realiza una tarea determinada para poder realizar el suministro de energía en función de la carga que se tiene. En cuanto a esta carga se deben tomar en cuenta tres aspectos importantes: el tipo, el valor energético y el régimen de uso.

Existen tres tipos de carga: corriente continua (CC), corriente alterna (CA) y mixta. En ocasiones se tiene que incorporar un inversor, cuando la carga tiene aparatos de CA.

El valor energético representa el total de energía a consumir dentro de un periodo determinado. Para sistemas pequeños el valor estará dado en Wh/día. Para sistemas de mayor consumo en kWh/día.

El régimen de uso corresponde a dos características: Cuando se utiliza la energía generada y la rapidez de uso. Dependiendo del momento en que se utiliza la energía, se tendrá un régimen diurno, nocturno o mixto. La rapidez de consumo (energía por unidad de tiempo) determina el valor de la potencia máxima requerida por la carga. (Gasquet, 2004)

### **1.7.1. Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.**

Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar de la siguiente forma (Sánchez Maza, 2010):

- La configuración, definida por sus componentes y la conexión entre los mismos.
- La aplicación a que vaya a ser destinada.
- Según el carácter de la utilización de la instalación.
- Voltaje de trabajo y potencia de la instalación.

## 1.7.2. Tipos de módulos fotovoltaicos.

Las celdas solares o fotovoltaicas más utilizadas son las de unión de semiconductores tipo P-N y construidas con silicio monocristalino.

Los semiconductores tipo N tienen la capacidad de ceder electrones y si al contrario, tienen carencia de electrones, la mayoría de sus átomos tienen cargas positivas, son semiconductores tipo P.

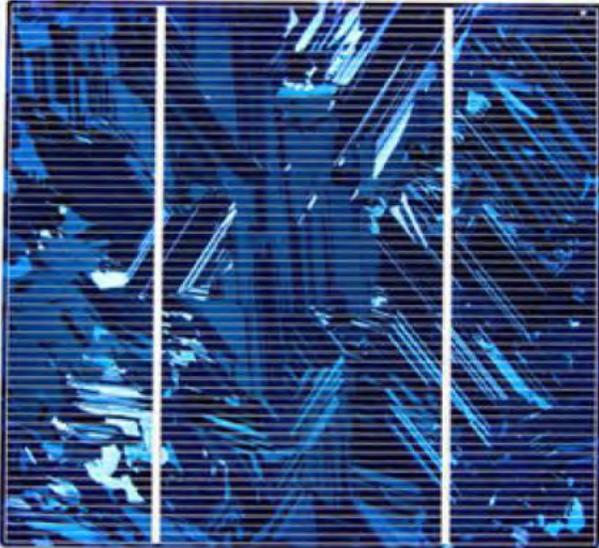
Las celdas se fabrican mediante la cristalización del silicio, por lo que los más utilizados son los siguientes tipos:

1. **Monocristalina:** Presenta una estructura cristalina completamente ordenada. Se obtiene de silicio puro fundido al que se le añade boro. Se observa su monocromía azulada oscura y metálica.



**Figura 14:** Celda solar Monocristalina (Alberici, 2013).

**2. Policristalina:** Presenta una estructura ordenada por regiones separadas. Las zonas irregulares se traducen en una disminución de rendimiento. Se obtiene de la misma forma que el monocristalino pero con menos fases de cristalización (combinación de átomos). Se reconoce porque en su superficie se distinguen distintos tonos de azules y grises metálicos.



**Figura 15:** Celda solar Policristalina (Alberici, 2013).

**3. Amorfo:** Presenta un alto grado de desorden y un gran número de defectos estructurales en su combinación química. Su proceso de fabricación es menos costoso que los anteriores (se deposita en forma de lámina delgada sobre vidrio o plástico). Tiene un color homogéneo. La utilización de este tipo de celdas permite adaptarse a cualquier superficie, son de varios colores y translúcidos. Esta característica favorece la integración en acristalamientos. Por esta razón se utilizan en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, puesto que permiten una mejor integración arquitectónica en viviendas y edificios. La potencia que se obtiene es menor a las anteriores (Pareja Aparicio, 2010).

Además del silicio, existen otros materiales como el arseniuro de galio, telurio de cadmio y sulfuro de cadmio (CTS), seleniuro de cobre e indio con sulfuro de cadmio (Sánchez Maza, 2010).

### **1.7.3. Generación de energía fotovoltaica.**

Los componentes de un sistema fotovoltaico autónomo son:

- Los módulos fotovoltaicos.
- Las baterías.
- Controlador de carga.
- Carga.
- Cableado

Los módulos fotovoltaicos forman el componente de generación de energía eléctrica. El número de ellos depende de aspectos como:

- La insolación del lugar.
- El valor energético de la carga.
- La máxima potencia de salida del módulo fotovoltaico.

La mayor parte de la energía generada es almacenada en baterías. Es imposible acumular toda la energía debido a pérdidas asociadas con el proceso de carga. Por otro lado es importante hacer notar que si los módulos fotovoltaicos permanecen sombreados durante una parte del día, su capacidad de generación disminuye sensiblemente, ya que éste sombreado equivale a conectar una resistencia de alto valor en serie con el generador.

El componente de almacenamiento contiene tres aspectos:

- El banco de baterías.
- El control de carga
- El fusible de protección.

El banco de baterías (Lastres Danguillecourt, 2007) usa un tipo especial llamado batería solar. Estas se ofrecen en versiones de 6 y 12 V.

El controlador de carga o regulador cumple dos funciones:

- Garantizar un régimen de carga adecuado para las baterías.
- Evitar la descarga de las mismas a través de los módulos durante la noche, cuando no hay voltaje de salida.

Actualmente están en uso los microinversores, los cuales son unidades pequeñas que se conectan de forma individual a cada módulo fotovoltaico del sistema. Estos microinversores, convierten la energía de corriente continua de los módulos fotovoltaicos a corriente alterna en voltaje compatible con la red eléctrica. Con estos, se elimina la necesidad de conectar largas cadenas de módulos fotovoltaicos en serie, dándole más flexibilidad al diseño del sistema solar aumentando la producción diaria (hasta 25%) y reduciendo drásticamente el potencial de fallo del sistema prolongando la vida del sistema al trabajar a bajos voltajes y bajas temperaturas (STI Solar Technology, s.f.).

El fusible de baterías es un elemento de seguridad. Aun cuando el banco consista de una sola unidad, un corto circuito accidental entre los bornes de salida significa que la corriente que circula por la batería alcanzará valores de miles de amperes por varios segundos, acelerando la reacción química y disipando el calor dentro de la misma. Los gases que se generan no escapan totalmente, pudiendo producir una explosión muy violenta. Como las baterías utilizan electrolitos altamente corrosivos, las consecuencias pueden ser trágicas. Si la explosión no ocurre, se reduce la vida útil de las baterías y pueden dañar el aislamiento de los cables de conexión.

El control de carga sirve para saber en cualquier momento si las baterías tienen carga adecuada.

La carga representa los circuitos de entrada y dentro de la casa. La caja de fusibles permite la separación de las áreas de consumo. Lo anterior facilita la desconexión de una sección en caso de reparar o ampliar esa parte del circuito.

El cableado es una parte básica e importante del dimensionamiento del sistema ya que el rol es reducir las pérdidas de energía del sistema. Hay que recordar que para un mismo valor de consumo, la corriente es mayor si el sistema es de bajo voltaje. Un mayor amperaje significa un incremento de las pérdidas de voltaje y disipación.

Para la selección del conductor a usar se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- La capacidad del cable de manejar la corriente máxima de operación.
- El tipo de aislante.
- El tipo de conductor (sólido o de varios hilos)
- El material con que está hecho el conductor.

El concepto fundamental de un sistema fotovoltaico es el de obtener un equilibrio entre la energía generada y el consumo de la carga, tomando en cuenta las pérdidas del sistema. Este equilibrio deberá considerarse también para las condiciones de trabajo más desfavorables. (Gasquet, 2004)

### 1.7.4. Características de un módulo fotovoltaico.

Para la realización de los cálculos se debe tomar en cuenta los parámetros eléctricos de los módulos fotovoltaicos que se extraen de sus hojas de especificaciones.

El funcionamiento eléctrico de los módulos, se observa mediante su curva característica. En la figura 16, observamos un ejemplo donde se representa la corriente en función del voltaje a partir de ciertos valores de irradiación solar.

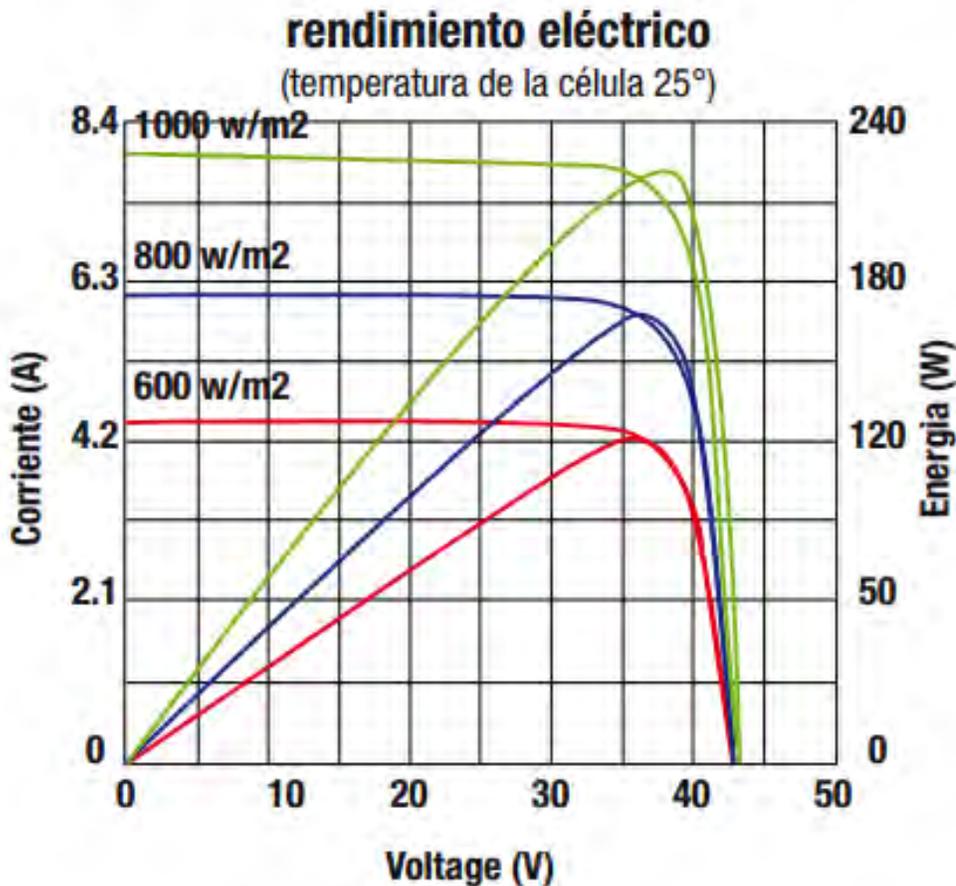


Figura 16: Gráfica del rendimiento eléctrico de un módulo fotovoltaico (STI Solar Technology, s.f.)

- Corriente de corto circuito ( $I_{CC}$ ): Es la máxima intensidad de corriente que se puede obtener de un módulo fotovoltaico. Se mide la corriente provocando un corto circuito en los bornes.
- Voltaje de circuito abierto ( $V_{CA}$ ): Es el Voltaje máximo que se medirá en un módulo fotovoltaico cuando no existe paso de corriente entre los bornes.
- Voltaje Nomina ( $V_n$ ): Es el valor de diseño al que trabaja el módulo fotovoltaico. por ejemplo 12,24 o 48 volts.
- Punto de máxima potencia ( $P_M$ ): Es el valor máximo de potencia, corresponde al producto:

$$P_M = (I_{Pmax}) (V_{Pmax})$$

Su valor se expresa en watts (W). Se trata del valor máximo que se puede obtener del módulo fotovoltaico. También se denomina potencia de pico del módulo; En este punto se obtiene el mayor rendimiento del módulo. No hay que olvidar que los valores de corriente y voltaje en este punto máximo de potencia son menores a la corriente de corto circuito y al voltaje de circuito abierto, respectivamente y que en la práctica, el voltaje de trabajo se determina por el voltaje de almacenamiento (batería) y/o el convertidor. (Pareja Aparicio, 2010).

