



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DE ENERGÍA SUSTENTABLE, EN UN INMUEBLE,
A PARTIR DEL USO DE PANELES SOLARES.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

JUAN ESTEBAN BONILLA NAVARRETE

TUTOR:

DR. ALEJANDRO ANTONIO VEGA RAMÍREZ

2014





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Agradezco a mi asesor el Dr. Antonio Alejandro Vega Ramírez quien me brindó su apoyo incondicionalmente para este trabajo.

Agradezco a mi tío el M. Arsenio Adrián Bonilla quien fue parte fundamental en la realización de este trabajo.

Dedicatorias

Dedico esta tesis a mis padres María de la Luz Navarrete Ruiz y Juan Esteban Bonilla Barrios quienes fueron un gran apoyo todo el tiempo

A mis hermanos Claudia Bonilla Navarrete, Isaac Joel Bonilla Navarrete y André Mike Bonilla Navarrete quienes siempre estuvieron conmigo y me alentaron para seguir adelante.

A mi tío Miguel Bonilla Barrios quien fue de gran apoyo para continuar mis estudios.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase, a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí.

A los sinodales quienes estudiaron mi tesis y la aprobaron.

A mis camaradas Luis Miguel Báez Martínez y Giovanni Martínez Peñaflor quienes me apoyaron durante todo el proceso de realización de este trabajo.

A mis amigos y amigas: Que han compartido conocimientos y sentimientos, momentos alegres, tragos amargos, experiencias buenas y otras no tanto, pero que siempre han estado conmigo incondicionalmente y que han formado parte de mi vida.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

Kaosdimensscrew.....

Índice

| | |
|---|----|
| Objetivos | 5 |
| Introducción | 6 |
| Capítulo I. Antecedentes de la energía eléctrica en México..... | 7 |
| 1.1 CFE..... | 7 |
| 1.2 Luz y fuerza del centro..... | 11 |
| 1.3 Tipos de Plantas generadoras de energía eléctrica en México..... | 13 |
| Capítulo II. Energía solar y Celdas fotovoltaicas..... | 21 |
| 2.1 Energía solar en la actualidad..... | 21 |
| 2.2 Celdas fotovoltaicas..... | 22 |
| 2.3 Antecedentes históricos de las celdas fotovoltaicas..... | 23 |
| 2.4 Tipos de celdas Fotovoltaicas..... | 25 |
| 2.5 Módulos fotovoltaicos..... | 29 |
| 2.6 Sistemas solares fotovoltaicos..... | 31 |
| 2.7 Componentes básicos de los sistemas solares fotovoltaicos..... | 32 |
| Capítulo III. Implementación del Sistema solar Fotovoltaico..... | 36 |
| 3.1 Características del lugar de implementación | 36 |
| 3.2 Consumo eléctrico | 44 |
| 3.3 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico | 45 |
| 3.4 Instalación eléctrica..... | 48 |
| 3.5 Conexión del sistema solar fotovoltaico..... | 50 |
| 3.6 Costos..... | 55 |
| Conclusiones | 58 |
| Bibliografía | 59 |
| Mesografía | 60 |
| Anexo | 62 |

Objetivos

Objetivo general:

Implementar un sistema de energía sustentable, de tal manera que no se dependa de una compañía proveedora de energía eléctrica.

Objetivos Particulares:

- Dar a conocer de manera breve la historia de la industria eléctrica en nuestro país.
- Investigar las formas más comunes de generación de energía eléctrica.
- Investigar las ventajas de la energía solar
- Estudiar las principales características de los dispositivos que transforman la energía solar en energía eléctrica
- Implementar un sistema de suministro de energía sustentable, utilizando los elementos y las herramientas adecuadas para tal efecto.

Introducción

La energía eléctrica a lo largo del tiempo se ha convertido en una necesidad fundamental para el ritmo de vida de las personas hoy en día, y ahora más que nunca dependemos en gran medida de esta energía. Ocupamos la electricidad para la mayoría de nuestras actividades, desde preparar nuestros alimentos, para comunicarnos, como entretenimiento y hasta nuestro aseo personal. En este proyecto implementaremos un sistema de energía sustentable a base de paneles solares con la finalidad de no depender de la compañía de energía eléctrica

En el primer capítulo incursionaremos de manera breve en la historia de la energía eléctrica en México, conoceremos las diferentes formas para generar energía eléctrica y mencionaremos algunas plantas generadoras que actualmente funcionan en nuestro país.

En el segundo capítulo nos enfocaremos primordialmente en la energía solar, aprenderemos la forma en que se genera la electricidad mediante paneles solares, los diferentes tipos de paneles que existen en el mercado, así como su potencia y su precio. También conoceremos el conjunto de dispositivos electrónicos que se necesitan para formar un sistema generador de energía eléctrica con paneles solares.

Finalmente en el tercer capítulo como objetivo principal de este trabajo Implementamos un sistema solar para la generación de energía eléctrica, en un inmueble, lo dimensionaremos de acuerdo a la energía consumida, con la finalidad de no depender al cien por ciento de la compañía y generar un ahorro a mediano plazo en nuestra factura, además de empezar a utilizar la llamada energía "limpia", la cual se caracteriza principalmente por no generar contaminación de ningún tipo.

Haremos una instalación eléctrica con fines de demostración para el inmueble, donde pondremos a prueba las habilidades adquiridas durante la carrera. Además analizaremos la relación costo-beneficio del nuestro proyecto para ver qué tan accesible y eficiente es para la persona que está dispuesta a incursionarse en este tipo de generación de electricidad.

Capítulo I

Antecedentes de la energía eléctrica en México

En la actualidad enfrentamos un problema energético muy importante, ya que en algunas zonas del área metropolitana el abastecimiento de energía eléctrica tiene muchas deficiencias así como un elevado costo en sus tarifas. Por esta razón se pretende implementar un sistema de energía alternativa el cual nos mantenga abastecidos aun cuando la red de energía eléctrica deje de funcionar. Esta red tiene muchos inconvenientes, algunas de los más importantes son los siguientes: el costo de producción de la energía eléctrica es muy elevado, cuando la demanda de energía eléctrica es mucha se produce energía con recursos no renovables, esto genera contaminación.

Tomando en cuenta estos factores y circunstancias, se optó por implementar un sistema de alimentación eléctrica que no contamine y que no desperdicie los recursos no renovables.

1.1 CFE

La generación de energía eléctrica inició en México a fines del siglo XIX. La primera planta generadora que se instaló en el país (1879) estuvo en León, Guanajuato, y era utilizada por la fábrica textil "La Americana". Casi inmediatamente se extendió esta forma de generar electricidad dentro de la producción minera y, marginalmente, para la iluminación residencial y pública.

En 1889 operaba la primera planta hidroeléctrica en Batopilas (Chihuahua) y extendió sus redes de distribución hacia mercados urbanos y comerciales, donde la población era de mayor capacidad económica.

Durante el régimen de Porfirio Díaz se otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público, colocándose las primeras 40 lámparas "de arco" en la Plaza de la Constitución, cien más en la Alameda Central y comenzó la iluminación de la entonces calle de Reforma y de algunas otras vías de la Ciudad de México.

A partir de lo anterior compañías internacionales con gran capacidad vinieron a crear filiales, como The Mexican Light and Power Company, de origen canadiense, en el centro del país; el consorcio The American and Foreign Power Company, con tres sistemas interconectados en el norte de México, y la Compañía Eléctrica de Chapala, en el occidente. A inicios del siglo XX México contaba con una capacidad de 31 MW, propiedad de empresas privadas. Para 1910 eran 50 MW, de los cuales 80% los generaba The Mexican Light and Power Company, con el primer

gran proyecto hidroeléctrico: la planta Necaxa, en Puebla. Las tres compañías eléctricas tenían las concesiones e instalaciones de la mayor parte de las pequeñas plantas que sólo funcionaban en sus regiones.

En el período de 1900 a 1910 se dio el primer esfuerzo para ordenar la industria eléctrica con la creación de la Comisión Nacional para el Fomento y Control de la Industria de Generación y Fuerza, conocida posteriormente como Comisión Nacional de Fuerza Motriz.

Fue el 2 de diciembre de 1933 cuando se decretó que la generación y distribución de electricidad son actividades de utilidad pública.

En 1937 México tenía 18.3 millones de habitantes, de los cuales únicamente siete millones contaban con electricidad, proporcionada con serias dificultades por tres empresas privadas. En ese momento las interrupciones de luz eran constantes y las tarifas muy elevadas, debido a que esas empresas se enfocaban a los mercados urbanos más redituables, sin contemplar a las poblaciones rurales, donde habitaba más de 62% de la población. La capacidad instalada de generación eléctrica en el país era de 629 MW.

El presidente Lázaro Cárdenas emitió una histórica Ley en 1937 sobre la potestad del estado sobre la industria eléctrica en el país, sin embargo, la expropiación petrolera dominó la escena nacional y se postergó hasta el sexenio de Manuel Ávila Camacho, entre 1940 y 1941, para iniciar el proceso de *nacionalización* de la industria eléctrica. La intervención del Estado se debió a que las empresas privadas desatendían a las comunidades rurales del país (la inmensa mayoría del territorio nacional), por el alto grado de inversión que se requería realizar contra las mínimas ganancias que resultarían de electrificar a poblados dispersos y que tendrían poca demanda.

Para dar respuesta al déficit de energía eléctrica que no permitía el desarrollo del país, el gobierno federal creó, el 14 de agosto de 1937, la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propios que se encargaría de llevar luz a todos los rincones del país. Tendría por objeto organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales. Esto se promulgó en la Ciudad de Mérida, Yucatán, el 14 de agosto de 1937 y se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 24 del mismo mes.

La CFE comenzó a construir plantas generadoras y ampliar las redes de transmisión y distribución, beneficiando a más mexicanos al posibilitar el bombeo de agua de riego y la molienda, así como mayor alumbrado público y electrificación de comunidades.

Los primeros proyectos de generación de energía eléctrica de CFE se realizaron en Teloloapan (Guerrero), Pátzcuaro (Michoacán), Suchiate y Xía (Oaxaca), y Ures y Altar (Sonora).

El primer gran proyecto hidroeléctrico se inició en 1938 con la construcción de los canales, caminos y carreteras de lo que después se convirtió en el Sistema Hidroeléctrico Ixtapantongo, en el Estado de México, que posteriormente fue nombrado Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán.

En 1938 la CFE tenía apenas una capacidad de 64 KW., misma que, en ocho años, aumentó hasta alcanzar 45,594 KW. Entonces, las compañías privadas dejaron de invertir y la CFE se vio obligada a generar energía para que estas compañías la distribuyeran en sus redes, mediante la reventa. Durante diez años este esquema mixto de empresas privadas en las urbes y zonas industriales del país junto con la CFE en el resto del país funcionó sin contravenir intereses. Hacia 1960 la CFE aportaba ya el 54% de los 2,308 MW de capacidad instalada, la empresa Mexican Light el 25%, la American and Foreign el 12%, y el resto de las compañías 9%. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de generación y electrificación, para esas fechas apenas 44% de la población contaba con electricidad. Por eso el presidente Adolfo López Mateos decidió nacionalizar la industria eléctrica, al establecer la compra de las empresas que tenían a cargo el suministro de la energía eléctrica. De esta forma, el gobierno adquirió en 52 millones de dólares, el 90% de las acciones de The Mexican Light and Power Co., y se comprometió a saldar los pasivos de esa empresa que ascendían a 78 millones de dólares. Por la suma de 70 millones de dólares obtuvo las acciones de la American and Foreign Power Co. Posteriormente cerró la operación comprometiendo a ambas empresas a invertir en México el dinero que recibieran para evitar una excesiva exportación de divisas. Junto con sus filiales, contaban con 19 plantas generadoras que servían al Distrito Federal y a los estados de Puebla, México, Michoacán, Morelos e Hidalgo, de las cuales 16 eran hidráulicas y 3 térmicas. Además de los bienes citados, la nación recibió el edificio situado en Melchor Ocampo No. 171, Colonia Tlaxpana, en México Distrito Federal, además de todos los demás inmuebles y muebles de las estaciones y plantas termoeléctricas e hidroeléctricas, así como equipos y materiales de oficina.

A partir de entonces se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización. El Estado mexicano adquirió los bienes e instalaciones de las compañías privadas, las cuales operaban con serias deficiencias por la falta de inversión y los problemas laborales.

Para 1961 la capacidad total instalada en el país ascendía a 3250 MW. CFE vendía 25% de la energía que producía y su participación en las centrales generadoras de electricidad pasó de cero a 54%. En esa década la inversión pública se destina en más del 50% a obras de infraestructura. Se construyeron importantes centros generadores, entre ellos los de infiernillo y temascal, y se instalaron otras plantas generadoras alcanzando, en 1971, una capacidad instalada de 7,874 MW.

Al finalizar la década de los 70 se superó el reto de sostener el ritmo de crecimiento al instalarse centrales generadoras que lograron una capacidad instalada de 17,360 MW.

Cabe mencionar que los inicios de la industria eléctrica mexicana operaban varios sistemas aislados, con características técnicas diferentes, llegando a coexistir casi 30 voltajes de distribución, siete de alta tensión para líneas de transmisión y dos frecuencias eléctricas de 50 y 60 Hertz. Esta situación dificultaba el suministro de electricidad por lo que CFE definió y unificó los criterios técnicos y económicos del Sistema Eléctrico Nacional normalizando los voltajes de operación, con la finalidad de estandarizar los equipos, reducir sus costos y los tiempos de fabricación, almacenaje e inventariado. Posteriormente se unificaron las frecuencias a 60 Hertz y CFE integró los sistemas de transmisión en el Sistema Interconectado Nacional.

En los años 80 el crecimiento de la infraestructura eléctrica fue menor que en la década anterior, principalmente por las disminuciones de recursos a la CFE. No obstante en 1991 la capacidad instalada ascendió a 26,797 MW.

A inicios del año 2000 se tenía ya una capacidad instalada de generación de 35,385 MW, cobertura del servicio eléctrico del 94.70% a nivel nacional, una red de transmisión y distribución de 614,653 Km., lo que equivale a más de 15 vueltas completas a la Tierra y más de 18.6 millones de usuarios, incorporando casi un millón cada año.

A partir octubre de 2009, CFE es la encargada de brindar el servicio eléctrico en todo el país.

El servicio al cliente es prioridad para la empresa, por lo que se utiliza la tecnología para ser más eficiente, y se continúa la expansión del servicio, aprovechando las mejores tecnologías para brindar el servicio aun en las zonas remotas y comunidades dispersas. La CFE es reconocida como una de las mayores empresas del mundo, y aún mantiene integrados todos los procesos del servicio eléctrico.

1.2 Luz y Fuerza del Centro (LyFC)

Luz y Fuerza del Centro fue un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, que transmitió, distribuyó y comercializó energía eléctrica en la zona central de México: a todo el Distrito Federal, a 80 municipios del Estado de México, dos de Morelos, dos de Puebla y cinco de Hidalgo.