DATOS ELÉCTRICOS	
Tipo de módulo	XSSP250M48
Pico de potencia nominal (Wp)	250
Voltaje nominal (Vmp)	49.7
Corriente nominal (Imp)	5.03
Tensión de circuito abierto (Voc)	59.3
Corriente de cortocircuito (Isc)	5.42
Eficiencia de la célula	>16.9%
Temperatura de funcionamiento	-45—+85°C
Tensión máxima del sistema	1000 VDC
STC:	AM1.5 1000W/m2 25°C

**Figura 17:** Tabla de datos eléctricos de un módulo fotovoltaico (STI Solar Technology, s.f.).

Los valores que se indican en las curvas o en las tablas de datos eléctricos (figura 17) se obtienen sometiendo al módulo a condiciones estándar de prueba (STC, por sus siglas en inglés), las cuales se definen de la siguiente manera. (Pareja Aparicio, 2010)

- Irradiación solar: 1000 W/m<sup>2</sup>.
- Temperatura del módulo fotovoltaico: 25°C.
- Incidencia normal.
- Espectro radiante o masa de aire: AM 1.5

## Factor de forma

Factor de forma (FF): es la relación entre la potencia máxima que el módulo puede entregar y el producto ( $I_{CC}$ ) ( $V_{CA}$ ). Esto da una idea de la calidad del módulo, ya que cuanto más se aproxima a la unidad, mayor potencia puede proporcionar.

$$F_F = \frac{V_M \cdot I_M}{V_{CA} \cdot I_{CC}} = \frac{P_M}{V_{CA} \cdot I_{CC}}$$

De aquí que:

$$P_M = F_F \cdot V_{CA} \cdot I_{CC}$$

## Eficiencia del módulo

Eficiencia o rendimiento ( $\eta$ ): Es el cociente entre la máxima potencia eléctrica que el módulo puede entregar a la carga y la potencia de radiación solar  $P_L$  incidente sobre el módulo. Su valor aproximado es del 10%.

Con base en estas definiciones se obtiene la siguiente igualdad:

$$\eta = \frac{P_M}{P_L} = \frac{(FF)(I_{CC})(V_{CA})}{P_L}$$

Los valores de corriente a corto circuito, voltaje a circuito abierto, corriente y voltaje a potencia máxima, son proporcionados por el fabricante, referidos a condiciones estándar de prueba. En ocasiones el fabricante proporciona gráficas o tablas con valores para condiciones diferentes a las estándar (Marianella, 1999).

## Energía generada por un módulo

Para este cálculo se toma en cuenta la energía que genera un módulo Fotovoltaico durante el día, para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_M = I_M \cdot HPS \cdot \eta_M \text{ [Ahd]}$$

En donde:

$I_M$ : Corriente de pico o corriente máxima del módulo.

$HPS$ : Horas pico solar.

$\eta_M$ : Rendimiento del módulo

Para el rendimiento del módulo se puede escoger valores típicos entre 85 y 95%. Como norma general se escoge en rendimiento del 90%, por lo que se multiplica por 0.9, de tal manera que la ecuación queda de la siguiente manera:

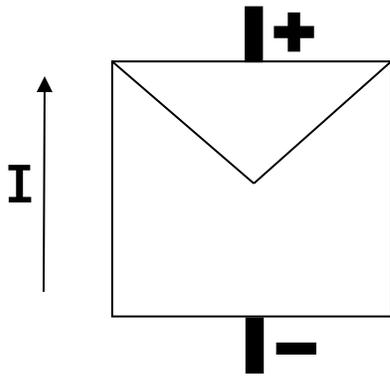
$$E_M = 0.9 \cdot I_M \cdot HPS \text{ [Ahd]}$$

Para el cálculo de la energía generada por un módulo fotovoltaico, se tendrá en cuenta la corriente generada por todo el panel ( $I_{Panel}$ ). La corriente del panel se calculará mediante el valor de la corriente o de pico máximo, tras la asociación de todos los módulos fotovoltaicos que la forman (Pareja Aparicio, 2010):

$$E_{Panel} = 0.9 \cdot I_{Panel} \cdot HPS \text{ [Ahd]}$$

## Símbolo

El símbolo correspondiente a una celda o módulo fotovoltaico es:



**Figura 18:** Símbolo empleado para una celda o módulo fotovoltaico.

### 1.7.5. Conexiones en serie y paralelo.

En ocasiones será necesario conectar varios módulos en serie o en paralelo para obtener un nivel de voltaje determinado y una corriente apropiada, sin embargo para realizar esta acción se requiere de preferencia que los módulos fotovoltaicos tengan las mismas características y si es posible, del mismo fabricante.

Existen tres opciones para la conexión de celdas o módulos fotovoltaicos:

**Serie:** Se conecta un polo positivo de un módulo con el polo negativo del siguiente módulo. Con esto se consigue incrementar el voltaje y mantener el mismo valor para la corriente generada. El voltaje generado es igual a la suma de todos los voltajes de cada uno de los módulos, es decir, el producto del voltaje de un módulo por la cantidad de módulos (considerando que tienen las mismas características).

**Paralelo:** Se conectan todos los polos positivos en una misma línea y separadamente todos los polos negativos. Con esto se consigue incrementar la corriente, pero se mantiene el mismo voltaje. La corriente total generada es igual a la suma de la corriente generada por cada uno de los módulos. En otras palabras, la corriente total es el producto de lo que genera un módulo por la cantidad de módulos.

**Mixta:** En este caso la conexión se realiza utilizando los dos tipos de conexión, en serie y en paralelo.

Le llamaremos **rama** al conjunto de celdas o módulos conectados en serie para conseguir un determinado valor de voltaje.

### 1.7.6. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Debido a que en el lugar donde se ubicará el sistema fotovoltaico se encuentra en una zona con fácil acceso a la red de energía eléctrica convencional, este sistema fotovoltaico se conectará a la red con el propósito de disminuir la factura de la energía eléctrica. En este tipo de instalaciones no hay riesgo de quedarse sin suministro de energía.

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red convencional, están compuestas de: Un inversor, protecciones y medidores de energía, sin embargo carecen de baterías y regulador.

**Protecciones:** estos dispositivos, serán encargados de proteger tanto al sistema fotovoltaico como a la red eléctrica. Su trabajo será interrumpir o reanudar el suministro cuando las condiciones de alguno de ellos pongan en peligro la continuidad del suministro de energía por parte de la empresa que la distribuye.

**Los medidores:** Se encargan de medir la energía consumida y entregada, con el fin de facturar el correspondiente a la compañía distribuidora. En el caso que exista consumo eléctrico en el mismo lugar que la instalación fotovoltaica, se emplearán en circuitos independientes para consumo y para la instalación junto con sus equipos de medida.

En México se utilizan medidores bidireccionales que son capaces de hacer mediciones en dos sentidos. La diferencia entre la energía eléctrica de salida y la de entrada a la instalación fotovoltaica, será lo que la empresa distribuidora facturará.



**Figura 19:** Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red (Eco-Sostenible, s.f.).

### 1.7.7. Pasos a seguir para el cálculo de un sistema fotovoltaico.

Para el cálculo de un sistema fotovoltaico, el primer concepto a manejar es el de la "horas pico" o HSP. Que se define como el número de horas en que disponemos de una hipotética irradiancia solar de  $1000 \text{ W/m}^2$ . A lo que es lo mismo  $1 \text{ kWh/m}^2$  ó  $3.6 \text{ MJ/m}^2$ .

Para calcular las HSP, se debe dividir el valor de la irradiación solar incidente entre el valor de la potencia de irradiancia en condiciones estándar de prueba, puesto que en esas condiciones se cumplen las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos. Ese valor de irradiancia en condiciones estándar de prueba es de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Es decir, si se cuenta con los datos de irradiación solar de un determinado día y se divide entre 1000, se obtienen las HSP.

$$HPS = \frac{\text{Irradiación}}{\text{irradiancia en condiciones estándar}} = \frac{x \text{ Wh/m}^2}{1000\text{W/m}^2}$$

Los pasos a seguir en el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico son:

1. Estimación del consumo: Son fundamentales los datos aportados por el consumidor, los cuales deben ser lo más real posible para no afectar el dimensionamiento. Si la instalación se realizará para utilizarla todo el año, se realizará el cálculo para encontrar el valor medio de consumo durante todo el año. Si únicamente se utilizará en un periodo de tiempo, se utilizarán los datos arrojados en ese periodo.
2. Datos del lugar donde se realizará la instalación para saber la irradiación solar con la que se dispone.
3. Dimensionamiento del número de módulos fotovoltaicos.
4. Dimensionamiento del inversor.
5. Cables
6. Protecciones
7. Contadores
8. Diseño de la estructura de soporte.

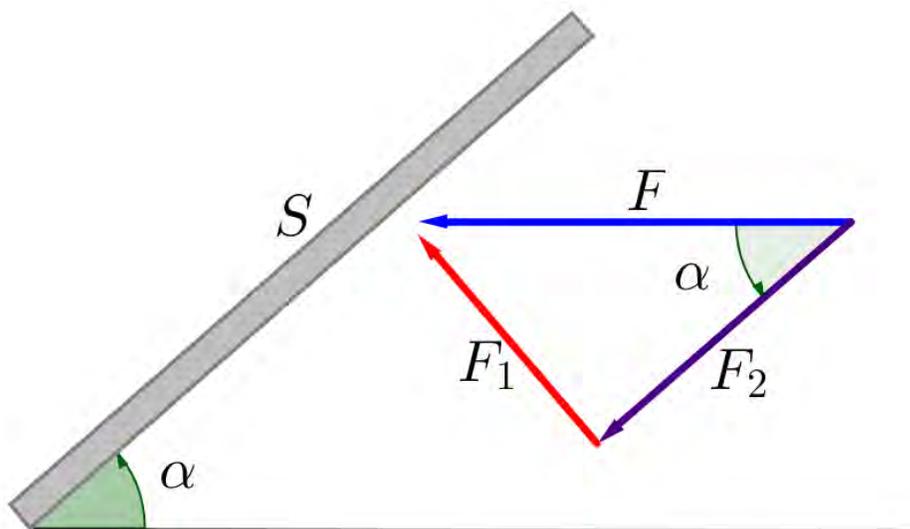
Debido a que este trabajo monográfico se enfoca en el diseño mecánico de la estructura de soporte del sistema fotovoltaico interconectado a la red de la Universidad de Quintana Roo, a continuación se desarrollara el tema de estructuras de soporte.

## Capítulo II “Estructuras de soporte”.

Aunque es una parte importante en el diseño de un sistema fotovoltaico, generalmente, no se da la importancia necesaria al diseño o selección de los elementos que se encargan de soportar a los módulos, ya sea en tierra, en el techo o alguna pared.

No hay que olvidar que en este sentido, el conjunto de módulos y soportes no pesan demasiado, sin embargo hay que considerar que los módulos ofrecen una resistencia considerable durante un temporal debido a su superficie expuesta. Las rachas de viento son fuertes y podría hacer que los módulos salgan proyectados.

La fuerza  $F$  que ejerce el viento sobre el módulo solar se representa en la figura 20.



**Figura 20:** Diagrama de la fuerza del viento.

$F_1$ : Esta fuerza intentará levantar la estructura, actuando sobre el anclaje de la estructura.

$F_2$ : Los efectos de esta fuerza se desvanecen en remolinos y rozamientos a lo largo de la superficie.

Con lo anterior podemos ver que la fuerza a la que se somete un módulo o un arreglo fotovoltaico debido a la presión frontal del viento está dado por la fórmula (Sánchez Juárez, s.f.):

$$F_1 = p S \text{ sen } \alpha$$

De donde la presión:

$$p = 0.0005v + 0.611v^2$$

En los soportes, los puntos de apoyo son muy importantes, ya que deben ser fijados y reforzados, además de ser conectados a tierra, según las normas de seguridad.

Las estructuras de soporte deben asegurar un óptimo aprovechamiento de la radiación solar, además se encargan de sustentar los módulos fotovoltaicos, proporcionando la inclinación más adecuada para que los módulos reciban la mayor cantidad de radiación a lo largo del año.

Estas estructuras deben ser capaces de resistir al menos 10 años de exposición a la intemperie sin que se observe corrosión o fatiga apreciable (Sánchez Maza, 2010).

También deben ser capaces de soportar vientos fuertes de hasta 150 km/h, es decir, 41.6 m/s (Antusol, 2010). Al respecto, cabe señalar que en la escala Saffir–Simpson, las velocidades de viento de depresión y tormenta tropical, no son considerados como parte de la misma clasificación, sin embargo sirven como referencia adicional. Estas velocidades son:

Depresión tropical: hasta 17 m/s

Tormenta tropical: de 18 a 32 m/s.

Huracán categoría 1: de 33 a 42 m/s.



**Figura 21:** Fotografía de una estructura de soporte (Anon., 2014).

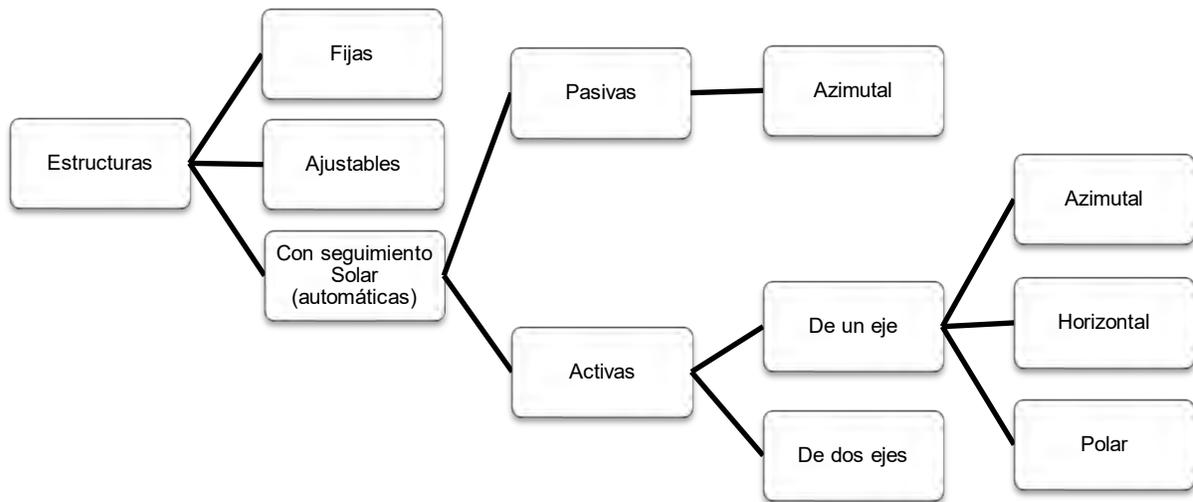
Los materiales que pueden ser utilizados en las estructuras son diversos, entre los que destacan:

- Aluminio anodizado: Es de poco peso y baja resistencia
- Acero inoxidable: Es apropiado para ambientes muy corrosivos, además que es de mayor calidad y ofrece un mayor tiempo de vida útil. Su desventaja es su costo elevado.
- Hierro Galvanizado: Ofrecen buena protección contra los agentes corrosivos y es químicamente compatible con el mortero de cal y cemento cuando estos están secos.

La tornillería tiene que ser de acero inoxidable.

## 2.1. Tipos de soportes.

Los tipos de soporte, pueden ser clasificados como se observa en la figura 22.



**Figura 22:** Diagrama de clasificación de las estructuras de soporte.

## Soportes fijos.

Son utilizados donde la latitud permite elegir un ángulo de inclinación fijo (Para latitudes de 15 a 25°, se recomienda el mismo ángulo de inclinación), cuyo valor incrementa las horas de generación de energía en el invierno cuando el consumo de energía aumenta durante las noches, aunque disminuye la eficiencia de insolación durante el verano cuando los días son más largos. Las ventajas del soporte fijo es que además de ser una instalación relativamente sencilla, reduce el tiempo de instalación y garantiza una estructura rígida.



**Figura 23:** Fotografía de un soporte fijo (Soliclíma, s.f.).

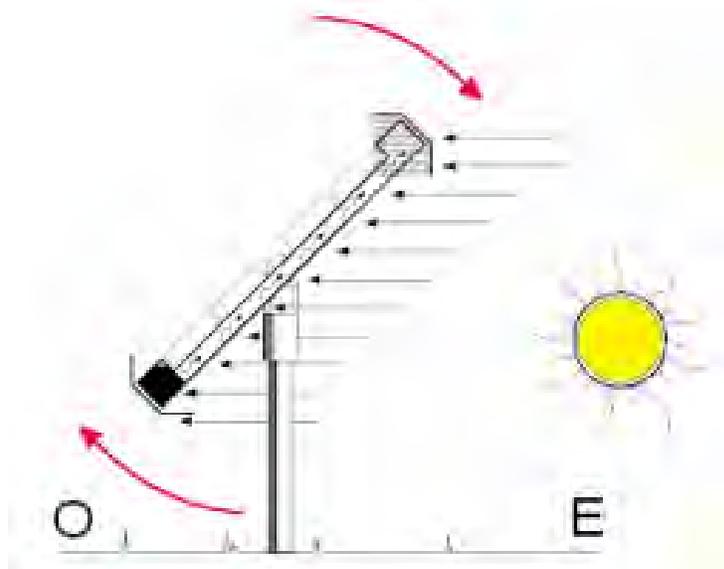
Las diferencias entre un soporte fijo y un soporte ajustable, son mínimas cuando se trata del diseño y costo. Por lo mismo, los segundos son los más utilizados.

## Soportes automáticos.

Estos soportes permiten seguir la trayectoria solar durante todo el año. Como se observa en el diagrama de la figura 22, existen dos tipos de seguidores: los pasivos y los activos.

### Soportes con seguidores automáticos pasivos.

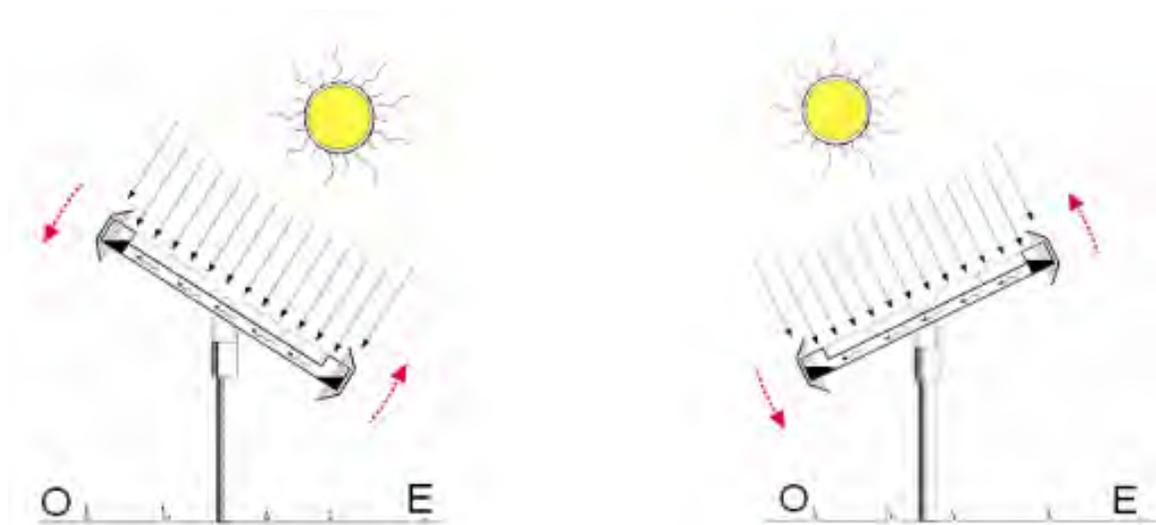
Estos soportes son aquellos en los cuales su movimiento es únicamente de este a oeste (movimiento azimutal) y no consumen energía eléctrica. Este desplazamiento se logra por el calor del Sol, ya que en los lados este y oeste del arreglo fotovoltaico se tienen dos tanques conectados entre sí. Estos tanques contienen un gas con bajo punto de ebullición que generalmente es freón (Sánchez Maza, 2010). Estos tanques tienen placas metálicas y cuando recibe los rayos solares, el líquido contenido se evapora y la diferencia de pesos provoca el movimiento. Los módulos fotovoltaicos se colocan de manera tal que se encuentra balanceado el peso y adicionalmente se colocan amortiguadores hidráulicos para contrarrestar la fuerza del viento (Beltrán Adán, José, 2007).



**Figura 24:** Esquema de la primera etapa del seguidor pasivo. (Beltrán Adán, José, 2007)

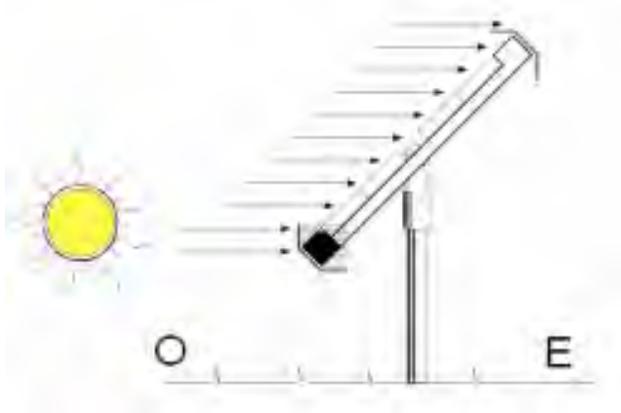
El seguidor comienza el día orientado al oeste como se observa en la figura 24. Con los primeros rayos solares el freón contenido en el depósito del lado oeste se evapora, y circula hacia el contenedor del lado este, al llegar ahí se vuelve a condensar y la diferencia de pesos provoca que el seguidor gire y quede orientado hacia el este, figura 25.

Los contenedores cuentan en los extremos con unas placas que originan sombra sobre ellos, el freón contenido en la sombra se condensa y el que está expuesto al Sol se evapora, el equilibrio se alcanza cuando en ambos contenedores, este y oeste, se encuentra una cantidad igual de líquido, y eso se da cuando el plano del seguidor se encuentra perpendicular al Sol. El líquido en los contenedores busca el equilibrio a lo largo del día, lo que induce el seguimiento del Sol.



**Figura 25:** Esquema de la segunda etapa del seguidor pasivo (Beltrán Adán, José, 2007).

Finalmente, como se observa en la figura 26, cuando el seguidor llega a su límite mecánico, en el atardecer, los rayos solares inciden solamente sobre el contenedor este y el contenedor oeste se encuentra en la sombra, por lo que se llena de líquido y el seguidor solar se orienta hacia el oeste, finalizando su ciclo de trabajo (Beltrán Adán, José, 2007).



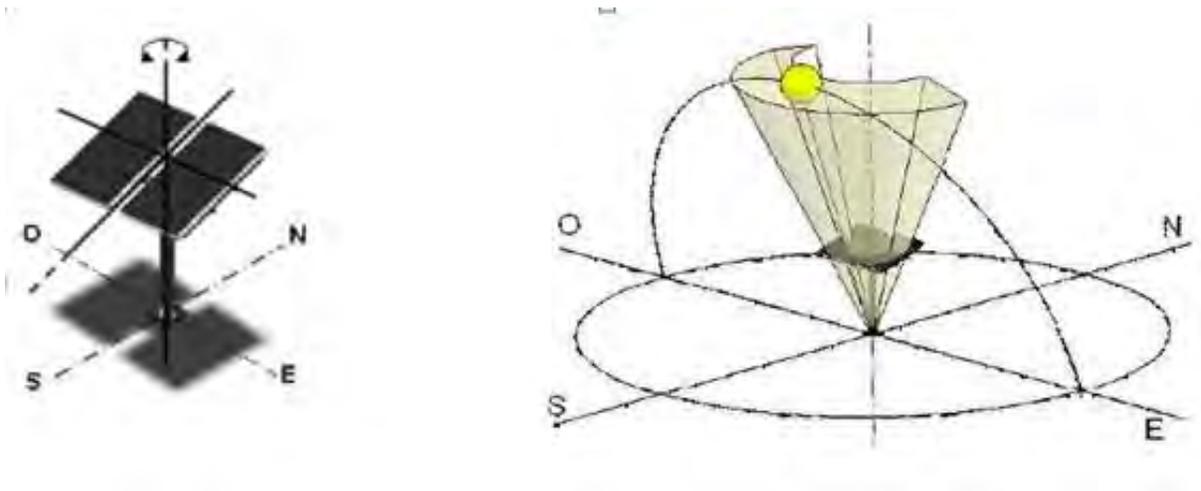
**Figura 26:** Esquema de la última etapa del seguidor pasivo (Beltrán Adán, José, 2007).

### **Soportes con seguidores automáticos activos.**

Son aquellos en los que se utiliza un dispositivo de control electrónico para ubicar la posición del Sol, este control se retroalimenta a base de sensores o por cálculos numéricos y utilizan algún actuador para realizar el movimiento del seguidor. Existen diferentes tipos de seguidores activos que se diferencian entre sí por el número de movimientos automáticos que realizan y el volumen de trabajo que pueden desarrollar (Beltrán Adán, José, 2007).

## Soportes con seguidores solares de un eje (azimutal).

En este tipo de soportes, los seguidores solares giran sobre un eje vertical y la superficie de los módulos fotovoltaicos tiene una inclinación igual a la latitud del lugar para obtener un mejor rendimiento a lo largo del año. El movimiento lo determina el valor del ángulo de azimut del Sol. La curva que dibuja en el espacio presenta siempre la misma altitud con un volumen de trabajo reducido en comparación con los otros seguidores.