En Canadá se funda la empresa The Mexican Light & Power Company, Ltd. en 1898, la cual obtuvo concesiones del presidente Porfirio Díaz para generar, transmitir (de las plantas generadoras a las subestaciones), distribuir (de las subestaciones a los consumidores finales) y comercializar energía eléctrica en el Valle de México. Lo anterior en detrimento de la compañía "Mexicana de Gas y Luz Eléctrica", que en 1881 había establecido el alumbrado público residencial en la capital de la República, primer sistema de su tipo en el país.

Como empresa privada con fines de lucro, la estrategia de la Mexican Light & Power fue abastecer de electricidad a la industria capitalina y de sus alrededores, así como al nascente sistema de tranvías eléctricos que sustituía al tradicional de mulas o caballos que funcionaba en la capital. Una vez colocados a la venta los principales flujos eléctricos, la electricidad sobrante fue distribuida en las zonas residenciales o en los núcleos altamente urbanizados de la zona. Para poder cumplir con la creciente demanda eléctrica, en 1903 obtuvo las concesiones para explotar las caídas de agua de los ríos Tenango, Necaxa y Xaltepuxtlá. Tres años después, en 1906, nuevas concesiones de los gobiernos federal y locales, le permiten a la también llamada "MEXLIGHT" extenderse a los estados de México, Puebla, Hidalgo y Michoacán. México ha ido desarrollando con el pasar de los años más y mejor infraestructura para aumentar la capacidad de generación de energía eléctrica, y así abastecer la demanda requerida y brindar un mejor servicio a los usuarios, desafortunadamente la demanda de energía va creciendo también con respecto a los años, por eso es necesario concientizar a la gente acerca del ahorro de energía para así no desperdiciar energía eléctrica y tener un servicio de calidad y que satisfaga nuestras necesidades de consumo.

A continuación se muestra la tabla 1.1 que detalla la capacidad instalada y de generación sin incluir la zona centro.

Tabla 1.1 Capacidad instalada y de Generación [Capacidad instalada y generación]. Recuperado de Informe anual CFE 2012

| | | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capacidad (MW) | CFE | 36971 | 38422 | 37325 | 37470 | 38397 | 38474 | 38927 | 39704 | 39270 | 39307 |
| | PIE | 6756 | 7265 | 8251 | 10387 | 11457 | 11457 | 11457 | 11907 | 11907 | 12213 |
| | Total | 43727 | 45687 | 45576 | 47857 | 49854 | 49931 | 50384 | 51611 | 51177 | 51510 |
| Generación (TWh) | CFE | 169.32 | 159.53 | 170.07 | 162.47 | 157.51 | 157.16 | 154.14 | 160.37 | 170.42 | 135.59 |
| | PIE | 31.62 | 45.85 | 45.56 | 59.43 | 70.98 | 74.23 | 76.5 | 78.44 | 84.26 | 61.72 |
| | Total | 200.94 | 205.39 | 215.63 | 221.9 | 228.49 | 231.4 | 230.64 | 238.81 | 254.68 | 197.3 |

En la tabla 1.2 se presentan las diferentes formas de generación de electricidad, su capacidad efectiva y sus respectivos porcentajes.

Tabla 1.2 tipos de generación [Tipos de generación]. Recuperado informe anual CFE 2012

| Tipo de generación | Capacidad efec. en MW | Porcentaje |
|---|-----------------------|------------|
| Termoeléctrica | 22 596.33 | 44.56% |
| Hidroeléctrica | 11 241.22 | 21.82% |
| Carboeléctrica | 2 600.00 | 5.05% |
| Geotermoeléctrica | 811 .60 | 1.58% |
| Eoloeléctrica | 86.75 | 0.17 |
| Nucleoeléctrica | 1 610.00 | 3.13% |
| Fotovoltaica | 1.00 | 0.002% |
| Termoeléctrica (Productores Independientes) | 11 906.9 | 23.11% |
| Eólica (Productores Independientes) | 306.00 | 0.59% |

Los números arrojados en estas estadísticas de las tablas anteriores muy pocas veces están al cien por ciento ya que la red eléctrica de Comisión Federal de Electricidad tiene muchas deficiencias por agentes externos como son: Robo de energía eléctrica, desastres naturales, accidentes en torres de energía y postes, y además la falta de pagos por parte de los usuarios.

El robo de energía eléctrica por parte de usuarios no registrados genera muchas pérdidas económicas y una sobrecarga en el suministro de energía eléctrica, lo cual produce una deficiencia en el servicio brindado por la compañía o incluso a veces cortes frecuentes en el suministro. Dicha sobrecarga produce una demanda mayor a la cual se tiene que responder produciendo más energía, pero con recursos no renovables como son la quema de combustibles y carbón.

Los desastres naturales influyen algunas veces en las fallas de la red eléctrica ya que a causa de estos la infraestructura sufre daños, lo cual produce cortes en el suministro de energía. Por último, la falta de pago de los usuarios genera una poca inversión para la generación de energía eléctrica.

Un ejemplo de ello son las fuertes ráfagas de viento que normalmente azotan las zonas centro y oriente provocan cortes de energía consecuencia de daños provocados a la infraestructura de CFE. Además, la caída de anuncios espectaculares por las mismas fuerzas del viento afecta la red de cableado de la citada empresa. Esto provoca cortes hasta de 5 horas en el suministro de energía en las áreas mencionadas. La respuesta del personal para atender estas afectaciones debe ser inmediata, para intensificar los trabajos de reconstrucción y mantenimiento durante un periodo considerable, lo que demanda mayor inversión de recursos tanto económicos como humanos. Esto implica no invertir en la generación y distribución sino más bien en la reparación de las redes de transmisión.

1.3 Tipos de plantas generadoras en México

La energía eléctrica en México se genera de varias formas. A continuación se mencionan los tipos de plantas generadoras que existen y una breve explicación del funcionamiento de cada una de ellas.

Planta termoeléctrica.

Una central termoeléctrica es una instalación empleada en la generación de electricidad a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la quema de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico para mover un alternador y producir energía eléctrica. Figura 1.1

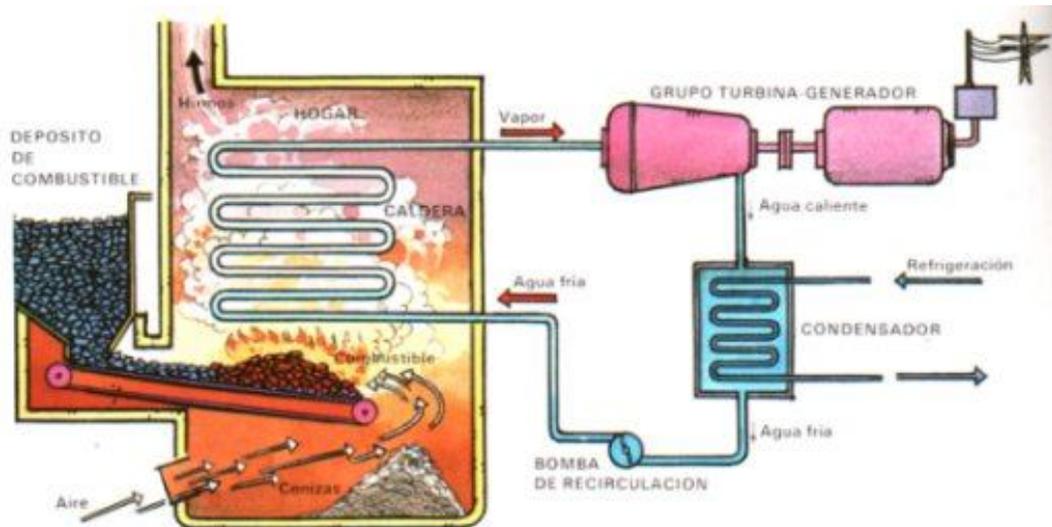


Figura 1.1 proceso para generar energía eléctrica en una planta termoeléctrica. [Central termoeléctrica]. Recuperado de <http://www.renovetec.com/cursocentralestermoelectricas.html>

Algunas centrales termoeléctricas contribuyen al efecto invernadero emitiendo dióxido de carbono. No es el caso de las centrales de energía solar térmica que al no quemar ningún combustible, no lo hacen. También hay que considerar que la masa de este gas emitida por unidad de energía producida no es la misma en todos los casos: el carbón se compone de carbono e impurezas. Casi todo el carbono que se quema se convierte en dióxido de carbono. También puede convertirse en monóxido de carbono si la combustión es pobre en oxígeno. En el caso del gas natural, por cada átomo de carbono hay cuatro de hidrógeno que también producen energía al convertirse en agua, por lo que contaminan menos por cada unidad de energía que producen y la emisión de gases perjudiciales procedentes de la combustión de impurezas como los óxidos de azufre es mucho menor.

Cuando el calor se obtiene mediante la fisión controlada de núcleos de uranio la central se llama central nuclear. Este tipo de central no contribuye al efecto invernadero, pero tiene el problema de los residuos radioactivos que han de ser guardados durante miles de años y la posibilidad de accidentes graves.

La red de generación de electricidad en México cuenta con la central Adolfo López Mateos que es una central del tipo termoeléctrica, esta ubicada en el municipio de Tuxpan, Veracruz, cuenta con seis generadores con capacidad de generar 2,100 megawatts de energía eléctrica, es también el mayor generador de energía en el país mediante este recurso.

Planta hidroeléctrica

En una central hidroeléctrica se utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. Son el resultado actual de la evolución de los antiguos molinos que aprovechaban la corriente de los ríos para mover una rueda.

En general, estas centrales aprovechan la energía potencial gravitatoria que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como *salto geodésico*. El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica, la cual transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica. Figura 1.2

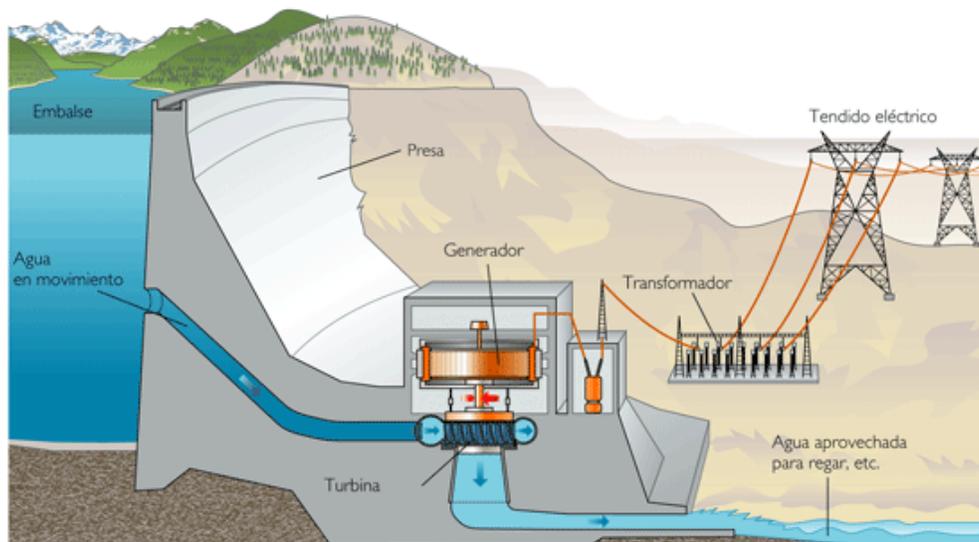


Figura 1.2 proceso para generar energía eléctrica en una planta hidroeléctrica. [Central hidroeléctrica]. Recuperado de <http://hidroelectricaenambiente-gabriela.blogspot.mx/>

Las dos características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad, son:

- La potencia, que está en función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y del caudal máximo turbinable, además de las características de las turbinas y de los generadores usados en la transformación.

- La energía garantizada en un lapso determinado, generalmente un año, que está en función del volumen útil del embalse, y de la potencia instalada.

La red eléctrica cuenta con la central hidroeléctrica Chicoasén, también conocida con el nombre del Ing. Manuel Moreno Torres, quien fue Director General de la CFE durante el sexenio del presidente Adolfo López Mateos. Esta central cuenta con cinco unidades turbogeneradoras de 300 MW cada una, para una capacidad instalada total de 1,500 MW. La energía generada es transportada a través de diez líneas de transmisión: seis a 400 KV y cuatro de 115 KV. La mayoría de las líneas de alta tensión en 400 KV envían el fluido eléctrico hacia la Ciudad de Veracruz, al área central del país, con un enlace a la Central Hidroeléctrica La Angostura, en el municipio de Venustiano Carranza, Chiapas. De las líneas de baja tensión en 115 KV, dos van hacia Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, una a San Cristóbal de las Casas, Chiapas y una más es enlace a la Central Hidroeléctrica Bombaná, en el municipio de Soyala, Chiapas.

Central geotérmica

Una central geotérmica es un lugar donde se aprovecha el calor interno de la Tierra. Para aprovechar esta energía es necesario que se den temperaturas muy elevadas a poca profundidad. Sólo así es posible aprovechar el agua caliente o el vapor de agua generados de forma natural. Este tipo de energía se utiliza principalmente para calefacción y usos agrícolas. Figura1.3

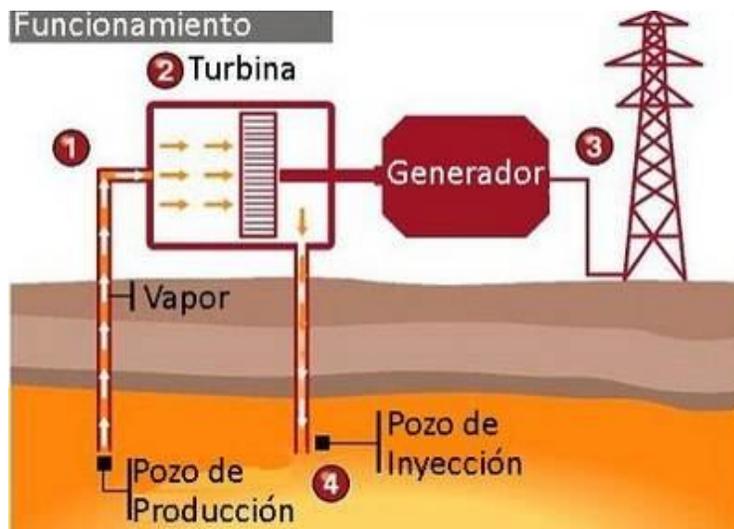


Figura 1.3 proceso para generar energía eléctrica en una planta geotérmica. [Central geotérmica]. Recuperado de <http://antonioboveda.blogspot.mx/2011/03/terminos-tema-8-naturaleza-y-recursos.html>.

La energía geotérmica es renovable y apenas produce residuos. Sin embargo, su aprovechamiento está limitado a determinadas zonas geográficas. En algunos casos, el agua extraída puede contener sustancias tóxicas, como el arsénico y el ácido sulfúrico, esto, unido a las elevadas temperaturas del agua extraída, puede dañar los ecosistemas del exterior.