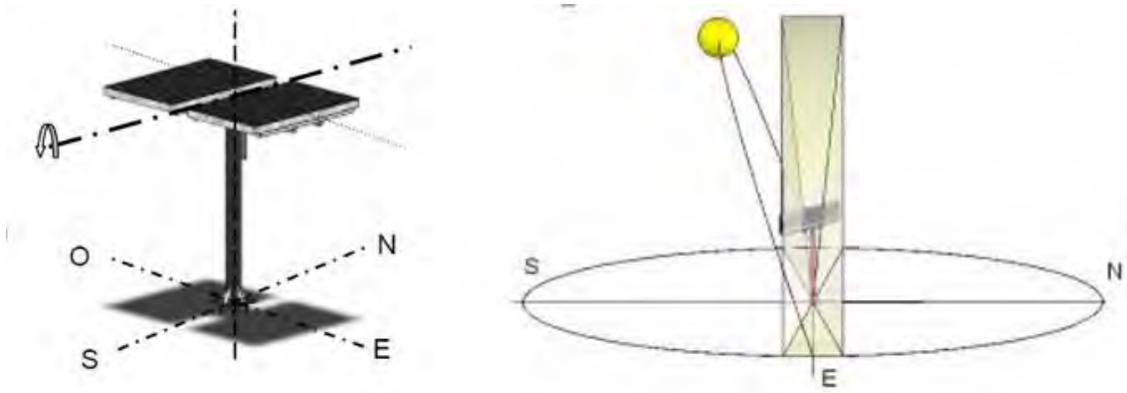
**Figura 27:** Esquema del movimiento del soporte del módulo fotovoltaico con respecto al ángulo azimutal del Sol (Beltrán Adán, José, 2007).

## Soportes con seguidor solar de un eje (horizontal).

En estos, el seguidor solar gira sobre un eje horizontal norte-sur, los módulos fotovoltaicos son colocados de manera paralela al eje de giro. La trayectoria dibujada es siempre un arco de este a oeste perpendicular al plano horizontal, que difiere de la trayectoria solar en la inclinación que tiene.



**Figura 28:** Fotografía de seguidor solar de un solo eje (Anon., 2009).



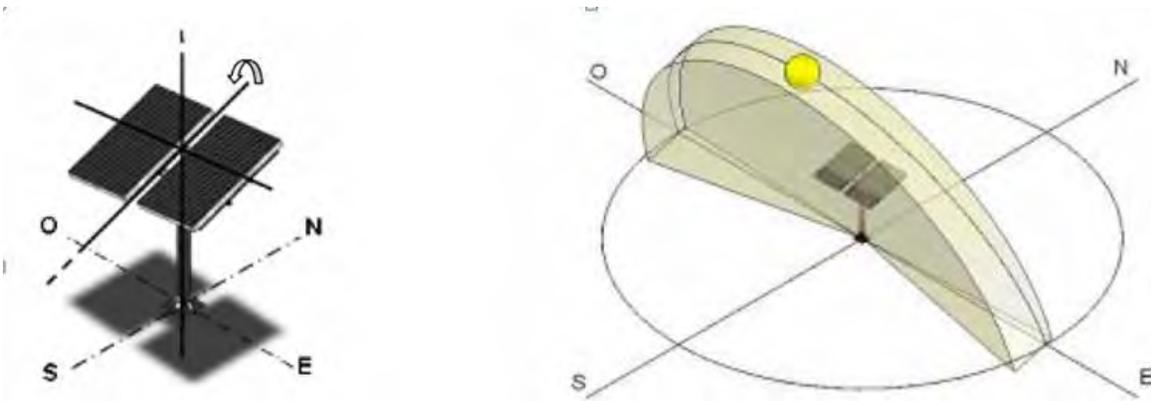
**Figura 29:** Esquema del movimiento del soporte del módulo fotovoltaico de eje horizontal con respecto al Sol (**Beltrán Adán, José, 2007**).

### **Soporte con seguidor solar de un eje (Polar).**

En este tipo de soportes, el seguidor solar gira sobre un eje orientado en dirección norte-sur y con una inclinación del eje igual a la latitud del lugar, los módulos fotovoltaicos se colocan paralelos al eje de giro, la velocidad de giro es de aproximadamente  $15^\circ$  por hora. Muy parecido al seguidor horizontal pero su inclinación provee una mejor ganancia por año con respecto a éste ya que corrige la declinación de la trayectoria y coincide con la del Sol, en contra se tiene un diseño más elaborado. La inclinación de los módulos opcionalmente puede ajustarse manualmente aún con este ajuste la trayectoria descrita solo coincide fielmente con la del Sol en el equinoccio de primavera y otoño.



**Figura 30:** Estructura de soporte polar (Anon., 2009).



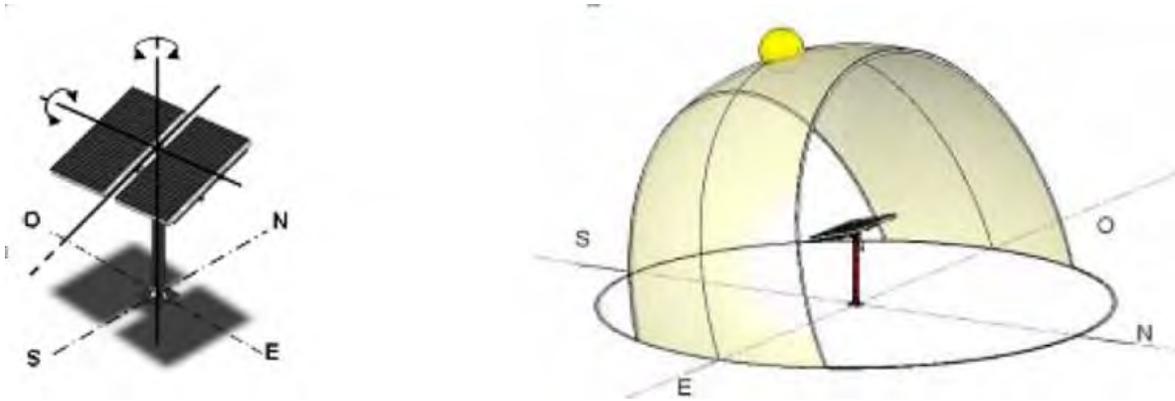
**Figura 31:** Esquema de movimiento del soporte de módulo fotovoltaico de eje polar con respecto al Sol (Beltrán Adán, José, 2007).

## Soportes con seguidor solar de dos ejes.

En estos, el seguidor solar de dos ejes realiza dos movimientos automatizados para realizar el seguimiento en los dos ángulos que determinan la posición del Sol. Son los únicos en que la superficie de los módulos fotovoltaicos siempre es perpendicular al Sol todo el día durante todo el año, su volumen de trabajo se extiende a lo largo de la trayectoria del Sol en todo el año.



**Figura 32:** Fotografía de seguidor solar de dos ejes (Anon., 2009)



**Figura 33:** Esquema de movimiento del soporte de módulo fotovoltaico de dos ejes respecto al Sol (Beltrán Adán, José, 2007).

## 2.2. Emplazamiento de la estructura.

Según el lugar donde vaya a ser colocado el sistema fotovoltaico, pueden ser cuatro posibilidades:

- Suelo.
- Mástil.
- Pared.
- Tejado o techo.

## Suelo.

En el suelo es la forma más habitual de montar las instalaciones fotovoltaicas, por su robustez, cuando aumenta el número de módulos fotovoltaicos colocados.

La mayor preocupación generalmente es la fuerza elevadora que puede ejercer el viento sobre los módulos fotovoltaicos. A nivel del suelo la acción del viento es menor y a mayor altura, es mayor la fuerza que ejerce. Es por esto que las estructuras suelen montarse sobre una base robusta de concreto.

La accesibilidad es también una ventaja, ya que permite un mantenimiento más cómodo. Sin embargo, un inconveniente puede ser que se encuentra al alcance de actos vandálicos e incluso pueden ser rotos por animales.



**Figura 34:** Fotografía de estructuras de soporte en suelo (IPS solar, 2012).

## Mástil.

Este es el tipo de montaje típico en alimentación fotovoltaica de equipos de comunicación aislados o farolas. En las instalaciones de repetidores donde ya se dispone de una antena, ésta puede servir de mástil.

Se usa principalmente en instalaciones donde ya se dispone el mástil, aprovechándolo para la colocación del módulo. Estas instalaciones suelen ser de pequeñas dimensiones, ya que una superficie mayor obligaría a sobredimensionar el mástil, sin embargo, en este caso puede ser más económico y fácil otro tipo de montaje.



**Figura 35:** Fotografía de instalación de módulos fotovoltaicos en mástil (Xinyao, 2013).

## Pared.

En este montaje la estructura se acopla a una de las paredes del edificio. Lo anterior permite que la acción del viento disminuya drásticamente.

Para este montaje se debe disponer de buenos puntos de anclaje. El sistema puede montarse mediante taquetes expansivos o bien realizando una pequeña obra donde se inserte en la estructura. Generalmente esta estructura debe ser liviana.



**Figura 36:** Fotografía de módulos solares en pared (Bricolaje, 2011).

## Tejado o techo.

Los techos o tejados son los lugares más utilizados para la colocación de los sistemas fotovoltaicos, debido a que generalmente en estos, se dispone de espacio y al estar elevados, presentan menores problemas de sombreado.

Una desventaja es que afecta la impermeabilización de los techos debido a la colocación de los soportes.

Es importante evitar la fijación del panel cerca de una superficie metálica expuesta directamente a la luz solar. Lo anterior, debido a que la temperatura de funcionamiento es un factor que debe tomarse en cuenta al instalar un módulo fotovoltaico. El rechazo al calor se favorece con una aireación y convección natural (Sánchez Maza, 2010).



**Figura 37:** Fotografía de estructura de soporte en techo (IPS solar, 2012).

Una nueva forma de instalación de módulos fotovoltaicos que es muy ingeniosa y de gran utilidad es el llamado parking Sol que se observa en la figura 38.

Es una estructura de soporte de módulos fotovoltaicos de cualquier tipo instalable sin obras de albañilería que puede ser desplazado en caso de necesidad y es construido enteramente de perfiles en aluminio extruido y pernos en acero inoxidable, por lo que no necesita mantenimiento.



**Figura 38:** Fotografía de un Parking Sol (Unasur Energía S.P.A., 2012).

### **2.3. Criterios de elección de soporte.**

Dos de los criterios utilizados para elegir el tipo de soporte más adecuado son:

- El costo máximo para el sistema.
- El incremento porcentual de energía que se obtendría utilizando otro tipo de sistema.

La latitud del sistema determina el grado de aquella variación entre la posición del Sol al amanecer y cuando alcanza el cenit. Si esta variación es extrema y el bloque generador tiene una gran cantidad de módulos fotovoltaicos, el diseño debe reincorporar el soporte automático. Si por el contrario, la potencia a generar está por debajo de los 360 watts, un panel ajustable será la solución más económica. Si la variación en la altura del Sol es mínima, un panel fijo será suficiente.

La incorporación de un seguidor, independientemente del tipo que se use, sólo se justifica si existe la posibilidad de incrementar sustancialmente (10-15%) el valor de energía a generar usando soportes más económicos.

Si un sistema necesita incrementar el valor de la energía a generar adicionando paneles fotovoltaicos, se deberá tener en cuenta que este costo puede aplicarse a la adquisición de un seguidor automático.

Las estructuras de soporte estáticas son generalmente preferibles a las de seguimiento.

Finalmente, si en una explotación agropecuaria se utiliza el bombeo de agua, la extensión del tiempo de bombeo justifica el costo de un seguidor de dos ejes, sobre todo en latitudes donde su introducción puede representar un aumento del 25% para la duración del día solar (Sánchez Maza, 2010).

## **Sombras.**

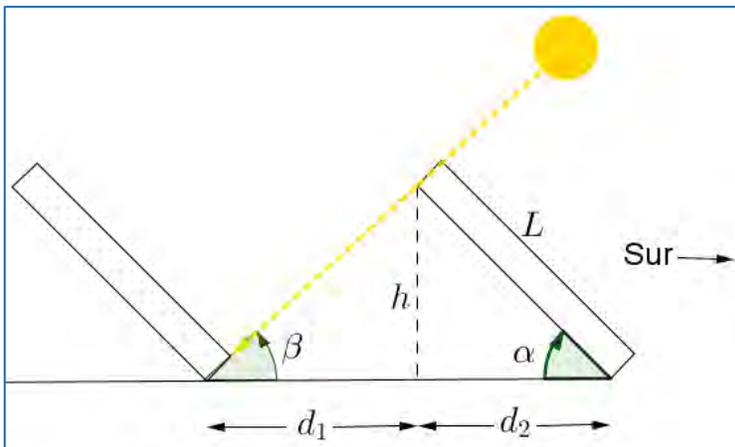
Se debe tener cuidado en situar los módulos en espacios donde los árboles o edificios no proyecten sombra sobre ellos en algún momento del día. Lo anterior debido a que las sombras pueden hacer trabajar a las celdas fotovoltaicas de forma inversa, es decir, hacerlos funcionar como receptores de corriente.

La determinación exacta de las posibles sombras se puede realizar conociendo la altura solar y el azimut durante todo el año y con esto comprobar si algún obstáculo puede en algún momento, llegar a ocultar el Sol e impedir que llegue la radiación solar al módulo fotovoltaico (Sánchez Maza, 2010).

En el caso que exista un gran número de módulos fotovoltaicos a instalar y no se dispone de mucho espacio, será necesario juntar las filas de módulos y esto puede traer como consecuencia que se produzcan sombras de una a otra fila. La posibilidad de que en verano puedan darse sombra unas filas a otras es mucho menor, ya que el recorrido del Sol es más alto, y por lo tanto, la sombra arrojada por la fila precedente es más pequeña.

## 2.4. Distancia entre módulos Fotovoltaicos.

Una aplicación importante del cálculo de sombras es conocer si una fila de módulos sombreará a otra fila de módulos fotovoltaicos que se encuentren detrás. Para calcular la distancia mínima de colocación entre filas de módulos para evitar este sombreado se considera la altura de los módulos, el ángulo de inclinación de los módulos (altura) y la latitud del lugar.



**Figura 39:** Esquema para el cálculo de la distancia entre módulos fotovoltaicos.

La distancia  $d_1$  está en función del ángulo de incidencia solar, el cual se calcula con base en la latitud del lugar y el ángulo de inclinación de los módulos:

$$\beta = 90^\circ - \text{latitud del lugar}$$

$$d_1 = \frac{h}{\tan \beta} = \frac{L \sin \alpha}{\tan \beta}$$

La distancia  $d_2$  se encuentra en función del ángulo de inclinación de los módulos:

$$d_2 = L \cos \alpha$$

De acuerdo con lo anterior, la distancia mínima total entre módulos debe ser:

$$d = d_1 + d_2$$

Es decir:

$$d = L \left[ \frac{\sin \alpha}{\tan \beta} + \cos \alpha \right]$$

## **Capítulo III “Diseño mecánico de la estructura de soporte del sistema fotovoltaico interconectado a la red de la Universidad de Quintana Roo”.**

En este capítulo se determina la ubicación del lugar donde será instalado el sistema fotovoltaico, de igual manera se presentan las características de los módulos fotovoltaicos y se calculan las fuerzas de viento que podrían actuar sobre ellos. Posteriormente se realiza el diseño de la estructura de soporte y la selección de materiales.

### **3.1. Sitio seleccionado.**

Para empezar se describirá la ubicación donde estará colocado el sistema:

La universidad de Quintana Roo se encuentra ubicada en la ciudad de Chetumal, en el municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo, México y el lugar preciso donde será instalado el sistema fotovoltaico se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas:

18°31'25.35" Latitud Norte

88°16'04.99" Longitud Oeste

6m de elevación.

En la figura 40 se visualiza el lugar de instalación del sistema fotovoltaico dentro de las instalaciones de la Universidad de Quintana Roo.



**Figura 40:** Lugar de emplazamiento del sistema fotovoltaico (Google Earth, 2014).

En la figura 41 se muestran algunas fotografías del lugar de emplazamiento visto desde diferentes ángulos.



**Figura 41:** Fotografías del lugar de emplazamiento.

### 3.2. Características de los módulo fotovoltaicos.

Los módulos seleccionados son:

Se seleccionó el módulo solar de marca Solartec S60PC-250 de 250 W, por lo que se requieren 10 módulos, ya que la potencia requerida es de 250 kW.

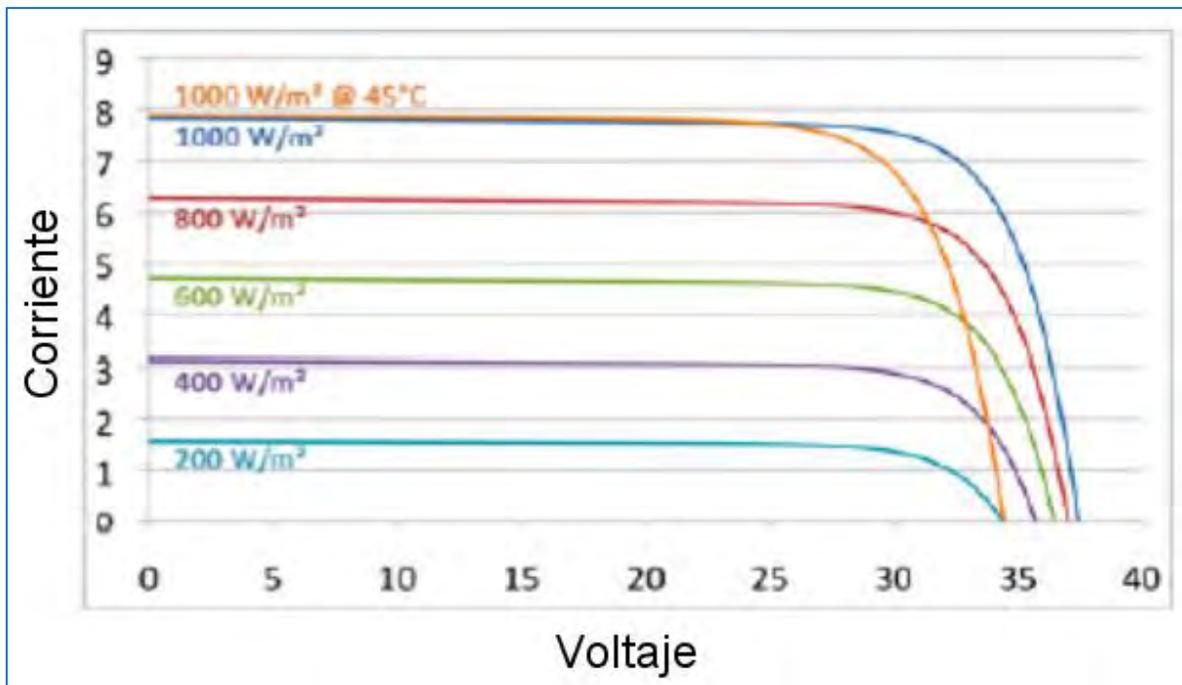
Dicha selección se realizó con base en el requerimiento de potencia de salida.

Las especificaciones de dicho módulo solar se observan en la figura 42.

<b>Especificaciones</b>	
Número de celdas	60 (6x10)
Máxima potencia de salida	250 W
Voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ )	37.85 V CD
Voltaje en el punto de máxima potencia ( $V_{mpp}$ )	30.12 V CD
Corriente en corto circuito ( $I_{sc}$ )	8.65 A
Corriente en el punto de máxima potencia.	8.30 A
Máximo voltaje del sistema	600 V CD
Valor máximo del fusible en serie	15 A
Temperatura de operación	-40 a +90 °C
Dimensiones del módulo	1640mm x992 mm
Peso	23.5 kg.
Cable	90 cm. de largo, capa XLPE, certificado TÜV, 4.0 mm <sup>2</sup>
Conexión	Unión Tipo IV IP65, caja con 6 diodos de paso, MC4 tipo plug, certificado TÜV
Hoja trasera	Blanca
Marco	Aluminio (40 mm)
Eficiencia del módulo	15.29%

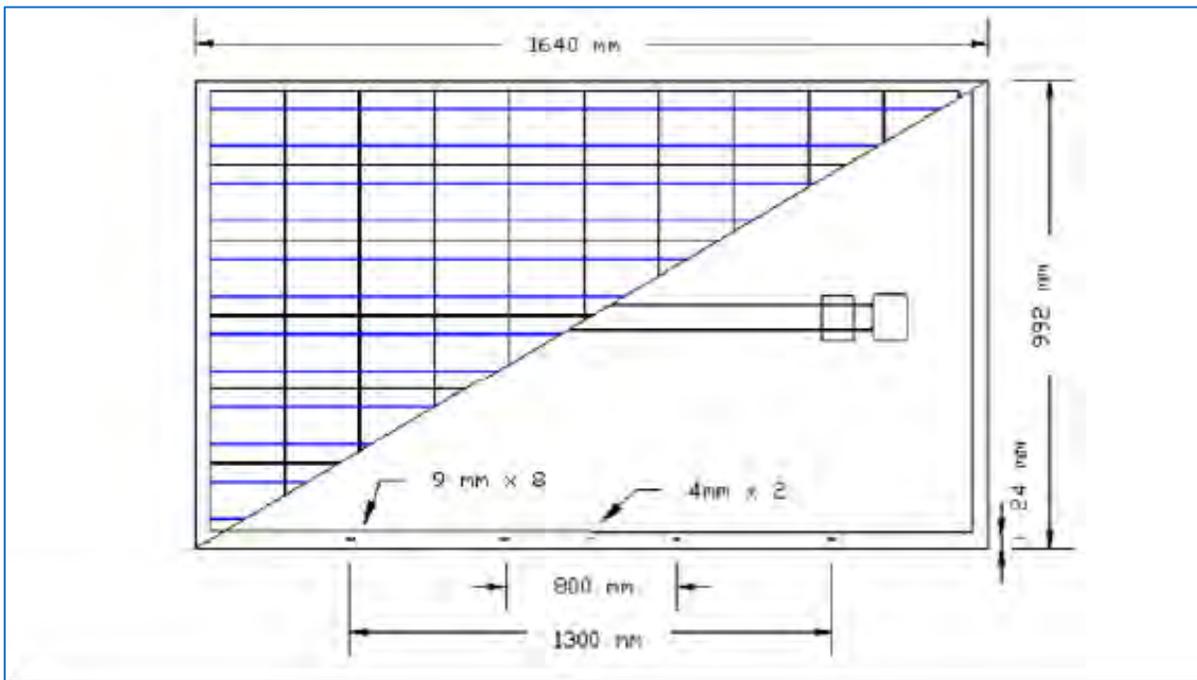
**Figura 42:** Tabla de especificaciones del módulo Solartec S60PC-250. (Solartec, 2012)

La curva característica corriente contra voltaje del módulo seleccionado se observa en la figura 43.

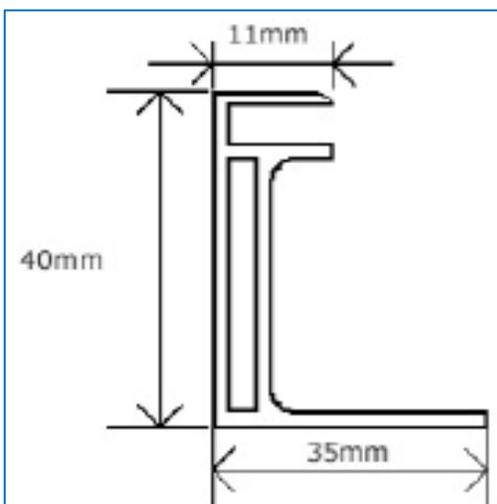


**Figura 43:** Gráfica de curva característica corriente contra voltaje (Solartec, 2012).

Las dimensiones correspondientes al módulo se observan en las figuras 44 y 45.



**Figura 44:** Imagen de las dimensiones del módulo (Solartec, 2012).



**Figura 45:** Imagen de las dimensiones del marco de aluminio (Solartec, 2012).

Debido a que el propósito de este trabajo está enfocado en la estructura de soporte, a continuación se realizará el cálculo de fuerza que el viento podría ejercer sobre el sistema de soporte.

### 3.3. Fuerza del viento sobre los módulos

Como se ha visto, la fórmula para el cálculo de la fuerza

$$F_1 = p S \text{ sen } \alpha$$

De acuerdo con la fórmula:  $p = 0.0005v + 0.611v^2$  se genera un valor diferente de presión para cada velocidad, como se observa en la figura 46.