La Planta de energía geotérmica Cerro Prieto es la mayor central de energía geotérmica en el mundo, con una capacidad instalada de 720 MW, con planes de expansión hasta 820 MW. La instalación, que utiliza turbinas de vapor, está ubicada en el valle de Mexicali, Baja California.

Central Eoloeléctrica

En la central eoloeléctrica se aprovecha la energía eólica obtenida del viento para producir energía eléctrica, esta se obtiene de la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transmutada en otras formas útiles para las actividades humanas. En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir electricidad mediante aerogeneradores. Figura 1.4

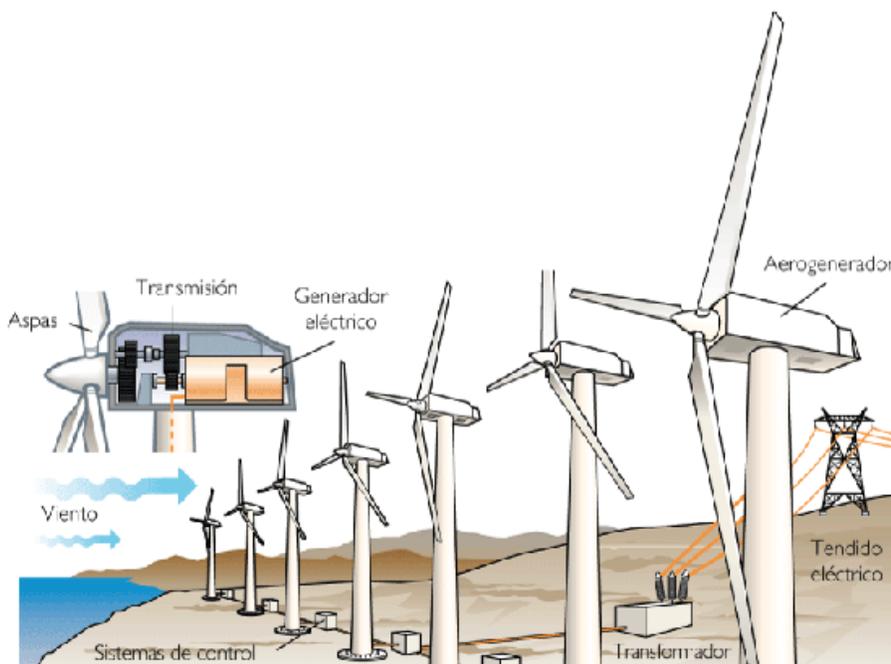


Figura 1.4 Proceso para generar energía eléctrica en una planta eoloeléctrica. [Central eoloeléctrica]. Recuperado de <http://www.electro-merchan.com/web/que.php>

La energía eólica es un recurso abundante, renovable y limpio, que ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar las centrales termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía limpia. Su principal inconveniente es la intermitencia del viento.

En México, el desarrollo de tecnología para el uso de este tipo de energía se inició con un programa de aprovechamiento del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), hace ya muchos años, en febrero de 1977. La central de La venta en Oaxaca tiene 105 aerogeneradores que están en la zona de La Ventosa, un lugar bien conocido en la zona por sus vientos que incluso se dice han llegado a volcar camiones. Este tipo de aerogenerador opera con velocidades de viento de entre 5 y 20 m/s, debajo de 5 no genera y con velocidades superiores tiene que frenarse para evitar daños al equipo lo que ocurre también con los aerogeneradores pequeños. La capacidad de producción eléctrica de esta central es de 85 MW que comparado con una central termoeléctrica de mediano tamaño como la de Manzanillo que genera 700 MW, es solo el 12%, o bien contra la Nucleoeléctrica de Laguna Verde que genera 1,365 MW, La Venta genera solo el 6% por lo que la aportación al sistema eléctrico nacional es mínima.

Central nucleoeléctrica

Una central o planta nuclear es una instalación industrial empleada para la generación de energía eléctrica a partir de energía nuclear. Se caracteriza por el empleo de combustible nuclear fisionable que mediante reacciones nucleares proporciona calor. A su vez es empleado, a través de un ciclo termodinámico, para producir el movimiento de alternadores que transforman el trabajo mecánico en energía eléctrica. Estas centrales constan de uno o más reactores. Figura 1.5

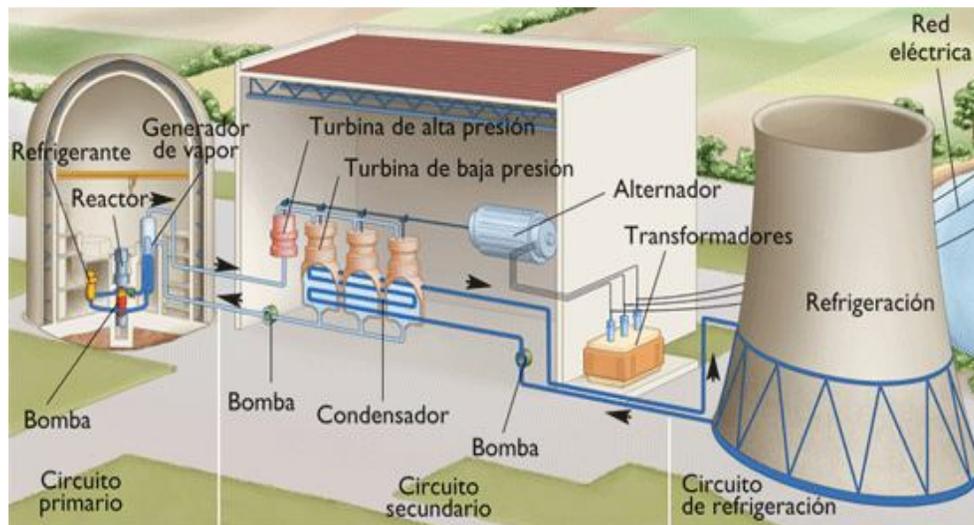


Figura 1.5 Proceso para generar energía eléctrica en una planta nucleoeléctrica. [Central nucleoeléctrica]. Recuperado de <http://jaime3b.wikispaces.com/central+electrica>.

La energía nuclear se caracteriza por producir, además de una gran cantidad de energía eléctrica, residuos nucleares que hay que albergar en depósitos especializados. No produce contaminación atmosférica de gases derivados de la combustión que producen el efecto invernadero ya que no precisan del empleo de combustibles fósiles para su operación.

El núcleo de un reactor nuclear consta de un contenedor o vasija en cuyo interior se albergan bloques de un material aislante de la radioactividad, comúnmente se trata de grafito o de hormigón relleno de combustible nuclear formado por material fisible (uranio-235 o plutonio -239). En el proceso se establece una reacción sostenida y moderada gracias al empleo de elementos auxiliares que absorben el exceso de neutrones liberados, manteniendo bajo control la reacción en cadena del material radiactivo. A estos otros elementos se les denominan moderadores. Rodeando al núcleo de un reactor nuclear está el reflector cuya función consiste en devolver al núcleo parte de los neutrones que se fugan de la reacción.

Las barras de control que se sumergen facultativamente en el reactor sirven para moderar o acelerar el factor de multiplicación del proceso de reacción en cadena del circuito nuclear.

El blindaje especial que rodea al reactor absorbe la radiactividad emitida en forma de neutrones, radiación gamma, partículas alfa y partículas beta.

Un circuito de refrigeración externo ayuda a extraer el exceso de calor generado.

Las instalaciones nucleares son construcciones complejas por la escasez de tecnologías industriales empleadas y por la elevada sabiduría con la que se les dota. Las características de la reacción nuclear hacen que pueda resultar peligrosa si se pierde su control.

La Central Nuclear de Laguna Verde es una de las dos centrales nucleares de generación eléctrica con las que cuenta México. La otra está ubicada en el Instituto Nacional De Investigaciones Nucleares (ININ), en el estado de México y es utilizada para investigaciones. Laguna Verde cuenta con una capacidad de 1,610 MW instalada en dos unidades generadoras de 805 MW eléctricos cada una. Y está situada en el municipio de Alto Lucero de Gutiérrez Barrios (Veracruz, México). Con la certificación del organismo regulador nuclear de México, la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (CNSNS), la Secretaría de Energía otorgó las licencias para operación comercial a la unidad 1 el 29 de julio de 1990 y a la unidad 2 el 10 de abril de 1995. La central es propiedad de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

La energía fotovoltaica

Es un tipo de electricidad renovable obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamado célula solar de película fina. Este tipo de energía se usa para alimentar innumerables aparatos autónomos, para abastecer refugios o casas aisladas de la red eléctrica y para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución. Debido a la creciente demanda de

energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha avanzado considerablemente en los últimos años. Figura 1.6

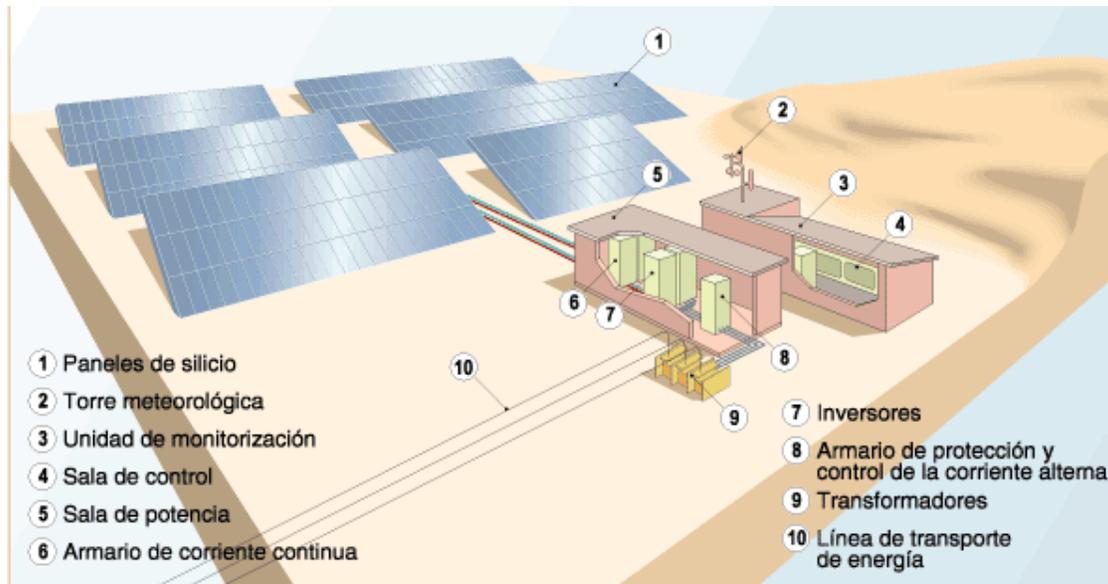


Figura 1.6 Proceso para generar energía eléctrica en una planta fotovoltaica. [Central fotovoltaica].
Recuperado de <http://jaim3b.wikispaces.com/central+electrica>.

La central solar fotovoltaica “Santa Rosalía” es un proveedor de energía para la red eléctrica y se localiza en la parte norte del estado de Baja California Sur, a 25 kilómetros al noroeste de la comunidad de Santa Rosalía. Esta central utiliza la energía solar fotovoltaica para generar energía eléctrica directamente, debido a la incidencia de la radiación solar sobre un material con características particulares que absorbe altas cantidades de energía de sol, con lo que genera electrones y se produce electricidad. Consta de cuatro mil 172 módulos fotovoltaicos de 240 watts cada uno, que están fabricados con silicio y otros materiales compuestos y generan la energía eléctrica en corriente directa (CD), la cual se recolecta a través de diversos circuitos en un punto central donde es convertida en corriente alterna (CA) vía un inversor, y por medio de un transformador se modifica su voltaje para su interconexión con la red eléctrica.

Capítulo II

Energía solar y dispositivos fotovoltaicos

En la actualidad el sol es una importante fuente de energía ya que es renovable y no produce contaminación de ningún tipo, la posición geográfica de nuestro país nos brinda la oportunidad de aprovechar de manera considerable este tipo de energía. Para hacer uso de esta fuente energética principalmente utilizamos dispositivos electrónicos denominados paneles solares o módulos fotovoltaicos, los cuales tienen como finalidad primordial transformar la energía del sol en energía eléctrica, en este capítulo se detallan los tipos más importantes de paneles solares y su funcionamiento.

2.1 Energía Solar en la actualidad

Entre los años 2001 y 2012 se ha generado un crecimiento exponencial de la producción de energía fotovoltaica, duplicado aproximadamente cada dos años. Si esta tendencia continúa, la energía fotovoltaica cubriría el 10% del consumo energético mundial en 2018, alcanzando una producción aproximada de 2,200 TWh, y podría llegar a proporcionar el 100% de las necesidades energéticas actuales en torno al año 2027.

A finales de 2012 se habían instalado en todo el mundo más de 100 GW de potencia fotovoltaica. Gracias a ello la energía solar fotovoltaica es actualmente, después de las energías hidroeléctrica y eólica, la tercera fuente de energía renovable más importante en términos de capacidad instalada a nivel global.

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el costo de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras celdas solares comerciales, aumentando a su vez la eficiencia, y logrando que su costo medio de generación eléctrica sea ya competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red. Programas de incentivos económicos, primero, y posteriormente sistemas de autoconsumo fotovoltaico y balance neto sin subsidios, han apoyado la instalación de sistemas fotovoltaicos en un gran número de países, contribuyendo a evitar la emisión de una mayor cantidad de gases de efecto invernadero.

La tasa de retorno energético de esta tecnología, por su parte, es cada vez menor. Con la tecnología actual, los paneles fotovoltaicos recuperan la inversión para su fabricación en un período comprendido entre 6 meses y 15 meses, teniendo en cuenta que su vida útil media es superior a 30 años, y producen electricidad limpia durante más del 95% de su ciclo de vida.

2.2 Celda fotovoltaica

Una celda fotovoltaica es un dispositivo que convierte la energía del sol en corriente eléctrica en forma directa, sin la necesidad de piezas móviles o algún tipo de combustión. El efecto fotovoltaico, es decir, convertir la luz solar en electricidad se produce en materiales conocidos como semiconductores, los cuales son materiales cuya conductividad puede ser modificada, y además generar una corriente eléctrica con cargas negativas, positivas o ambas.

Para la realización de las celdas, el material actualmente más utilizado es el mismo silicio utilizado por la industria electrónica, cuyo proceso de fabricación presenta costos muy altos, no justificados por el grado de pureza requerido para la fotovoltaica, que son inferiores a los necesarios en electrónica.

Otros materiales para la realización de las células solares son:

- Silicio Monocristalino: de rendimiento energético de 15 hasta 17 %.
- Silicio Policristalino: de rendimiento energético de 12 hasta 14 %.
- Silicio Amorfo: con rendimiento energético menor del 10 %.

Actualmente, el material más utilizado es el silicio monocristalino que presenta prestaciones y duración en el tiempo superiores a cualquier otro material utilizado para el mismo fin.