$V(m/s)$	$p(N/m^2)$	$v$	$p$
1	0.6	16	156.5
2	2.5	17	176.7
3	5.5	18	198.1
4	9.8	19	220.7
5	15.3	20	244.5
6	22.0	21	269.6
7	30.0	22	295.8
8	39.1	23	323.3
9	49.5	24	352.1
10	61.2	25	382.0
11	74.0	26	413.2
12	88.0	27	445.6
13	103.3	28	479.2
14	119.8	29	514.0
15	137.6	30	550.1

**Figura 46:** Tabla de presión ejercida por diferentes velocidades de viento.

Si el ángulo de inclinación es la latitud del lugar:  $18.5^\circ$  y el área total del sistema fotovoltaico es el área de un módulo multiplicado por la cantidad de módulos:

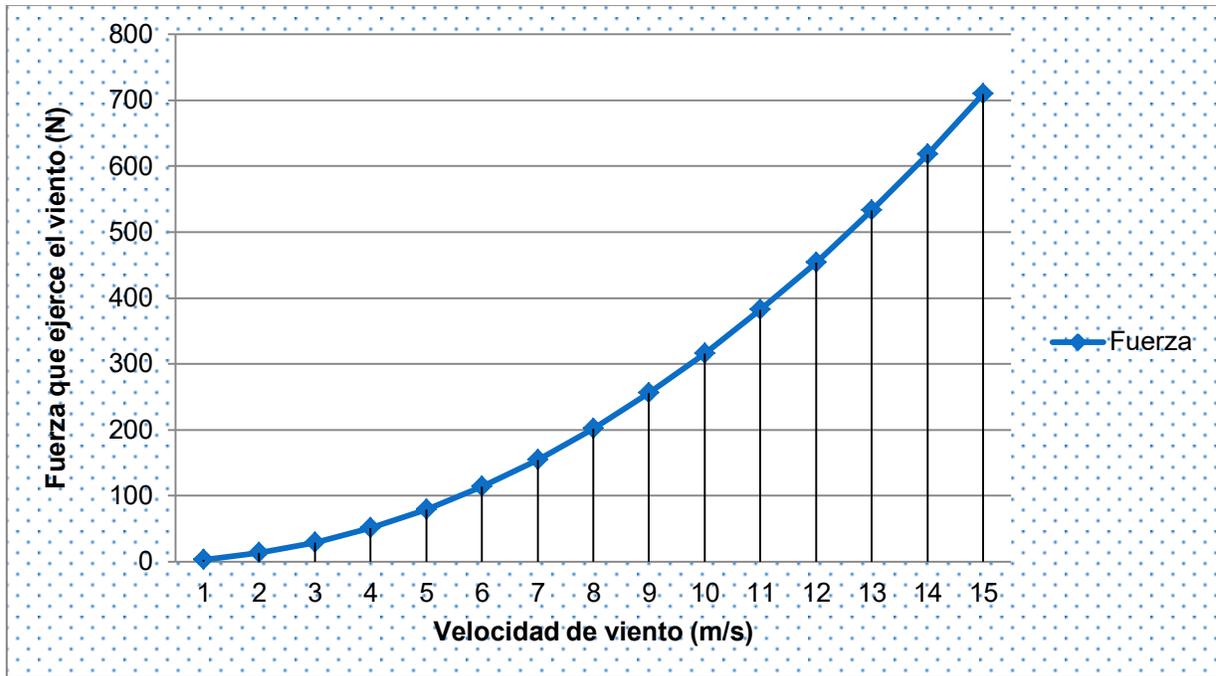
$$A_{total} = (1.64m)(0.992m)(10) = 16.26m^2$$

Con base en estos datos se calcula la fuerza que ejerce el viento para cada velocidad, figura 47.

$V(m/s)$	$F(Newtons)$	$v$	$F$
1	3.1	16	807.4
2	12.9	17	911.7
3	28.4	18	1022.1
4	50.6	19	1138.7
5	78.9	20	1261.5
6	113.5	21	1391.0
7	154.8	22	1526.1
8	201.7	23	1668.0
9	255.4	24	1816.6
10	315.8	25	1970.9
11	381.8	26	2131.9
12	454.0	27	2299.0
13	533.0	28	2472.4
14	618.1	29	2651.9
15	709.9	30	2838.2

**Figura 47:** Tabla de fuerzas ejercidas por diferentes velocidades de viento.

Si se realiza una gráfica de los primeros quince valores de la tabla anterior, se obtiene:



**Figura 48:** Gráfica de Velocidad contra fuerza del viento.

Como se observa, la fuerza que ejerce el viento se incrementa sustancialmente en forma exponencial por cada unidad de velocidad, por lo que es importante tomarlo en cuenta, sobretodo en épocas del año en los cuales se incremente el riesgo de huracanes.

### **3.4. Selección de materiales para la estructura.**

Puesto que se decidió ubicar la estructura al nivel del suelo, debido a que la acción del viento es menor en este nivel y se optó por un soporte fijo debido a que este tipo de soporte es una instalación que garantiza una estructura rígida y es de menor costo con respecto a las estructuras móviles, los materiales a utilizar básicamente son:

- Perfiles de carril de aluminio.
- Perfiles tubulares rectangulares (PTR).
- Tornillería de acero inoxidable.
- Dados de concreto armado.

## **Perfiles de carril de aluminio**

Se puede decir que el aluminio como material estructural tiene todas las ventajas asignadas a las estructuras metálicas, tales como rapidez para su montaje, requerimiento casi nulo de obra húmeda, seguridad, confortabilidad, etc. Dentro de las ventajas del aluminio se pueden mencionar su durabilidad y bajo mantenimiento, además frente al acero presenta menor peso casi un tercio con una alta relación resistencia/peso que a igualdad de condiciones permite un mejor y más rápido montaje (Montanaro, s.f.).

Para este caso se emplearán perfiles de carril de aluminio (power rail 8) que fueron seleccionados por su alta resistencia, diseño confiable y montaje flexible. Reduce tiempo de instalación y costos, ya que puede emplearse una sencilla herramienta. Además cuenta con ranuras para la inserción de cableado.

## **Perfiles tubulares rectangulares (PTR).**

Por otro lado se emplearán PTR, estos perfiles tubulares rectangulares, tienen excelentes propiedades para soportar cargas estáticas, no solamente con respecto al pandeo, flexión biaxial y torsión, sino también en aspectos relacionados con el diseño global de elementos. Pueden ofrecer ventajas económicas en comparación con otros perfiles. Las estructuras realizadas por perfiles tubulares presentan ventajas respecto a la protección frente a la corrosión. Los perfiles tubulares tienen esquinas redondeadas lo que da lugar a una mejor protección que en las secciones abiertas con esquinas agudas. Esta mejor protección incrementa la durabilidad de los revestimientos contra la corrosión. (ITEA, s.f.).

## Tornillería de acero inoxidable.

La tornillería será de acero inoxidable, y se utilizarán pernos de diferentes longitudes ( $2,2\frac{1}{4}$ ,  $2\frac{1}{2}$ ) y tuercas de  $5/16$ ".

## Dados de concreto armado.

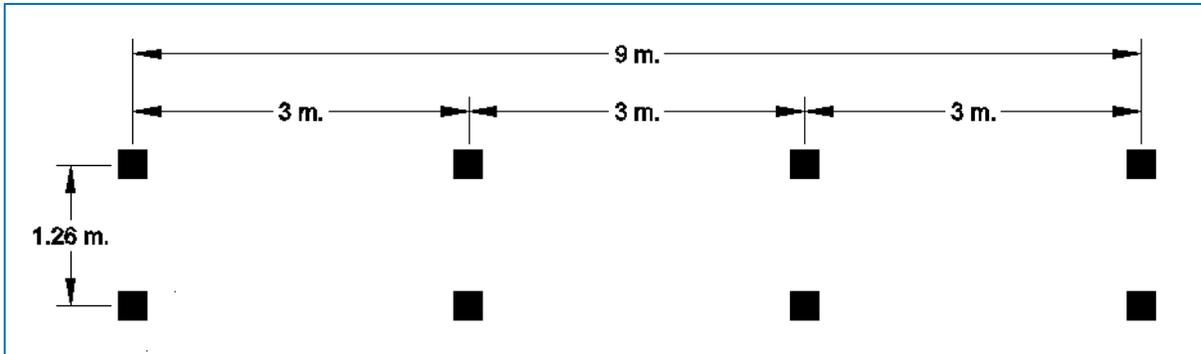
Los dados serán armados con cuatro varillas de  $3/8$ , estribos a cada 15cm. y colados con concreto  $f'c = 150 \frac{kg}{cm^2}$ . Para conseguir esta resistencia de concreto, se toma en cuenta la tabla de la figura 49.

CEMENTO (SACO)	AGUAS (BOTES)	ARENA (BOTES)	GRAVA (BOTES)	APLICACIÓN
1+ 0	1 0	2 1/3 000	4 3/4 00000	Grava 1-1/2" Alta resistencia $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ Grava 3/4"
1+ 0	1 0	2 1/3 000	3 1/2 0000	Grava 1-1/2" Columnas y techos $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ Grava 3/4"
1+ 0	1 1/3 00	3 1/2 0000	5 1/2 000000	Grava 1-1/2" Losas y zapatas $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ Grava 3/4"
1+ 0	1 1/3 00	3 000	4 0000	Grava 1-1/2" Trabes y dalas $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ Grava 3/4"
1+ 0	1 1/2 00	4 0000	6 1/2 0000000	Grava 1-1/2" Muros y pisos $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ Grava 3/4"
1+ 0	1 1/2 00	4 0000	5 00000	
1+ 0	1 3/4 00	5 00000	7 3/4 00000000	
1+ 0	2 0	5 00000	5 3/4 000000	
1+ 0	2 1/4 000	6 1/3 0000000	9 000000000	
1+ 0	2 1/4 000	6 1/2 0000000	7 0000000	

**Figura 49:** Tabla de resistencias para fabricación de concretos (Cemex, s.f.)

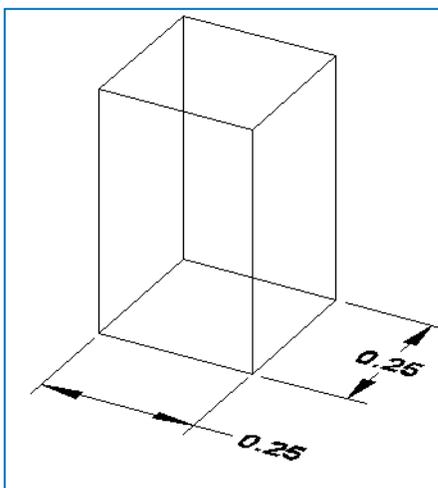
### 3.5. Diseño de la estructura de soporte.

Para la estructura de soporte se emplearán ocho dados de concreto como se observa en la figura 50, la distancia entre ejes de cada par de dados a lo largo deberá ser de 3 m. y a lo ancho 1.26 m.



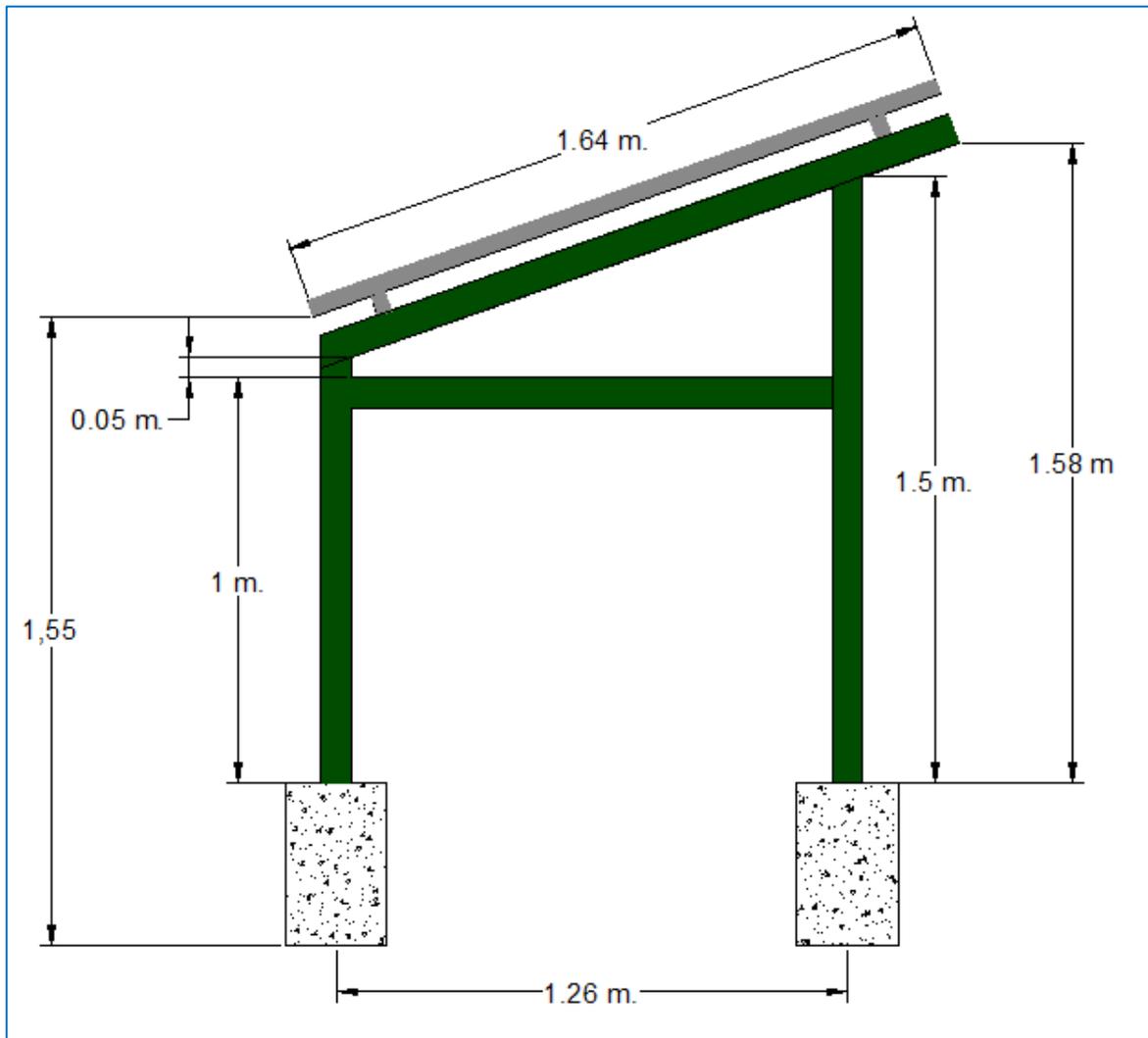
**Figura 50:** Distancias entre las bases de concreto

Estos dados tendrán una base cuadrada de 25 cm. por lado, una altura de 40 cm. sobre el nivel del suelo y 60cm. de profundidad, figura 51.