Efecto fotovoltaico

Para comprender la operación de una celda fotovoltaica, necesitamos tomar en cuenta la naturaleza del material y la naturaleza de la luz del sol. Las celdas solares están conformadas por dos tipos de material, generalmente silicio tipo p y silicio tipo n. La luz de ciertas longitudes de onda puede ionizar los átomos en el silicio y el campo interno producido por la unión que separa algunas de las cargas positivas ("agujeros") de las cargas negativas (electrones) dentro del dispositivo fotovoltaico. Los agujeros se mueven hacia la capa positiva o capa de tipo p y los electrones hacia la negativa o capa tipo n. Aunque estas cargas opuestas se atraen mutuamente, la mayoría de ellas solamente se pueden recombinar pasando a través de un circuito externo fuera del material debido a la barrera de energía potencial interno. Por lo tanto si se hace un circuito se puede producir una corriente a partir de las celdas iluminadas, puesto que los electrones libres tienen que pasar a través del circuito para recombinarse con los agujeros positivos. En la

figura 2.1 se muestra gráficamente el efecto fotovoltaico. La cantidad de energía que entrega un dispositivo fotovoltaico está determinada por:

- El tipo y el área del material.
- La intensidad de la luz del sol.
- La longitud de onda de la luz del sol.

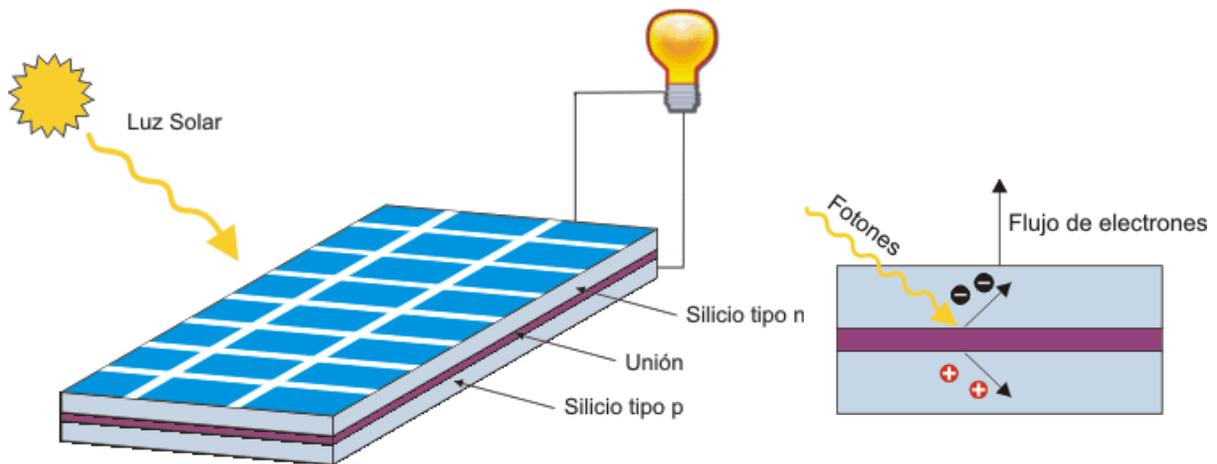


Figura 2.1 Efecto fotovoltaico en una celda solar. [Efecto fotovoltaico]. Recuperado de <http://www.autoconsumamos.com/efecto-fotovoltaico-convertir-luz-en-electricidad/>

2.3 Antecedentes de las celdas fotovoltaicas.

En 1839 el físico experimental francés Edmund Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico mientras efectuaba experimentos con una pila de dos electrodos sumergidos en una sustancia electrolítica. Esta pila aumentó su generación de electricidad al ser expuesta a la luz. A fines del siglo XIX científicos como W. Smith, W Adas y R. Day descubren la fotoconductividad del selenio y construyen la primera celda experimental hecha de una oblea de dicho material. En 1904, Albert Einstein publica un artículo acerca del efecto fotovoltaico junto con su artículo de la teoría de la relatividad, por este documento es galardonado en 1921 con el Premio Nóbel. En 1941 se construye un dispositivo que puede ser llamado “celda solar”, este artefacto fue hecho de selenio y tenía una eficiencia del 1 %. La compañía Western Electric fue la primera en comercializar las celdas solares en 1955. Mientras tanto, científicos de diversas partes del mundo realizaban experimentos en combinaciones como el cobre y óxido cuproso, en Silicio Monocristalino, en Cadmio – Silicio, Germanio Monocristalino. En ese mismo año a la U.S. Signal Corps le fue asignada la tarea de construir fuentes de poder para satélites espaciales. Los estudios de esta compañía comenzaron con celdas de

una eficiencia de un 4.5 %, y en tres años lograron que este porcentaje subiera hasta un 9 %. Fue entonces cuando en 1958 fue lanzado al espacio el primer satélite que utilizaba celdas fotovoltaicas, el Vanguard I. Éste tenía un sistema de poder de 0.1 W, en aproximadamente 100 cm cuadrados y estuvo en operación por 8 años. Ese mismo año se lanzaron 3 satélites con esta misma tecnología: el Explorer III, el Vanguard II y el Sputnik-3.

Desde entonces las celdas solares aumentaron su utilización en naves espaciales, y el aumento de eficiencia seguía subiendo a pasos agigantados. Fue así como en 1960 Hoffman Electronics conseguía fabricar una celda con un 14 % de eficiencia. En la tierra la energía fotovoltaica era 50 veces más cara que cualquier fuente convencional de generación, por lo que fue excluida para el uso terrestre. En la década de los sesenta, la potencia instalada de las celdas solares de las naves espaciales y satélites alcanzaba a 1 KW. En 1973 se produce el embargo de petróleo impuesto por la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), con lo cual se inicia una política de investigación del uso de celdas solares en la Tierra, se destinan fondos por sobre los 300 millones de dólares por año, y se comienza a investigar nuevos materiales para la construcción de las celdas, tales como el silicio policristalino, las celdas de película delgada, combinaciones CdS/Cu y Silicio amorfo, con el fin de abaratar los costos de éstas. En esta misma década comienza la National Aeronautics and Space Administration (NASA) a instalar sistemas de generación fotovoltaica por todo Estados Unidos de America para fines de refrigeración, iluminación de calles, clínicas y aparatos de televisión, bombeo de agua, etc. A principios de los años 80, la compañía ARCO Solar fabricaba lo equivalente a un 1 MW en celdas solares por año. Es el comienzo de la masificación de módulos de 1.4 a 6 KW en torres de departamentos, áreas apartadas del tendido eléctrico, centros comerciales y prototipos de automóviles. La producción mundial de celdas en el año 1982 era de 9.3 MW y en 1983 de 21.3 MW, haciendo que se duplique la producción en sólo un año, y alcanzando ventas de alrededor de \$250 millones de dólares. En 1985 se alcanzaba un 20 % de eficiencia en celdas fotovoltaicas, y existían módulos en todas partes del mundo: Estados Unidos de America, Australia, España, Kenia, Alemania, Ecuador, Japón, por nombrar algunos. En Chile se instalaron los primeros módulos en la década de los setenta, principalmente en lugares rurales con módulos de 50 W y baterías de 150 Ah, suministrando energía a artefactos de 12 Volts. Ya en los noventa ARCO Solar es comprada por Siemens, formando Siemens Solar Industries, una de las firmas de mayor producción de celdas solares a nivel mundial. A principios de esta década se instala en la Antártida un sistema de 0.5 KW con baterías de 2.4 KWH para suministrar energía a equipos de un laboratorio. En 1996 comienzan estudios para la utilización de cobre-indio-

diselenio en celdas, para hacerlas súper eficientes. A fines del siglo pasado en Grecia se aprueba la instalación de una planta de 5 MW en Creta, de un proyecto de 50 MW de la empresa Enron Solar. Aun cuando este proyecto era magno, ya estaba en funcionamiento en California una planta de 6.5 MW produciendo alrededor de 12 millones de Kwh por año, suministrando energía a cerca de 2,500 hogares en promedio. Hoy en día las celdas fotovoltaicas son utilizadas en prácticamente todo el mundo, generan el 2.1 % de la energía necesaria para mover al mundo. Una industria que en 25 años pasó de producir casi nada a fabricar de 70 a 80 MW anuales y con un costo por Watt que bajó desde los \$50 hasta los \$5 dólares por Watt, con alrededor de 40 MW conectados a la red eléctrica.

2.4 Tipos de celdas fotovoltaicas.

A lo largo del tiempo se han ido desarrollando varios tipos de celdas fotovoltaicas, las cuales se diferencian básicamente por la estructura de los materiales de los que están compuestas, así como por la potencia que suministran y la vida útil de cada celda. A continuación se detallan los tipos más importantes de celdas solares.

De acuerdo a la naturaleza y composición de sus materiales semiconductores por los cuales están compuestas, las celdas solares pueden clasificarse en varios grupos, las celdas más importantes son las de silicio monocristalino y silicio policristalino. A continuación se describe cada uno de los tipos de celdas antes mencionadas.

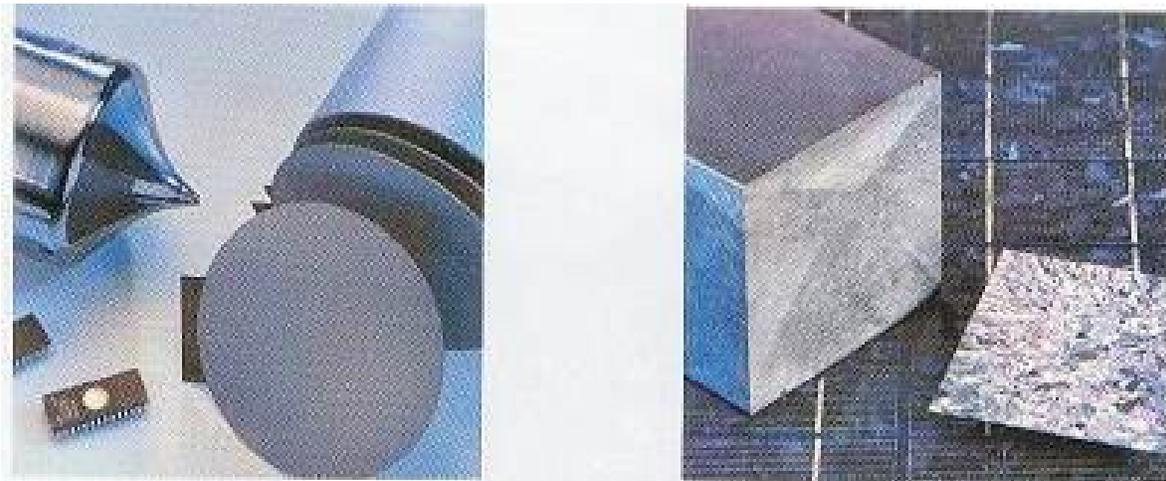
Celda de silicio monocristalino.

El tipo de celda más común y también el primero que se produjo industrialmente, es el formado por silicio puro monocristalino. A continuación se detalla brevemente el proceso de fabricación de este tipo de células, así como sus características más sobresalientes, que son también compartidas por la mayoría de las otras células que existen en el mercado.

El procedimiento clásico de fabricación de las celadas de silicio monocristalino, conocido como método Czochralski (abreviadamente Cz), parte de la obtención, a partir de sílice, de silicio extremadamente puro, el cual se funde en un crisol junto con una pequeña cantidad de boro hasta formar una masa a 1400 °C.

Una vez que todo el material se encuentra en estado líquido, se introduce en el seno del mismo una varilla en cuyo extremo hay un cristal germen de silicio, sobre el que se van disponiendo lentamente nuevos átomos del material procedentes del líquido, que quedan perfectamente ordenados siguiendo la estructura del cristal.

Se obtiene así un monocristal de suficiente tamaño, el cual, una vez enfriado, se corta en finas obleas circulares o cuadradas de unas 3 décimas de milímetro de grosor, que son tratadas químicamente en su superficie. Figura 2.2



(a)

(b)

Figura 2.2 Silicio monocristalino (a) y policristalino (b). [Silicio]. Recuperado de http://www.opex-energy.com/fotovoltaica/tipos_de_paneles_fotovoltaico.html.

Estas obleas constituyen el producto semielaborado, que a veces se exporta para que las fábricas de diversos países completen el proceso de creación de la celda. Dicho proceso consiste esencialmente en la creación de la unión P-N, introduciendo la oblea de silicio dopado con boro en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara, alcanzando éstos una cierta profundidad bajo la superficie de la oblea.

Se completa esta fase del proceso con un tratamiento anti-reflectante mediante el recubrimiento o texturizado de la superficie de la celda, consistente esto último en la formación de minúsculas estructuras piramidales sobre la superficie que va a recibir la radiación, para que el rayo reflejado tenga más posibilidades de volver a incidir antes de perderse definitivamente.

Finalmente, se entra en el proceso de proveer a la celda de contactos eléctricos adecuados, a fin de que los electrones encuentren un camino fácil para salir y entrar de la misma. Esto se consigue depositando por métodos electroquímicos de evaporación al vacío o serigrafiados, una red o rejilla, constituida por una aleación buena conductora, que adopta una geometría especialmente estudiada para conseguir una óptima recolección de electrones sin cubrir a la vez demasiada superficie útil de la celda.

La rejilla metálica, o parrilla conductora, que forma el contacto frontal de las celdas cristalinas suele consistir en una serie de filamentos que están en contacto directo con el semiconductor y que se conectan entre sí mediante unas tiras metálicas. El diseño de estos filamentos afecta a la eficiencia de la celda de dos maneras: por un lado, implica un sombreado que impide que parte de la radiación disponible alcance el interior de la celda y, por otro, introduce una resistencia, debida a la unión metal-semiconductor y a la propia resistencia del material empleado. En este sentido, se ha evolucionado desde la técnica convencional del serigrafiado hasta la de contacto enterrado mediante láser LGBG (*Laser Grooved Buried Grid*), consiguiendo mejorar un 25% la eficiencia de las celdas sin aumentar su costo. Las claves de esta técnica son las siguientes:

- Reducción del ancho de los filamentos, de 150 micras con serigrafía convencional a 20 micras, lo que reduce el sombreado de la célula hasta un 3%, frente al 15% de las serigrafiadas.
- Aumento de la relación de aspecto (alto/ancho) del contacto, lo que supone una reducción en la resistencia total de la malla.
- Reducción de la resistencia contacto-semiconductor.

Recientemente han aparecido en el mercado celdas con los contactos tanto positivos como negativos situados en la cara posterior, evitándose las pérdidas de radiación incidente sobre la cara frontal como consecuencia de la existencia sobre las mismas de dichos contactos metálicos.

Después de pasar una serie de controles de calidad, la celda quedará lista para ser utilizada, uniéndola con otras iguales para así formar un módulo.

La celda final producida tiene un rendimiento aproximadamente igual a la mitad del máximo teórico del material de que está constituida. Esta pérdida de rendimiento se debe principalmente a tres causas:

- Pérdidas por reflexión, las cuales, aunque han sido reducidas, nunca es posible hacerlas desaparecer.
- Los fotones que inciden sobre la rejilla metálica de la celda, en vez de sobre el material semiconductor, se pierden, no produciendo el efecto fotovoltaico.
- Al circular corriente a través de la célula, se produce una pequeña pérdida por efecto Joule.

Por todo lo anterior, el rendimiento de una célula monocristalina de silicio no suele superar el 15%

Celda de silicio policristalino.

Si en el proceso de fabricación, en vez de partir de un monocristal, se hace dejando solidificar lentamente en un molde rectangular la pasta de silicio, se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales o granos de silicio, del cual pueden cortarse celdas policristalinas cuadradas. Estas celdas han alcanzado una amplia comercialización, aunque sus rendimientos son algo menores que las monocristalinas, y su precio también es inferior.

El proceso de cortar las células a partir de una sola pieza produce gran cantidad de desperdicio de material semiconductor en forma de polvo. Para evitar este inconveniente se introdujo un método de fabricación de células diferente, que consiste en producir una fina tira continua de material policristalino que se corta en trozos rectangulares.

Las tecnologías más recientes en la fabricación de materiales se basan en el diseño conocido como de película delgada, que se diferencia de los anteriores, ya que no produce células individuales que posteriormente se conectan en serie para obtener el voltaje suficiente para las aplicaciones más comunes, sino una fina capa de $1\mu\text{m}$ o $2\mu\text{m}$ de espesor de material semiconductor que se deposita sobre un sustrato apropiado, formándose un módulo continuo que no requiere interconexiones interiores.

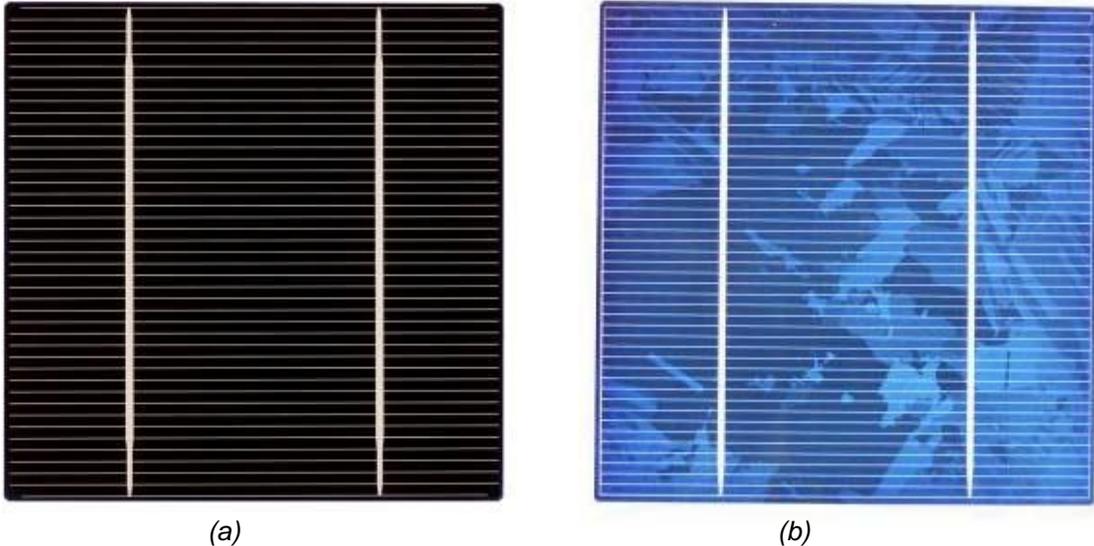


Figura 2.3 tipos de celdas, (a) monocristalina y (b) policristalina. [Celdas fotovoltaicas]. Recuperado de <http://www.hormigasolar.com/diferencia-entre-celdas-solares-monocristalinas-y-policristalinas/>

En la actualidad las celdas más utilizadas en la producción de energía eléctrica, son las monocristalinas y las policristalinas, ya que tienen un mayor rendimiento energético y su precio no es tan elevado.

2.5 Módulos fotovoltaicos

Las celdas fotovoltaicas constituyen un producto intermedio en la industria fotovoltaica: proporcionan rangos de voltaje y corriente limitados, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales, son demasiado frágiles, eléctricamente no aisladas y sin un soporte mecánico. Dichas celdas son ensambladas de la manera adecuada para constituir una única estructura: la cual llamamos módulos fotovoltaicos (FV).

La mayoría de estos módulos son fabricados con potencias que van desde los 50 W hasta 200 W, aunque algunos fabricantes tienen modelos de hasta los 300 W. Los módulos FV de silicio cristalino consisten en celdas conectadas eléctricamente y encapsuladas entre una resina transparente para la parte frontal y un material plástico para la parte trasera. Los módulos de película delgada se construyen de hojas o películas de material delgado encapsuladas para formar módulos flexibles con material transparente en la parte frontal. Los módulos FV se garantizan para una vida útil de por lo menos 20 años. Un arreglo fotovoltaico consiste de un número de módulos agrupados y conectados en serie o paralelo con el fin de producir la potencia necesaria con las características de corriente y voltaje requeridas en una aplicación dada. Figura 2.4.



Figura 2.4 Algunos tipos de módulos fotovoltaicos

El uso más frecuente de los paneles solares es en las zonas rurales, en la figura 2.5 se muestra un ejemplo de una casa donde se utilizan paneles solares para generar energía eléctrica.



Figura 2.5 casa de campo alimentada con paneles solares. [Celdas solares]. Recuperado de <http://10cosasdetecnologia.blogspot.mx/2012/08/v-behaviorurldefaultvmlo.html>

En la figura 2.6 se muestran módulos solares montados en una estación espacial, los cuales proporcionan energía para dicha estación, y esta es la forma principal para generar energía en el espacio exterior.



Figura 2.6 estación espacial alimentada por paneles solares. [Estación espacial]. Recuperado de <http://10cosasdetecnologia.blogspot.mx/2012/08/v-behaviorurldefaultvmlo.html>

2.6 Sistemas solares Fotovoltaicos

Un sistema solar fotovoltaico es el conjunto de estructuras, componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que se agrupan para recibir y transformar la energía solar en energía eléctrica. Existen dos tipos de sistemas solares fotovoltaicos: los sistemas autónomos y los sistemas de interconexión a la red.

Los sistemas autónomos principalmente son sistemas que utilizan la energía capturada del sol para alimentar directamente aparatos eléctricos y electrónicos, almacenando la energía recolectada en acumuladores, debido a que los usuarios generalmente ocupan la energía eléctrica después de que el sol se ha ocultado.

Los sistemas de interconexión a la red no necesitan acumuladores ya que están conectados a la red eléctrica y la energía recolectada es canalizada a dicha red. La principal función de estos sistemas es introducir la mayor cantidad posible de energía a la red de energía eléctrica.

2.7 Componentes básicos de los sistemas solares fotovoltaicos

Para un sistema autónomo:

- Módulos fotovoltaicos.
- Regulador de carga.
- Inversor.
- Sistema de acumulación.

Para un sistema de interconexión a la red:

- Módulos fotovoltaicos.
- Inversor para la interconexión a la red.
- Medidor de energía bidireccional.

Regulador de carga: Sirve fundamentalmente para prevenir que los acumuladores tengan un exceso de carga por el generador fotovoltaico, y de descarga por el exceso de uso. Ambas condiciones son nocivas para la correcta funcionalidad y la duración de los acumuladores. Figura 2.7



Figura 2.7 Reguladores de carga para sistemas fotovoltaicos. [Reguladores de carga]. Recuperado de <http://onlysun.mx/productos/panel-fotovoltaico/control-de-carga/>

Sistema de acumulación: Un sistema de acumulación está formado por un conjunto de acumuladores recargables, dimensionado de forma que garantice la suficiente autonomía de alimentación de la carga eléctrica. Las baterías que se

utilizan con esta finalidad son acumuladores de tipo estacionario (Figura 2.8). Los acumuladores para uso fotovoltaico deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Bajo valor de auto-descarga.
- Larga vida útil.
- Mantenimiento casi nulo.
- Elevado número de ciclos de carga-descarga.



Figura 2.8 Acumuladores para aplicaciones fotovoltaicas. [Baterías]. Recuperado de <http://www.conermex.com.mx/componentes-de-energia/baterias,-gabinetes-y-racks.html>

Inversor: La finalidad del inversor en los sistemas autónomos es la de transformar corriente continua (CC) producida por el campo fotovoltaico, en corriente alterna (CA), necesaria para la alimentación directa de los usuarios. El inversor tiene que estar dimensionado para poder alimentar directamente la carga que se le quiere conectar Figura 2.9.

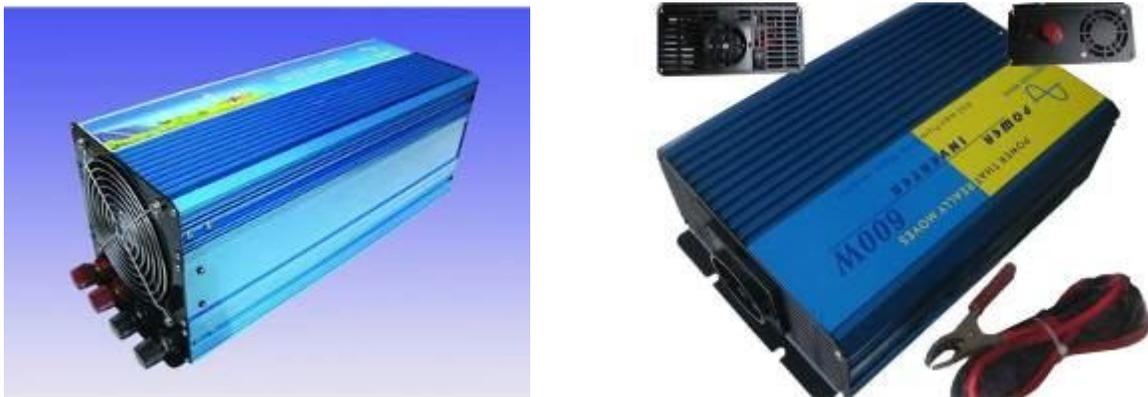


Figura 2.9 Inversores. [Inversores]. Recuperado de <http://www.conermex.com.mx/componentes-de-energia/inversores-a-baterias-y-cargadores-2.html>

Descripción de los dispositivos de un sistema solar fotovoltaico de interconexión a la red.

Inversor para la conexión a red: Es uno de los componentes más importantes en los sistemas conectados a red, ya que maximiza la producción de corriente del dispositivo fotovoltaico y optimiza el paso de energía entre el módulo y la carga. Es un dispositivo que transforma la energía continua producida por los módulos (12V, 24V, 48V, etc.) en energía alterna (generalmente 220V), para alimentar el sistema y/o introducirla en la red, con la que trabaja en régimen de intercambio.

Los inversores para la conexión a la red eléctrica están equipados generalmente con un dispositivo electrónico que permite extraer la máxima potencia del generador fotovoltaico. Este dispositivo sigue el punto de máxima potencia (MPPT) y tiene justamente la función de adaptar las características de producción del campo fotovoltaico a las exigencias de la carga. Figura 2.10



Figura 2.10 Inversores para interconexión a la red eléctrica. [Inversores para interconexión]. Recuperado de <http://www.alternativasustentable.com/catalogo/energias/componentes/cargadores-de-baterias/>

Medidor de energía eléctrica bidireccional: Mide la energía producida por el sistema fotovoltaico durante su periodo de funcionamiento y cuantifica cuanta energía se produce y se envía a la red de la compañía Figura 2.11



Figura 2.11 Medidor de energía eléctrica bidireccional. [Medidor bidireccional]. Recuperado de <http://www.solenergy.mx/es/principal/informacion>

Capítulo III

Implementación.

Para la implementación del sistema solar fotovoltaico es importante conocer las dimensiones y características del lugar donde haremos la instalación. En nuestro caso particular colocaremos nuestros dispositivos en un inmueble que cuenta con dos plantas, en la planta inferior se encuentra un negocio de comida corrida y café, en la planta alta se encuentran dos habitaciones que se utilizan como dormitorios y un baño.

Para la instalación del sistema necesitamos de un espacio para colocar los componentes, como el banco de baterías y la estructura para montar los paneles. También necesitamos adecuar la instalación eléctrica de la casa, para que cumpla con las necesidades de nuestro proyecto.

Por cuestiones de comodidad y rendimiento, los paneles solares se colocan en la azotea del inmueble. Por otra parte, las baterías se tienen que colocar en un lugar donde no haya humedad y la temperatura no sobrepase los 40 °C. Los dispositivos electrónicos como el inversor y el controlador de carga deben estar en las mismas condiciones que las baterías.

Para la instalación eléctrica podemos utilizar la que ya existe en la casa, ya que funcionará con las mismas cargas, solo necesitamos incluir fusibles para los paneles solares. Para este proyecto decidimos hacer una instalación externa a la del inmueble, principalmente para efectos de demostración del proyecto.

3.1 Características del lugar de implementación.

El inmueble tiene un espacio libre en la azotea para colocar las estructuras donde irán montados los módulos de 6m de largo por 4m de ancho, además cuenta con un espacio en la planta alta para colocar un anaquel donde irán acomodadas las baterías así como los dispositivos electrónicos. A continuación se muestran croquis de las plantas del inmueble, así como, imágenes con más detalle de las habitaciones y las áreas donde se realizará la instalación, y se contabilizarán los aparatos eléctricos y electrónicos que estarán conectados a nuestro sistema de alimentación de energía eléctrica. En la figura 3.1 se muestra el croquis de la planta baja dividido por áreas.

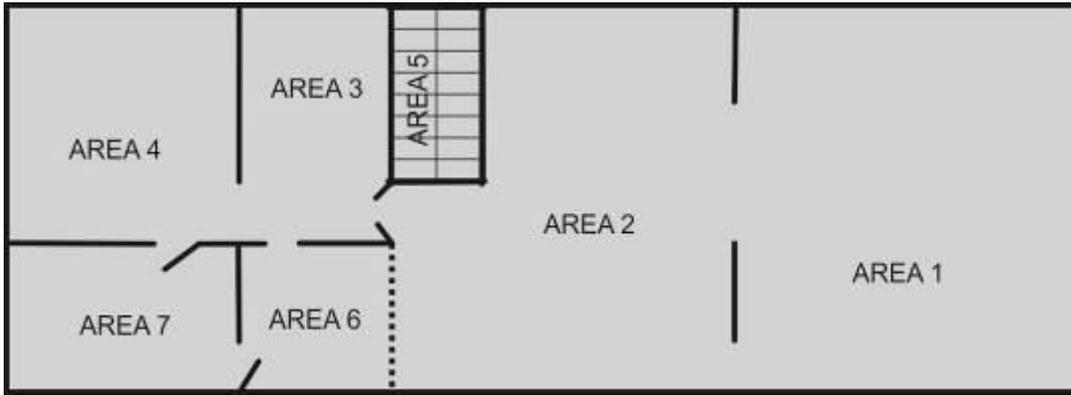


Figura 3.1 croquis de la planta baja del inmueble.

En la figura 3.2 se muestra el croquis de la planta alta del inmueble dividido también por áreas.