**Figura 51:** Dimensiones del dado de concreto.

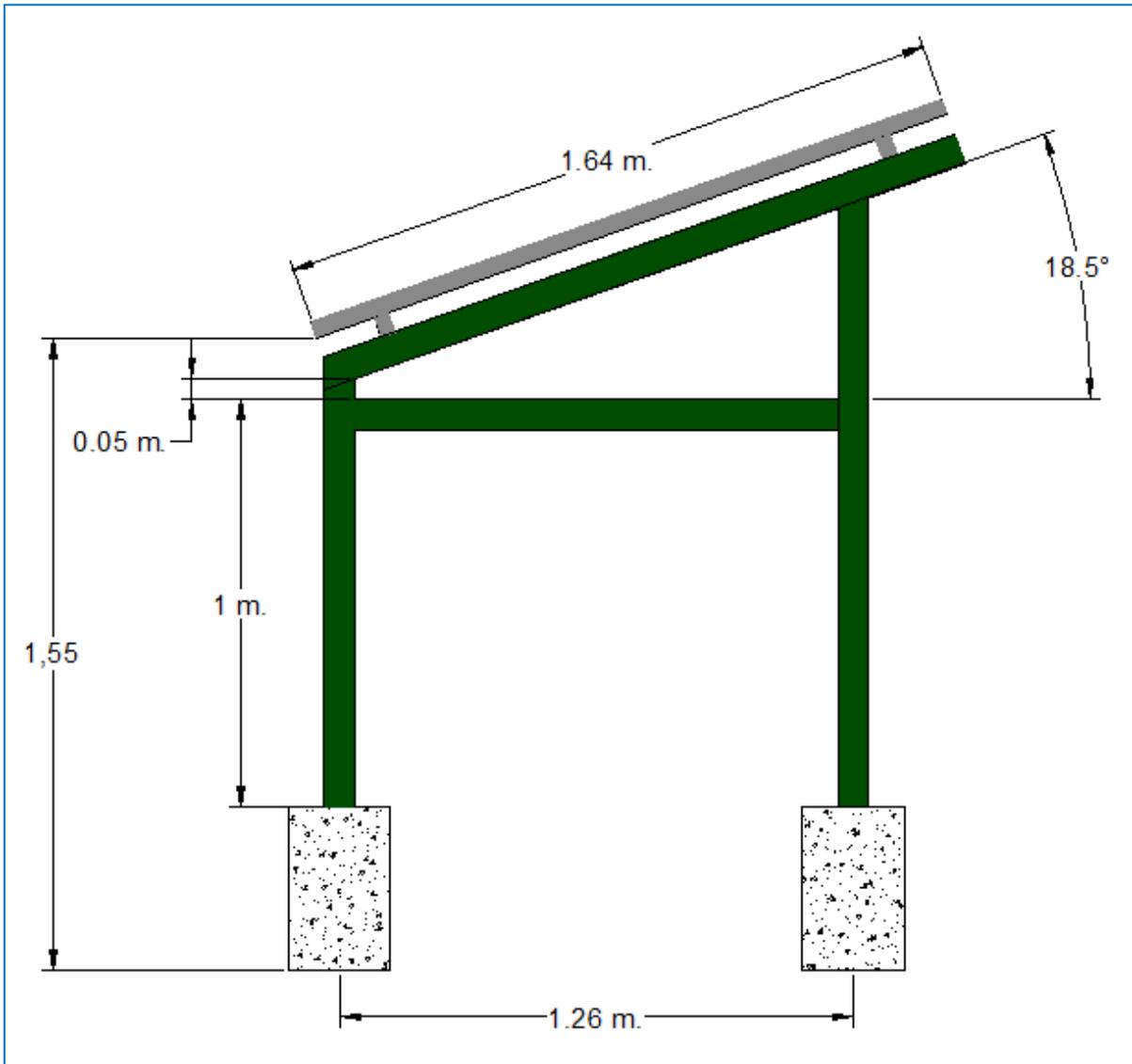
En cada uno de estos dados estarán colocados pernos de suspensión, en los cuales se montaran perfiles tubulares rectangulares (PTR) de 3x3" y se armará la estructura como se observa en la figura 52:



**Figura 52:** Vista del costado derecho de la estructura de soporte.

La altura mínima a la que estarán los módulos con respecto al suelo será de 1.55 m., el cual es una altura suficiente para no ser dañado por animales.

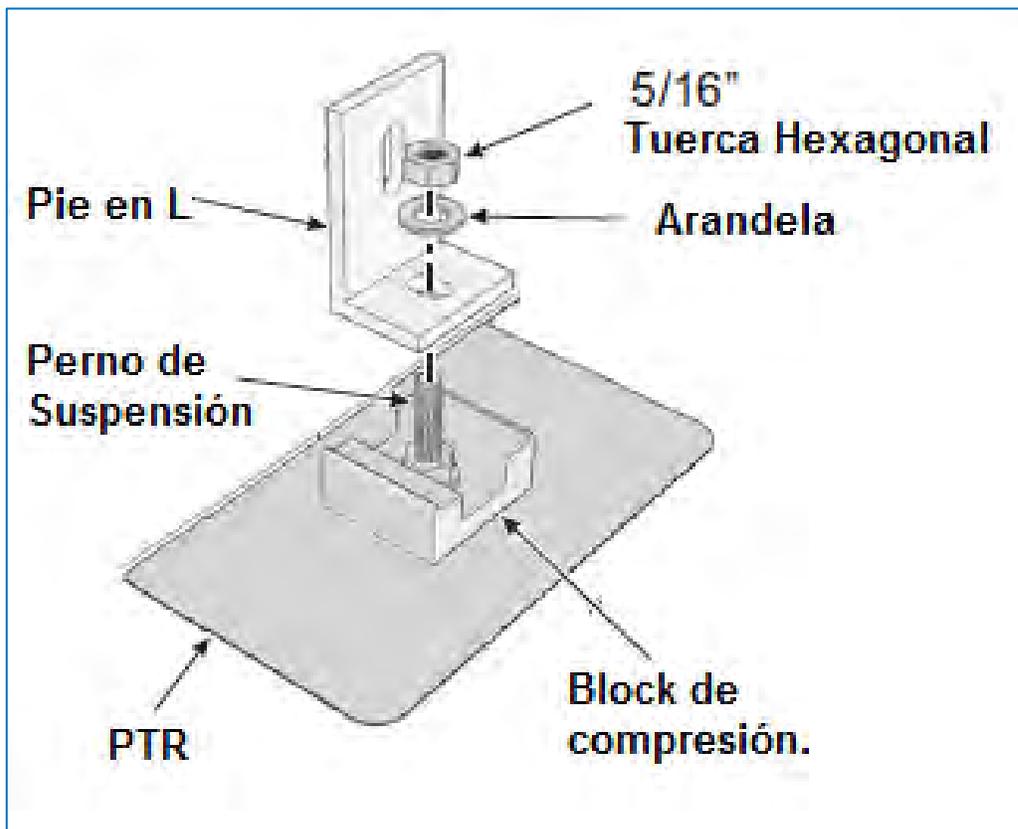
La altura mayor dependerá del ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos que será la latitud del lugar y de la longitud de los módulos.



**Figura 53:** Vista del costado derecho de la estructura de soporte.

La estructura que sujetará los módulos serán perfiles de carril de aluminio colocados a lo largo del sistema fotovoltaico.

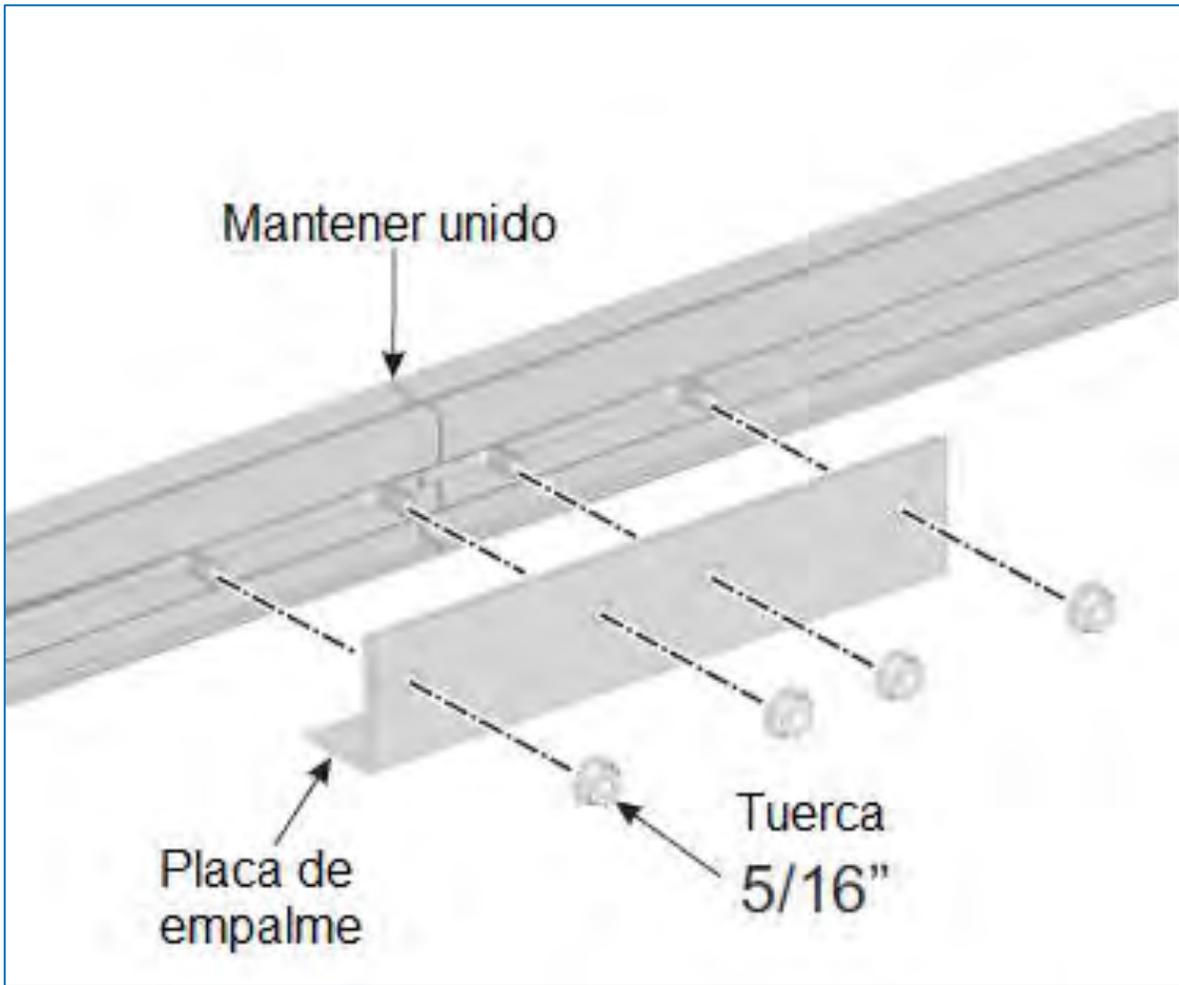
Para esto se colocaran sobre la tubería PTR los pies en “L” para sostener el arreglo fotovoltaico. En la figura 54 se observa un block de compresión que puede omitirse y fijar directamente el pie en “L”.



**Figura 54:** Esquema de pie en L para fijar los perfiles de carril (Solartec, 2012).

Para esto previamente se tiene que armar el arreglo fotovoltaico de la siguiente manera:

Primeramente se acoplan los perfiles de carril con las placas de empalme como se observa en la figura 55, para tener una longitud igual a 10.01 m. Lo anterior es debido a que cada módulo mide 99.2 cm de ancho y que el espacio entre módulos es de 1 cm.



**Figura 55:** Esquema de empalme de los perfiles de carril (Solartec, 2012).

Una vez armados los dos perfiles de carril con la longitud mencionada, se procede a ponerlos de manera paralela y con una separación de 1.24 cm. sobre otros perfiles de carril de longitud igual a la altura de un módulo, colocados transversalmente a los perfiles de carril longitudinales, que servirán de base para evitar la movilidad del arreglo, figura 56.