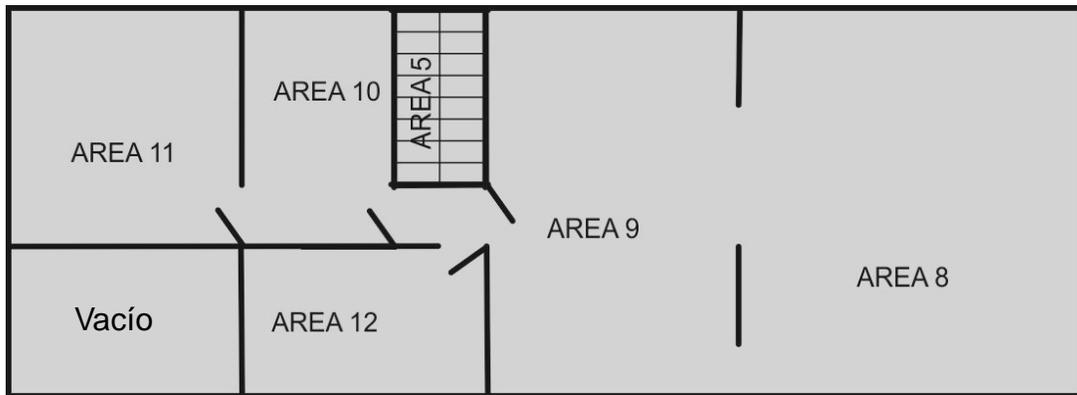


Figura 3.2 croquis de la planta alta del inmueble.

En la figura 3.3 se muestra la fachada del inmueble, en donde se aprecian dos luminarias para mantener esta fachada iluminada de noche.



Figura 3.3 Fachada del inmueble.

En la figura 3.4 se muestra, de acuerdo al croquis de la Figura 3.1, el Área 1, donde se aprecian cuatro luminarias y un enchufe para alimentar aparatos electrónicos como computadoras, Tablet o cargadores de celulares, entre otros.



Figura 3.4 Vista del área 1.

En la figura 3.5 se muestra el Área 2, la cual consta de dos luminarias y un enchufe para energizar algún aparato.



Figura 3.5 Vista del Área 2.

En la figura 3.6 se muestra el área 3 donde se aprecia una luminaria y un enchufe.



Figura 3.6 vista del área 3.

En la figura 3.7 se muestra el área 4, que consta de dos tomas de corriente y tres luminarias.



Figura 3.7 vista del área 4.

En la figura 3.8 se muestra el área 5 la cual corresponde a las escaleras para subir y bajar de una planta a otra, esta consta de una luminaria solamente.



Figura 3.8 vista del Área 5.

En la figura 3.9 se muestra el área 6, la cual corresponde al mostrador del negocio, este consta con una luminaria y un tomacorriente.

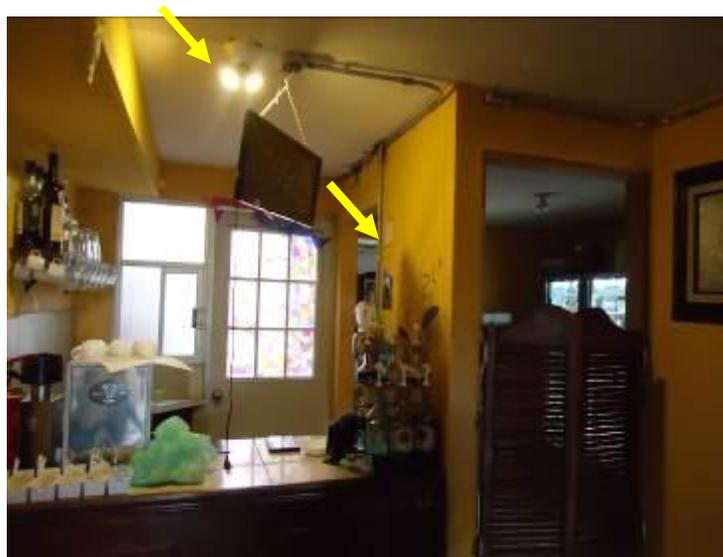


Figura 3.9 Vista del área 6.

En la figura 3.10 se muestra el área 7, la cual corresponde al espacio de lavado y recolección de desperdicios, esta área cuenta con una luminaria solamente.



Figura 3.10 Vista del área 7.

En la figura 3.11 se muestra el área 8, la cual está en proceso remodelación pero está planeado colocar 4 luminarias y un tomacorriente.



Figura 3.11 vista del área 8.

En la figura 3.12 se muestra el área 9, la cual está destinada para el almacenamiento de los insumos del negocio, esta área cuenta con una luminaria y una toma de corriente.



Figura 3.12 vista del área 9.

En la figura 3.13 se muestra el área 10, la cual está designada para el habitante de la casa, esta área cuenta con una luminaria y una toma de corriente.



Figura 3.13 vista del área 10.

En la figura 3.14 se muestra el área 11, la cual corresponde al dormitorio del empleado del negocio, esta área cuenta al igual que la mayoría de las otras con una luminaria y una toma de corriente.



Figura 3.14 Vista del área 11.

Por último, tenemos la figura 3.15 que muestra el área 12, la cual corresponde al baño, esta área consta con una toma de corriente y una luminaria.



Figura 3.15 Vista del área 12.

3.2 Consumo eléctrico

El consumo eléctrico del inmueble depende de todos los aparatos que se conecten a la red de energía eléctrica y del tiempo que estén energizados, además de las luminarias. La mayoría de los aparatos electrónicos de hoy en día tienen en su manual de usuario u operación el consumo promedio de watts por hora que requieren para su funcionamiento, desde pantallas, refrigeradores, equipos de cómputo, sistemas de iluminación, lavadoras, hornos de microondas, cargadores de celulares, entre muchos otros dispositivos más. A continuación se presenta la tabla 3.1, donde se muestra el consumo promedio de los electrodomésticos que comúnmente se conectan a una red eléctrica doméstica.

Tabla 3.1 Consumo promedio de electrodomésticos.

| Aparato | Potencia (promedio) Watts | Tiempo de uso al día (promedio) | Tiempo de uso (4 semanas) | Consumo mensual Kilowatts/hora |
|---------------------|--|--|--|---|
| Batidora | 140 | 2 min | 56 min | 0.130 |
| Licuadaora | 350 | 2 min | 56 min | 0.326 |
| Tv | 150 | 4 horas | 112 horas | 16.8 |
| Extractor de jugos | 250 | 5 min | 2 horas 20 min | 0.583 |
| DVD | 25 | 3 horas | 84 horas | 2.1 |
| Ventilador | 100 | 2 horas | 56 horas | 5.6 |
| Bomba de agua | 400 | 7 min | 3.26 horas | 1.3 |
| Tostadora | 900 | 4 min | 1 hora 52 min | 1.680 |
| Secadora de pelo | 825 | 10 min | 2 horas 40 min | 2.2 |
| Estéreo | 75 | 3 horas | 84 horas | 6.3 |
| refrigerador | 500 | 8 horas | 224 horas | 112.0 |
| Computadora | 150 | 4 horas | 112 horas | 16.8 |
| Cargador de celular | 10 | 2 horas | 56 horas | 0.560 |
| Focos ahorradores | 5 | 5 horas | 140 horas | 0.700 |
| Plancha | 1200 | 10 min | 2 horas 40 min | 3.2 |

En la tabla 3.2 se contabilizan todos los aparatos que se conectarán a nuestra red de energía eléctrica, así como la potencia real que consumen y el total de todos estos aparatos juntos.

Tabla 3.2 Consumo real de aparatos energizados

| Aparato | Cantidad de aparatos | Consumo por unidad W/h | Consumo total W/h |
|--------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| Luminarias (Focos ahorradores) | 22 | 3.4 | 74.8 |
| Computadora | 1 | 60 | 60 |
| Modem | 1 | 12 | 12 |
| Licuadora | 1 | 150 | 150 |
| Sistema de audio | 1 | 19 | 19 |
| Refrigerador | 1 | 380 | 380 |
| Cargador de celular | 1 | 1.2 | 1.2 |
| Pantalla led | 1 | 115 | 115 |
| Anuncio luminoso led | 1 | 16 | 16 |
| | | Total | 828 |

Contabilizando todos los aparatos electrónicos y electrodomésticos que se conectarán a nuestro sistema solar fotovoltaico tenemos una carga total de 828 watts por hora. Algunos de nuestros aparatos no están conectados todo el tiempo, como la computadora, la licuadora y el sistema de audio, esto nos da una reserva de energía eléctrica para algún otro uso.

3.3 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico.

Para cubrir la demanda de energía de 828W Detefa nos recomienda sobrepasar esta potencia por un margen de 20% que es el mínimo que recomiendan los fabricantes de paneles, para que el sistema no tenga deficiencias de energía y sea un suministro de electricidad confiable, o de reserva para cuando se requiera. Sumándole el 20%, nuestro sistema llega a la cantidad de 993W. Por cuestiones de presupuesto y de comodidad se adquirieron 8 módulos solares de 130 watts/h (Figura 3.16), lo que nos da un total de 1040 watts/h. Para almacenar la energía

de sistema se necesitó de un banco que consta de 6 baterías de 12 volts para aplicaciones fotovoltaicas Figura 3.17. Se requiere también de dos controladores de carga para baterías de 40 A para controlar la carga y descarga de las baterías Figura 3.18, y por último se requirió un inversor de 1500 watts para conectar todos aparatos y luminarias Figura 3.19.



Figura 3.16 Modulo solar de 130 watts.



Figura 3.17 Batería para aplicaciones fotovoltaicas.



Figura 3.18 Control de carga para batería



Figura 3.19 Inversor C.D a C.A.

3.4 instalación eléctrica

Para la implementación de nuestro sistema solar fotovoltaico haremos una instalación eléctrica nueva y que sea visible para efectos de demostración del proyecto. Para esta instalación se optó por utilizar tubo galvanizado de media pulgada de espesor, al fijar el tubo a la pared se utilizaron taquetes del plástico de un cuarto de pulgada y pijas de la misma medida, se utilizaron también omegas para fijar los tubos. También se utilizaron cajas para contacto y apagadores, uniones de tubo galvanizado de tipo “T” y tipo “L”, codos para tubo galvanizado, acopladores, sockets de cerámica para reemplazar los que tiene el inmueble y por último cinta de aislar plástica. Figura 3.20.



Figura 3.20 Materiales para instalación eléctrica.

De acuerdo a la norma de instalaciones eléctricas en casa habitación, la cual establece que una línea de 127 Volts maneja una corriente máxima de 30 A y puede soportar una carga máxima de 3800 W utilizando un cable de calibre del número 10 considerando nuestra carga total, seleccionamos un cable de calibre número 12, ya que dicha carga no sobrepasa los 20 A y dejamos un margen por si se requiere más potencia de nuestro sistema.

Las herramientas que utilizamos para la instalación son las siguientes: Figura 3.21. Taladro con roto martillo, arco con segueta de diente grueso, martillo, destornillador de punta plana, destornillador de punta de cruz, pinzas pela-cable, pinzas de electricista, pinzas de punta, pinzas de corte, brocas de $\frac{1}{4}$ de pulgada y $\frac{3}{4}$ de pulgada, juego de llaves, multímetro, cautín y soldadura.



Figura 3.21 Herramientas necesarias para la instalación.

Contando con todos los materiales y herramientas necesarias para la instalación, procedemos a la colocación de los tubos galvanizados para fijarlos a la pared. Para esto necesitamos perforar el concreto con el taladro utilizando la broca de $\frac{1}{4}$, colocar el taquete en la perforación y poner el omega con las pijas para que así sostenga el tubo a la pared. En este proceso se deben tomar en cuenta los contactos y apagadores que se necesitan en el área de instalación, esto para cubrir las necesidades de energización así como las de iluminación. Figura 3.22 y Figura 3.23.



Figura 3.22 fijación de un conector para tubo galvanizado.

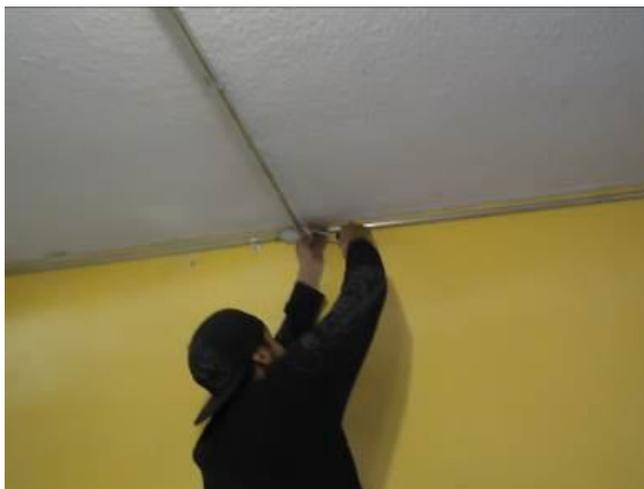


Figura 3.23 Fijación de un tubo galvanizado.

3.5 Conexión del sistema solar fotovoltaico

A continuación se muestra, en la figura 3.24, la conexión básica para sistemas fotovoltaicos, en la cual se aprecia un módulo que está conectado a un controlador de carga de 12/24 Volts, que a su vez está acoplado a una batería para aplicaciones fotovoltaicas de 12 Volts. La batería alimenta un inversor de corriente y por último este tiene una carga.



Figura 3.24 Conexión de un sistema solar fotovoltaico básico.

Para nuestro sistema solar fotovoltaico requerimos más energía por que la carga es mucho mayor a la demandada por un solo aparato eléctrico o electrónico, debido a esto necesitamos agregar más módulos fotovoltaicos y más baterías. En este caso agregaremos un control de carga más para evitar que un solo

controlador sufra alguna avería, debido a la corriente que generan los módulos solares.

Para agregar más módulos a nuestro sistema estos deben conectarse en paralelo ya que todos nuestros módulos suministran la misma potencia y están en el mismo rango de voltaje. De igual forma las baterías se conectan en paralelo para que nos proporcionen el voltaje requerido para el inversor que tenemos, este inversor tiene una entrada de 12 Volts. Los controles de carga también se conectan en paralelo para que la carga que les llega a las baterías sea la misma y no haya variaciones de voltaje.

Una vez con todos los dispositivos listos y conociendo el tipo de conexiones que se requerirán para el proyecto procedemos a conectar todo nuestro sistema, tomando las precauciones adecuadas al momento de conectar el inversor de corriente, ya que si cometemos un error de polaridad por mínimo que sea podemos dañar el aparato de manera permanente. Debemos tener las mismas precauciones con los controladores de carga y las baterías para evitar un mal funcionamiento de nuestro sistema y asegurar la potencia óptima de nuestro proyecto.

Para la protección de nuestro sistema utilizamos a la salida del inversor pastillas termo-magnéticas de 20A las cuales están en función de la carga total de nuestro sistema, para que en caso de que se produzca un corto circuito en la instalación eléctrica el inversor no sufra ningún daño permanente. También conectamos la estructura de los paneles a tierra física, la cual tomamos de la instalación de la CFE.

En la figura 3.25 se puede apreciar nuestro banco de baterías conectado en paralelo, con la finalidad de proporcionar una salida de 12 Volts para la entrada del inversor de corriente.



Figura 3.25 Conexión de baterías.

En la figura 3.26 podemos ver el inversor conectado al banco de baterías, el cual le suministra los 12 Volts que necesita para pasar de corriente directa a corriente alterna y poder energizar nuestras cargas.



Figura 3.26 conexión del inversor.

En la figura 3.27 se aprecia la preparación de los módulos para la conexión a nuestro sistema solar fotovoltaico.



Figura 3.27 Preparación de módulos.

En la figura 3.28 se muestra el armado de las estructuras de soporte para los módulos solares. Dichas estructuras están hechas de aluminio, esto es fundamentalmente para aligerar el peso en la azotea del inmueble y para evitar la corrosión.



Figura 3.28 Armado de estructuras para módulos solares.

Para finalizar el proceso de conexión de nuestro sistema solar fotovoltaico, procedemos a montar los módulos solares en las estructuras de soporte, hacer las conexiones de todos los paneles a los controladores de carga y realizar las pruebas de voltajes necesarias para comprobar el correcto funcionamiento de nuestro sistema. En la figura 3.29 se muestran los módulos conectados y montados en las estructuras.



Figura 3.29 Módulos montados y conectados.

Para mediciones de voltaje utilizaremos un multímetro con el fin de verificar los valores, los voltajes que tenemos que medir son los siguientes:

- 1.- Voltaje del inversor.
- 2.- voltaje del controlador de carga.

En la figura 3.30 y 3.31 se muestran las mediciones obtenidas, las cuales están dentro del rango de operación correctas, proporcionados por los fabricantes de los dispositivos electrónicos.



Figura 3.30 Voltaje del inversor.

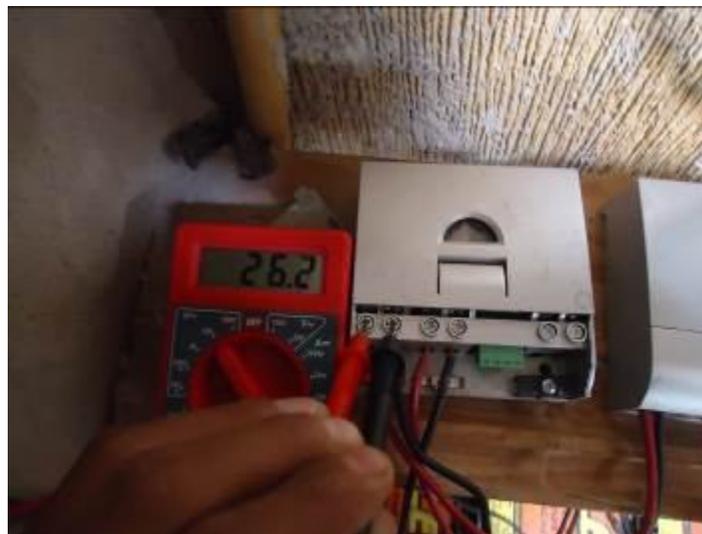


Figura 3.31 Voltaje del controlador de carga.

Finalmente procedemos a hacer pruebas de funcionamiento del sistema. Tomando en cuenta un día con clima soleado y en promedio 8 horas de sol, tenemos una producción diaria de 8320 W, lo cual nos permite tener funcionando la mayoría de nuestros aparatos durante el día y cargar las baterías para no tener para que en la noche no tengamos falta de suministro de energía. Cabe aclarar que en un día nublado la potencia de los paneles se ve afectada, ya que la producción eléctrica de estos está en función de la intensidad del sol, y es muy importante tener cuidado en solo ocupar la energía necesaria en estos días para que no haya un déficit de energía.

Otra medida importante para el sistema es no sobrepasar la capacidad de carga del inversor, ya que si esto pasa, el dispositivo comenzara a apagarse y a prenderse, generando un posible daño en nuestro artefacto.

En caso de que nuestro sistema fotovoltaico llegue a fallar podemos regresar a la instalación eléctrica de la CFE, ya que conservamos esta con el fin de tener un sistema de respaldo.

En un periodo de 4 meses el único mantenimiento preventivo que se hizo fue mantener la superficie de los paneles libre de polvo, ya que esto afecta eficiencia de los paneles.

En cuanto ahorro, en dos bimestres se obtuvo una disminución superior al 50 %; de una facturación de \$1300 pesos se pasó a una de \$530, lo cual nos genera un ahorro importante para nuestra economía.

3.6 Costos

Para poner en marcha el proyecto se necesitó de una inversión, la cual utilizamos con el fin adquirir los materiales y dispositivos, los cuales son fundamentales para que nuestro sistema solar fotovoltaico funcione correctamente. A continuación se muestra en la tabla 3.3 los precios de cada uno de los dispositivos y materiales que fueron requeridos.

Tabla 3.3 Precios de dispositivos y materiales.

| Artículo | Precio |
|---------------------------------------|--------|
| Módulo fotovoltaico 130 watts | 2,800 |
| Batería 12 Volts | 2,100 |
| Inversor de C.D / C.A | 2,300 |
| Controlador de carga 12/24 Volts | 2,200 |
| Estructuras para montar módulos | 2,100 |
| Materiales para instalación eléctrica | 2,000 |

Tomando en cuenta los precios por unidad de cada dispositivo podemos hacer un cálculo total del costo de inversión de nuestro proyecto. A continuación se muestra la tabla 3.4 con el costo de todos dispositivos y estructuras para sacar el total de la inversión.

Tabla 3.4 Costo total de materiales y dispositivos

| Artículo | Unidades | Costo |
|---|----------|---------------|
| Modulo Fotovoltaico | 8 | 22,400 |
| Batería para aplicaciones fotovoltaicas | 6 | 12,600 |
| Inversor CD/CA | 1 | 2,300 |
| Control de carga | 2 | 4,400 |
| Estructuras de aluminio para módulos | 2 | 2,200 |
| Material para instalación eléctrica | 1 | 2,000 |
| Total | | 45,900 |

La inversión total del proyecto es de \$ 45,900, esto es sin contar la mano de obra, todos los dispositivos y materiales fueron adquiridos en periodo de enero del 2013 a noviembre del 2013.

Con la asesoría de la empresa Detefa podemos llegar a una estimación aproximada del costo de la mano de obra. El precio de esta es de acuerdo a la dificultad de la instalación, así como del tiempo que requiera la misma, y este valor va del 25% al 35% del costo total del material para la instalación, tomando en cuenta el tiempo y la dificultad a la hora de instalar. Por lo consiguiente y con un criterio propio acerca de la instalación en general llegamos a la conclusión que el valor de la mano de obra será de 27% sobre el precio del material, lo cual nos da como resultado \$12,393; para generar un total de \$ 58,293.

Conclusiones

En general se cumplieron los objetivos de este trabajo de diseño e implementación; el patrocinador del proyecto quedó satisfecho con los resultados que se le entregaron y con este proyecto se produjo un decremento considerable en la cantidad que se pagaba a la empresa prestadora del servicio de energía eléctrica. Y en cuanto a mí, como desarrollador de la tesis, me proporcionó conocimientos importantes acerca de los paneles solares y experiencia en instalación de los mismos, así como de las herramientas que se necesitan durante el proceso de planeación e instalación.

Después de varios meses de trabajo, y de algunas pruebas con cargas conectadas al sistema implementado, podemos constatar que el sistema funciona correctamente y es un suministro confiable de energía para el inmueble en que se implementó. Durante el proceso de instalación se tuvieron algunos contratiempos los cuales se resolvieron y nos proporcionaron información importante para el funcionamiento óptimo de nuestro sistema.

En cuanto a la adquisición de los dispositivos tuvimos limitaciones, ya que dichos dispositivos se fueron adquiriendo parcialmente y esto generó una extensión del tiempo con respecto a la instalación. La adquisición de los paneles solares fue de acuerdo a la disponibilidad con el proveedor y la selección de los mismos fue evaluando la eficiencia con respecto al precio. En nuestro caso particular se decidió adquirir paneles solares monocristalinos, los cuales son unos de los más comunes y eficientes, y el precio es más accesible.

Con la asesoría de la empresa Detefa se diseñaron y se fabricaron las bases de aluminio para montar los paneles solares. Se hizo una instalación eléctrica externa dentro del inmueble con la finalidad de poner a prueba las habilidades, conocimientos y capacidades adquiridos durante la carrera.

Con respecto a la eficiencia del sistema, podemos decir que el sistema es muy eficiente. Esto se debe a las condiciones climáticas ya que México tiene una posición privilegiada con respecto al sol, es decir este ilumina la mayor parte del año con gran intensidad. Por otra parte el precio del proyecto empieza a ser accesible para algunas personas, pero las tecnologías y la investigación en celdas fotovoltaicas avanza cada vez más, y la competencia entre fabricantes va generando una baja en los precios de los módulos solares, por lo cual los paneles irán siendo más accesibles para la mayoría del público en los años venideros.

Bibliografía

Lluís Jutjar. *Generación de energía solar fotovoltaica*. MARCOMBO

John Balfour, Michael Shaw, Nicole Bremer Nash. *Photovoltaic Installations*. JONES & BARTLETT.

Enriques Harper. *Tecnologías de Generación de energía eléctrica*. LIMUSA.

José A. Domínguez Gómez. *Energías alternativas*. 2ª edición. EQUIPO SIRIUS.

Energía solar fotovoltaica. MARCOMBO BOIXAREU EDITORES.

Solar world. Manual de operación del módulo solar “Sunmodule Off-Grid 50 RMA”.

Solar world. Manual de operación del módulo solar “Sunmodule Off-Grid 130 R6A”

LDK. Manual de operación del módulo solar “LDK-240D-20 – LDK SOLAR”

Phocos. Manual de operación de control de carga “CXN 40 A”

Phocos. Manual de operación de control de carga “CXN 20 A”

CALE. Manual de operación de batería para aplicaciones fotovoltaicas “CALE SOLAR - 115 AH @ 12 VDC”

Intelligent Manual de operación de inversor DC a AC “Intelligent”

Mesografía

Antecedentes de la energía eléctrica en México

http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx

Luz y fuerza del centro

<http://www.eluniversal.com.mx/notas/632514.html>

Energía solar en la actualidad

<http://lumperlux.com/renovables/energia-solar-fotovoltaica/>

Efecto fotovoltaico

<http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>

Historia de las celdas solares

<http://www.solarsostenible.org/2012/el-estudio-pv-grid-parity-monitor-pone-de-manifiesto-que-la-paridad-de-red-fotovoltaica-ya-empieza-a-ser-una-realidad/>

<http://blogs.elpais.com/eco-lab/2011/12/cuando-las-placas-fotovoltaicas-son-mas-baratas-que-la-red-electrica.html>

Comisión federal de electricidad, tablas capacidades y tipos de generación.

http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/Lists/Publicaciones%20Informes%20Anuales/Attachments/10/Informe2012CFE.pdf?Mobile=1

Consumo de electrodomésticos

http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/espacio_aparatos

Conermex, sistema solar fotovoltaico.

<http://www.conermex.com.mx/>

Tabla de calibres de cable viakon.

<http://www.viakon.com/pdf/categorias/24.pdf>

Cale, Manual de operación de baterías.

<http://www.calesolar.com/>

Solar world, Manual de operación de paneles solares.

<http://www.solarworld-usa.com/>

LDK, Manual de operación de paneles solares.

<http://www.ldksolar.com/>

Phocos, manual de operación de controles de carga.

<http://www.phocos.com/>

Detefa, conexiones de paneles solares.

<http://www.detefa.com/>

La Ventosa

<http://esrenovable.blogspot.mx/2008/06/central-elica-de-la-ventosa.html>



MONOCRYSTALLINE MODULES
LDK-240D-245D-250D-20

ONTARIO
DOMESTIC
CONTENT
COMPLIANT



WHY LDK SOLAR MODULES

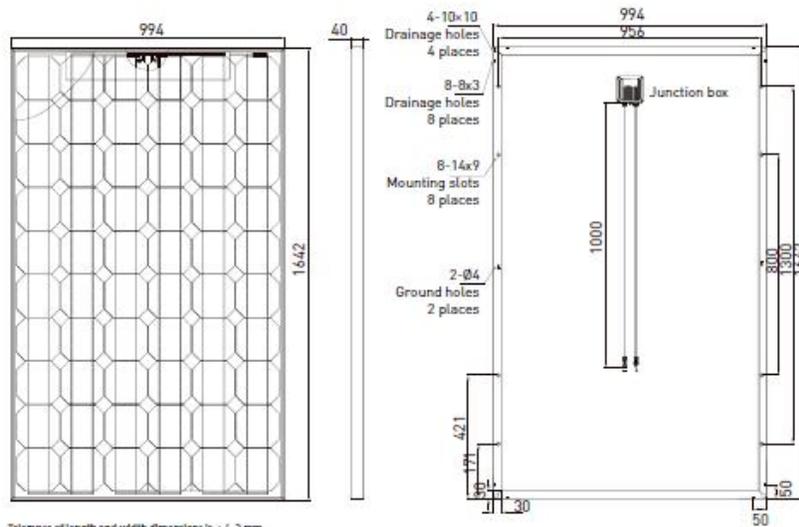
- Industry leading module power output warranty
- International quality, safety and performance certifications
- Modules manufactured in ISO 9001 certified factories
- High-reliability with guaranteed 0/+5 Wp peak power classification

WARRANTIES

- 10 years for product defects in materials & workmanship
- 12 years for 90% of warranted minimum power
- 25 years for 80% of warranted minimum power

CERTIFICATES

- IEC EN 61215, IEC EN 61730-1-2, CE Conformity
- UL 1703 2002/03/15 Ed:3 Rev:2008/04/08
- ULC/ORD-C1703-01 second edition 2001/01/01
- UL and Canadian standard for safety flat-plate
- ISO 9001:2008 Quality Management System
- CEC Listed: modules are eligible for California rebates
- PV CYCLE: voluntary module take back and recycling program
- MCS The Microgeneration Certification Scheme UK



Tolerance of length and width dimensions is +/- 2 mm

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (STC*)

| TYPE | | LDK-2400-20 | LDK-2450-20 | LDK-2500-20 |
|-----------------------------|------|-----------------------------|-------------|-------------|
| Nominal Output (Pmax) | [Wp] | 240 | 245 | 250 |
| Voltage at Pmax (Vmp) | [V] | 29.1 | 29.5 | 29.9 |
| Current at Pmax (Imp) | [A] | 8.26 | 8.32 | 8.38 |
| Open Circuit Voltage (Voc) | [V] | 37.3 | 37.6 | 37.8 |
| Short Circuit Current (Isc) | [A] | 8.88 | 8.90 | 8.92 |
| Power Classification Range | [Wp] | -0/+4.99 | -0/+4.99 | -0/+4.99 |
| Tolerance on Nominal Output | [%] | +/-3 | +/-3 | +/-3 |
| Maximum System Voltage | | IEC EN: 1000 V / UL: 1000 V | | |
| Cell Efficiency | [%] | 16.74 | 17.09 | 17.44 |
| Module Efficiency | [%] | 14.70 | 15.01 | 15.32 |