**Figura 56:** Fotografía del perfil de carril colocado transversalmente.

Posteriormente, se procede a colocar los sujetadores finales de módulos en los extremos como se observa en la figura 57.



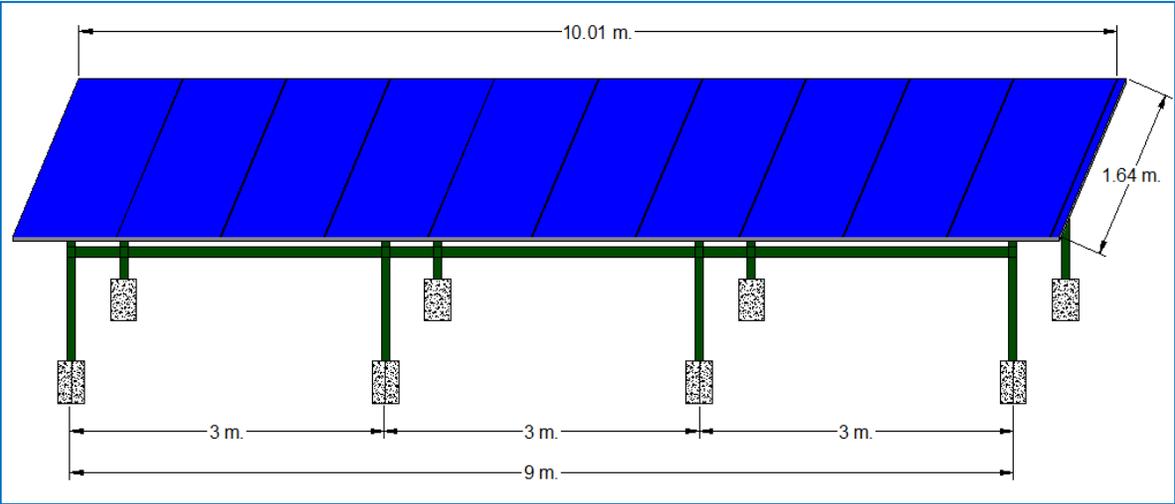
**Figura 57:** Fotografía de un sujetador y perfil de carril longitudinal.

Seguidamente por el otro extremo se van insertando los sujetadores medios con su respectivo perno y posteriormente se colocan los módulos para poder apretar los sujetadores por medio de la tuerca. Se sigue con este procedimiento hasta colocar todos los módulos. Cada uno de estos sujetadores quedará como se observa en la figura 58.



**Figura 58:** Fotografía de un sujetador medio.

Finalmente, este arreglo se colocará sobre la estructura previamente instalada, para quedar como se observa en la figura 59.



**Figura 59:** Vista frontal de los módulos sobre la estructura de soporte.

## **Comentarios finales.**

Los sistemas de generación de energía como los fotovoltaicos, contribuyen para reducir la contaminación ambiental y sobre todo, contribuyen a la sustentabilidad, es decir a satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad para las generaciones futuras.

Cada componente de un sistema fotovoltaico tiene su importancia y la estructura de soporte no puede ser la excepción, ya que es el medio por el cual se sujetan los módulos y soportan su peso, además deben ser lo suficientemente fuertes para soportar fenómenos naturales como lluvias y vientos fuertes.

Todos los componentes metálicos deben estar aterrizados para evitar daños por una descarga eléctrica sobre ellos o en personas.

Una estructura mal diseñada, mal armada o endeble puede tener como consecuencia un mal funcionamiento de todo el sistema que se traduce en la reducción de generación de energía y en un caso extremo en un grave daño a los componentes.

En este trabajo monográfico se cumplió el objetivo del diseño mecánico de la estructura de soporte del sistema fotovoltaico interconectado a la red de 2.5 kW de la Universidad de Quintana Roo, por tal motivo, en un corto plazo estará en proceso de armado en el lugar y con las características mencionadas en este documento.

Como conclusión personal, he de mencionar que este proyecto no se hubiera podido realizar sin el apoyo de mis asesores que con su conocimiento, paciencia y dirección me condujeron a alcanzar la meta planteada.

## Bibliografía.

Alberici, A., 2013. *Ecosolar Group SRL*. [En línea]

Available at: [http://www.ecosolargroup.com/dt\\_portfolio/cella-fotovoltaica-monocristalina](http://www.ecosolargroup.com/dt_portfolio/cella-fotovoltaica-monocristalina)

Alonso Lorenzo, J. A., 2013. *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*, Coruña: SunFields Europe.

Álvarez, C., 2006. *Energía eólica*. Madrid: Instituto para la diversificación y ahorro de energía.

Anon., 2009. *Tu tienda solar*. [En línea]

Available at: <http://www.tutiendasolar.es/Seguidores-Solares-Suntracer+-Lorentz.html>

[Último acceso: 05 Octubre 2014].

Anon., 2011. [En línea]

Available at: <http://www.motorpasion.com/espaciotoyota/electricidad-a-partir-de-hidrogeno-solar-por-que-no>

[Último acceso: 03 Octubre 2014].

Anon., 2012. *Funcosa*. [En línea]

Available at: <http://www.funcosa.com.mx/productos/sistemas-fotovoltaicos/sistema-interconectado.html>

Anon., 2014. *Ciencia para todos*. [En línea]

Available at:

<http://194.140.140.24:8080/ciencia/default2.jsp?formTxto=S&idDepartamento=179&tipoPagina=2&idPadre=173>

[Último acceso: 04 Octubre 2014].

Anon., 2014. *Sunfer*. [En línea]

Available at: <http://sunfer-energy.com/productos/>

[Último acceso: 05 Octubre 2014].

Anon., s.f. *Energía solar. Niche*. [En línea]

Available at: <http://solete.nichese.com/tiposbaterias.html>

[Último acceso: 10 Julio 2013].

Anon., s.f. *Tecnologías para el aprovechamiento de las energías*. [En línea]

Available at: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/8854/Capitulo3.pdf>

Anon., s.f. *TextosCientificos.com*. [En línea]  
Available at: <http://www.textoscientificos.com/energia/eolica>  
[Último acceso: 25 Abril 2013].

Antusol, 2010. *Energía solar fotovoltaica*. [En línea]  
Available at: <http://antusol.webcindario.com/instalacion.html>  
[Último acceso: 13 Enero 2015].

Beltrán Adán, José, 2007. *Prototipo fotovoltaico con seguimiento de sol para procesos electroquímicos*. [En línea]  
Available at: <http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-mkto/submenus/investigacion/tesis/40%20Jose%20Beltran%20Adan.pdf>  
[Último acceso: 14 Septiembre 2014].

Borja Díaz, M. A., Jaramillo Salgado, O. A. & Mimiagosa Sosa, F., 2005. *Proyecto Eoloeléctrico del Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec*. México: Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Bricolaje, 2011. *Bricolaje. Revestimientos, decoración y reparaciones*. [En línea]  
Available at: <http://bricolaje-pvc.com/category/economizar-energia>  
[Último acceso: 13 Diciembre 2014].

canarias, G. d., s.f. *Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables. Instalaciones fotovoltaicas..* [En línea]  
Available at:  
[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf)  
[Último acceso: 15 Septiembre 2014].

Cemex, s.f. *Manual del constructor*. [En línea]  
Available at:  
<https://www.cemexmexico.com/Concretos/files/Manual%20del%20Constructor%20-%20Construcci%C3%B3n%20General.pdf>  
[Último acceso: 30 Noviembre 2014].

Eco-Sostenible, s.f. *Eco-sostenible*. [En línea]  
Available at: [http://www.eco-sostenible.com/es/eco-servicios/instalaciones-energias-renovables-y-ahorro-energtico\\_instalaciones-energia-solar-fotovoltaica\\_p36.html](http://www.eco-sostenible.com/es/eco-servicios/instalaciones-energias-renovables-y-ahorro-energtico_instalaciones-energia-solar-fotovoltaica_p36.html)  
[Último acceso: 12 Octubre 2014].

Escobar Delgadillo, J. L., 2007. El desarrollo Sustentable en México (1980-2007). *Revista Digital Universitaria*.

Escobar, B., Hernández, J., Barbosa, R. & Verde-Gomez, Y., 2012. Analytical model as a tool for the sizing of a hydrogen production system based on renewable energy: The Mexican Caribbean as a case of study.. *Hydrigen Energy*.

Gasquet, H. L., 2004. *Conversión de la luz solar en Energía Eléctrica*. Cuernavaca(Morelos): Solartronic, S.A. de C.V..

Gasquet, L. H., 2004. *Conversión de la luz solar en energía eléctrica*.. Cuernavaca: solartronic.

IPS solar, 2012. *IPS solar*. [En línea]  
Available at: <http://www.ips-solar.com.au/>

ITEA, s.f. *Estructuras tubulares*. [En línea]  
Available at: <file:///C:/Users/Sam/Desktop/ptr%20propiedades.pdf>  
[Último acceso: 30 Noviembre 2014].

Jutglar, L., 2004. *Energía solar*. Barcelona: Ediciones Ceac.

Lastres Danguillecourt, O., 2007. *Simulación de sistemas eólicos autónomos con almacenamiento de hidrógeno*, Temixco, Morelos: UNAM.

Lois, M., 2006. *La Tierra y el Universo*. [En línea]  
Available at:  
<http://www.malois.com.ar/G06Tie/pages/Movimiento%20de%20nutaci%F3n.htm>  
[Último acceso: 15 Octubre 2014].

Montanaro, M. I., s.f. Diseño de estructuras con secciones de aluminio.

Morales Salas, L., 2007. *Síntesis, caracterización y aplicación de materiales electrocatalíticos  $MxOy$  basados en Ir y Ru como ánodo en electrolizadores tipo ESP (electrolito sólido polimérico)*, Temixco, Morelos: UNAM.

Muños Herrera, M., s.f. *PESCO*. [En línea]  
Available at:  
<http://www.pesco.com.mx/pesco/eficiencia/index.php/servicios/sistemas-fotovoltaicos/radiacion-solar>  
[Último acceso: 3 Octubre 2014].

Pareja Aparicio, M., 2010. *Energía solar fotovoltaica*. Barcelona: Marcombo, S.A..

Sánchez Juárez, A., s.f. *Estructuras para módulos fotovoltaicos*. Temixco, Morelos, s.n.

Sánchez Maza, M. Á., 2010. *Energía solar fotovoltaica*. México: Limusa.

Sánchez, C. T., 1997. *Algunos Elementos sobre la energía eólica*, Santa Cruz, Bolivia: s.n.

SENER, 2010. *Energía renovable*. [En línea]  
Available at: <http://www.renovables.gob.mx/portal/Default.aspx?id=1669&lang=1>  
[Último acceso: 12 Agosto 2012].

SENER, 2012. *Estrategia nacional de energía 2013 - 2027*. [En línea]  
Available at: [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2013/ENE\\_2013-2027.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/ENE_2013-2027.pdf)  
[Último acceso: 25 Septiembre 2014].

Solartec, 2012. *Solartec*. [En línea]  
Available at: <http://www.solartec.mx/doctos/modulos/poli/S60PC.pdf>  
[Último acceso: 05 Octubre 2014].

Soliclima, s.f. *Soliclima*. [En línea]  
Available at: <http://www.soliclima.es/fotovoltaica>  
[Último acceso: 05 Octubre 2014].

STI Solar Technology, s.f. *STI Solar Technology*. [En línea]  
Available at: <http://www.solartechnology.com.mx/fotovoltaicos.php?leng=>  
[Último acceso: 7 Julio 2013].

Unasur Energía S.P.A., 2012. *Estructuras*. [En línea]  
Available at: <http://es.slideshare.net/Unasur-Energia/estructuras-de-soporte-para-paneles-solares>  
[Último acceso: 2014 Diciembre 13].

Vargas, L., 2014. *Meteorología*. [En línea]  
Available at: <http://meteovargas.com/?p=4120>  
[Último acceso: 03 Octubre 2014].

Vercelli, A., 2012. *Energías como bienes comunes*. [En línea]  
Available at: <http://www.energias.bienescomunes.org/2012/08/26/que-es-la-energia-eolica-3/>  
[Último acceso: 13 Julio 2013].

Xinyao, 2013. *Jiangsu Shixin Landscape Lighting Co., Ltd.* [En línea]  
Available at: [http://es.made-in-china.com/co\\_jsshixin/image\\_New-Design-Solar-Lawn-Lamp-with-Hot-DIP-Galvanized-TYN-019-hrnsoieey\\_DBYECTbKZsWy.html](http://es.made-in-china.com/co_jsshixin/image_New-Design-Solar-Lawn-Lamp-with-Hot-DIP-Galvanized-TYN-019-hrnsoieey_DBYECTbKZsWy.html)  
[Último acceso: 2014 Diciembre 13].

Zeferino González, I., 2011. *Diseño de un sistemas de producción y uso de hidrógeno usando energías renovables*, Cancún: Instituto tecnológico de Cancún.