STC* (Standard Test Conditions): Irradiance 1000 W/m², Module Temperature 25 °C, Air Mass 1.5

ELECTRICAL PERFORMANCE AT NOCT

| TYPE | | LDK-2400-20 | LDK-2450-20 | LDK-2500-20 |
|-----------------------------|------|-------------|-------------|-------------|
| Nominal Output (Pmax) | [Wp] | 174 | 178 | 181 |
| Voltage at Pmax (Vmp) | [V] | 26.3 | 26.7 | 27.0 |
| Current at Pmax (Imp) | [A] | 6.61 | 6.66 | 6.70 |
| Open Circuit Voltage (Voc) | [V] | 34.5 | 34.7 | 34.8 |
| Short Circuit Current (Isc) | [A] | 7.19 | 7.21 | 7.23 |

NOCT: Irradiance 800 W/m², Module Temperature 45 +/- 2 °C, Air Mass 1.5

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

| TYPE | LDK-D-20 Series |
|---------------------------------|--------------------|
| NOCT** | 45 +/- 2 °C |
| Temperature Coefficient of Pmax | -0.47 %/°C |
| Temperature Coefficient of Voc | -0.34 %/°C |
| Temperature Coefficient of Isc | 0.06 %/°C |
| Maximum Series Fuse Rating | 20 A |
| Operating Temperature | from -40 to +85 °C |
| Storage Temperature | from -40 to +60 °C |

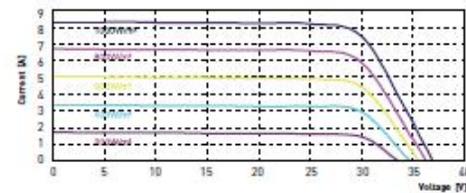
NOCT**: Nominal Operation Cell Temperature Sun 800 W/m², Air 20 °C, Wind speed 1 m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS

| TYPE | LDK-D-20 Series |
|--------------|--|
| Solar Cells | 60 (6x10) monocrystalline silicon solar cells 156 x 156 mm |
| Front Glass | 3.2 mm thick, tempered glass / AR coating glass |
| Backsheet | TPT (Tedlar-PET-Tedlar) / BBF |
| Encapsulant | EVA (ethylene vinyl acetate) |
| Frame | Double-layer anodized aluminium alloy |
| Diodes | 6 (3 x 2 in parallel) serviceable Bypass Diodes |
| Junction Box | IP65 rated |
| Connectors | MC4 or compatible connectors |
| Cables | Length: 1000 mm / Section: 4.0 mm ² |
| Dimensions | 1642 x 994 x 40 mm / 64.64 x 39.13 x 1.57 in |
| Weight | 19 kg / 41.9 lbs |
| Max. Load | Wind Load: 2400 Pa / Snow Load: 5400 Pa |

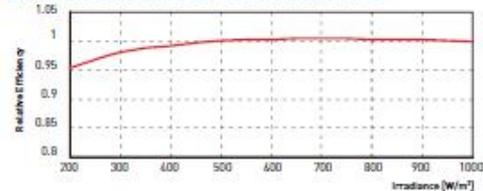
LDK Solar reserves the right to make specifications changes without any prior notice. This data sheet complies with the EN 50380 requirements. V1 - February 2012 - © LDK Solar Limited. All rights reserved. E.&O.E.

I-V CURVE AT DIFFERENT IRRADIANCE LEVELS



Above graphics according to LDK-2200-20

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE



The typical relative change in module efficiency at an irradiance of 200W/m² in relation to 1000W/m² (both at 25 °C and AM 1.5 spectrum) is less than 6%

PACKING CONFIGURATION

| TYPE | LDK-D-20 Series |
|-----------------------|--|
| Packing Configuration | 25 pcs. / box |
| Quantity / Pallet | 50 pcs. / pallet |
| Loading Capacity | 700 pcs. / 40 ft (High Cube Container) |

Partner:

Info.canada@ldksolar.com
www.ldksolar.com



CALE-SOLAR

Acumulador libre de mantenimiento para aplicaciones de ciclo profundo. Diseñadas para aplicaciones de almacenamiento de energía.

Aplicaciones recomendadas:

- Lámparas solares
- Plantas solares
- Refrigeradores solares
- Aerogeneradores



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

| | |
|--------------------------|------------|
| Tipo | CALE SOLAR |
| Amperaje (100 hrs. rate) | 115Ah |
| Voltaje | 12V |
| Terminal | UT |
| Peso | 27.3kg |
| Largo | 33cm |
| Ancho | 17.2cm |
| Altura total | 24.03cm |

CARACTERÍSTICAS:

- Plomo calcio en parrilla positiva y negativa
- Placas 13% más gruesas que dan una mejor resistencia al ciclado
- Pasta positiva de alta densidad para alargar la durabilidad
- Terminales roscadas de 3/8" de acero inoxidable
- Sellada y libre de mantenimiento

CICLO DE VIDA VS PROFUNDIDA DE DESCARGA



CXN series (10 – 40 A)

Programmable Solar Charge Controller, Negative Grounded



- Built-in one-year data logger for system analysis
- Load disconnect prewarning by acoustic signal
- LCD display: battery state-of-charge and charge current
- Choose among five load disconnect algorithms
- Temperature-compensated three-stage PWM series charging regulation
- Automatic 12/24 V detection
- Prepared for DIN rail mounting (CX-DR2.1)
- Optional external temperature sensor (CXNT)
- Optional remote display (CXM multi-meter)
- Optional USB interface (CXI + CXCOM)

The CXN is a programmable solar charge controller series with negative grounding. The built-in data logger stores system information for a complete year, unique for its class. In addition to perfect PWM regulation with integrated temperature compensation, the controllers provide extraordinary display, programming, and safety functions. The

battery state of charge is clearly displayed using a bar graph. The deep discharge protection function can be set to up to five different modes: two voltage-controlled, two SOC-controlled, or one adaptive SOC-controlled. Acoustic warnings are built in as well as a programmable nightlight function. The compact case design is prepared for DIN rail mounting (mounting adaptor available as an accessory).



CXN series (10 – 40 A)

Programmable Solar Charge Controller, Negative Grounded

| Type | CXN 10 | CXN 20 | CXN 40 |
|---|---|--------|--------|
| System voltage | 12/24 V auto recognition | | |
| Max. charge/load current | 10 A | 20 A | 40 A |
| Float charge | 13.7/27.4 V (25 °C) | | |
| Main charge | 14.4/28.8 V (25 °C), 30 min. (daily) | | |
| Boost charge | 14.4/28.8V (25 °C), 2 h Activation: battery voltage < 12.3/24.6 V | | |
| Equalization | 14.8/29.6 V (25 °C), 2 h Activation: battery voltage < 12.1/24.2V | | |
| Deep discharge protection: State-of-charge dependent | A: 11.4 – 11.9 V / 22.8 – 23.8 V B: 11.0 – 11.75 V / 22.0 – 23.5 V | | |
| Voltage dependent | A: 11.0/22 V B: 11.5/23 V | | |
| Adaptive | 11.0 – 12.2 V / 22.0 – 24.4 V | | |
| Reconnect level | 12.8/25.6 V | | |
| Overvoltage protection | 15.5/31.0 V | | |
| Undervoltage protection | 10.5/21.0V | | |
| Max. panel voltage | 30 V in 12 V system | | |
| (Overvoltage protection by varistor) | 50 V in 24 V system | | |
| Temperature compensation (Charge voltage) | –25 mV/K at 12 V –50 mV/K at 24 V | | |
| Own consumption | < 6 mA | | |
| Grounding | Negative grounding possible | | |
| Ambient temperature | –20 to +50 °C | | |
| Max. altitude | 4,000 m above sea level | | |
| Battery type | Lead acid (GEL, AGM, flooded) | | |
| Wire cross section | up to 16 mm ² | | |
| Weight | 168 g | | 179 g |
| Dimensions (W x H x D) | 92 x 93 x 38 mm | | |
| Type of protection | IP22 | | |



Length 26.77 in (680 mm)
Width 26.77 in (680 mm)
Height 1.34 in (34 mm)
Frame Aluminum
Weight 5.6 kg



Sunmodule® SW 50 poly RMA

World class quality

SolarWorld produces the best products with the highest quality, manufactured according to German and US quality standards in fully-automated ISO 9001 and 14001 certified factories.

Outstanding products

SolarWorld's modules were assessed by the ÖKO-TEST consumer magazine as "excellent".

An experienced industry leader

With over 30 years of experience in off-grid solar applications – SolarWorld delivers top products and technical experience at the highest levels. Our modules are installed in over 100,000 Telecom/Industrial systems worldwide. Nobody else comes close.

www.solarworld-usa.com



We turn sunlight into power.

Sunmodule®

SW 50 poly RMA

SW-01-5050US-07-2011

PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

| | | SW 50 |
|-----------------------------|-----------|--------|
| Maximum power | P_{max} | 50 Wp |
| Open circuit voltage | U_{oc} | 22.1 V |
| Maximum power point voltage | U_{mpp} | 18.2 V |
| Short circuit current | I_{sc} | 2.95 A |
| Maximum power point current | I_{mpp} | 2.75 A |

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

| | | SW 50 |
|-----------------------------|-----------|---------|
| Maximum power | P_{max} | 35.9 Wp |
| Open circuit voltage | U_{oc} | 19.8 V |
| Maximum power point voltage | U_{mpp} | 16.3 V |
| Short circuit current | I_{sc} | 2.38 A |
| Maximum power point current | I_{mpp} | 2.20 A |

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200W/m², 95% (+/-3%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.

COMPONENT MATERIALS

| | |
|------------------|------------------------------------|
| Cells per module | 36 |
| Cell type | Poly crystalline |
| Cell dimensions | 2.44 in x 6.34 in (62 mm x 156 mm) |
| Front | tempered glass (EN 12150) |

SYSTEM INTEGRATION PARAMETERS

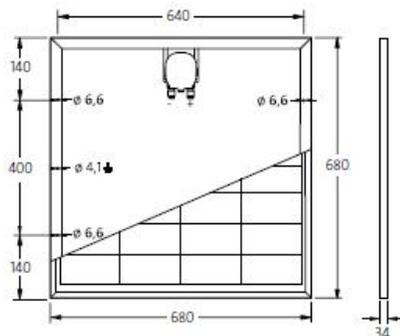
| | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Maximum system voltage SC II | 1000 V |
| Maximum reverse current | 12 A |
| Increased snowload acc. to IEC 61215 | 5.4 kN/m ² |
| Number of bypass diodes | 2 |

THERMAL CHARACTERISTICS

| | |
|--------------|-----------|
| NOCT | 46 °C |
| TC I_{sc} | 0.034 %/K |
| TC U_{oc} | -0.34 %/K |
| TC P_{mpp} | -0.48 %/K |

ADDITIONAL DATA

| | |
|------------------------------|-------------------|
| Power tolerance | +/- 10 % |
| Junction box | IP65 |
| Maximum outer cable diameter | 0.31 in (7.8 mm) |
| Maximum wire cross section | 4 mm ² |



Qualified, IEC 61215
Safety tested,
IEC 61730
Periodic inspection





Length 59.37 in (1508 mm)
Width 26.77 in (680 mm)
Height 1.34 in (34 mm)
Frame Aluminum
Weight 25.02 lb (11.8 kg)



Sunmodule[®] SW 130/135/140 poly R6A

World class quality

SolarWorld produces the best products with the highest quality, manufactured according to German and US quality standards in fully-automated ISO 9001 and 14001 certified factories.

Outstanding products

SolarWorld's modules were assessed by the ÖKO-TEST consumer magazine as "excellent".

An experienced industry leader

With over 30 years of experience in off-grid solar applications – SolarWorld delivers top products and technical experience at the highest levels. Our modules are installed in over 100,000 Telecom/Industrial systems worldwide. Nobody else comes close.

www.solarworld-usa.com



We turn sunlight into power.

Sunmodule®

SW 130/135/140 poly R6A

PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

| | | SW 130 | SW 135 | SW 140 |
|-----------------------------|-----------|--------|--------|--------|
| Maximum power | P_{max} | 130 Wp | 135 Wp | 140 Wp |
| Open circuit voltage | U_{oc} | 21.5 V | 21.9 V | 22.1 V |
| Maximum power point voltage | U_{mpp} | 17.4 V | 17.7 V | 18.0 V |
| Short circuit current | I_{sc} | 7.99 A | 8.36 A | 8.35 A |
| Maximum power point current | I_{mpp} | 7.49 A | 7.69 A | 7.85 A |

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

| | | SW 130 | SW 135 | SW 140 |
|-----------------------------|-----------|---------|---------|----------|
| Maximum power | P_{max} | 94.6 Wp | 98.2 Wp | 102.1 Wp |
| Open circuit voltage | U_{oc} | 19.8 V | 19.8 V | 20.0 V |
| Maximum power point voltage | U_{mpp} | 15.8 V | 16.0 V | 16.3 V |
| Short circuit current | I_{sc} | 6.44 A | 6.58 A | 6.73 A |
| Maximum power point current | I_{mpp} | 5.99 A | 6.15 A | 6.28 A |

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200W/m², 95% (+/-3%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.

COMPONENT MATERIALS

| | |
|------------------|-------------------------------------|
| Cells per module | 36 |
| Cell type | Poly crystalline |
| Cell dimensions | 6.14 in x 6.14 in (156 mm x 156 mm) |
| Front | tempered glass (EN 12150) |

SYSTEM INTEGRATION PARAMETERS

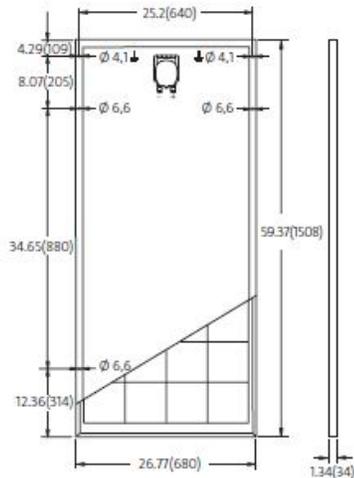
| | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Maximum system voltage SC II | 1000 V |
| Maximum reverse current | 12 A |
| Increased snowload acc. to IEC 61215 | 5.4 kN/m ² |
| Number of bypass diodes | 2 |

THERMAL CHARACTERISTICS

| | |
|--------------|-----------|
| NOCT | 46 °C |
| TC I_{sc} | 0,034 %/K |
| TC U_{oc} | -0,34 %/K |
| TC P_{mpp} | -0,48 %/K |

ADDITIONAL DATA

| | |
|------------------------------|--|
| Power tolerance | +/- 5% |
| J-Box | IP65 |
| Maximum outer cable diameter | 0.31 in (7.8 mm) |
| Maximum wire cross section | 0.006 in ² (4 mm ²) |



• Qualified, IEC 61215
• Safety tested, IEC 61730
• Periodic Inspection



SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice. This data sheet complies with the requirements of EN 50380.