



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN
SEÑALAMIENTO ELECTRÓNICO
AUTOSUFICIENTE DE ENERGÍA
TIPO ISLA ALIMENTADO CON
CELDAS SOLARES APLICADO
A LA CIUDAD DE MÉXICO**

T E S I S
PARA OBTENER EL GRADO
MAESTRO EN CIENCIAS
CON LA ESPECIALIDAD EN
INGENIERÍA MECÁNICA

PRESENTA
ING. MANUEL BENJAMÍN PARRA CASTILLO

DIRECTORES DE TESIS
DR. LUIS HÉCTOR HERNÁNDEZ GÓMEZ
DR. GUILLERMO URRIOLAGOITIA CALDERÓN



MÉXICO, D.F.

2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 12:00 horas del día 15 del mes de Febrero del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.M.E. – ZAC. para examinar la tesis titulada:

“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SEÑALAMIENTO ELECTRÓNICO AUTOSUFICIENTE DE ENERGÍA TIPO ISLA ALIMENTADO CON CELDAS SOLARES APLICADO A LA CIUDAD DE MÉXICO”.

Presentada por el alumno:

PARRA	CASTILLO	MANUEL BENJAMÍN							
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)							
		Con registro:	A	0	9	0	8	0	7

aspirante de:


MAESTRO EN CIENCIAS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis


 DR. LUIS HÉCTOR HERNÁNDEZ GÓMEZ
 Presidente


 DR. GUILLERMO MANUEL URRIOLAGOITIA CALDERÓN
 Segundo Vocal


 DR. JOSÉ ÁNGEL LODEGARIO ORTEGA HERRERA
 Tercer Vocal


 DR. GUILLERMO MANUEL URRIOLAGOITIA CALDERÓN
 Secretario


 DR. JAIME ROBLES GARCÍA


 DR. ALEXANDER BALANKIN

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


 DR. JAIME ROBLES GARCÍA





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, Distrito Federal, el día **21** del mes de **Junio del año 2011** el que Suscribe **MANUEL BENJAMÍN PARRA CASTILLO** alumno del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIA EN INGENIERÍA MECÁNICA** con número de registro A090807, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor intelectual del presente Trabajo de Tesis bajo la dirección de:

DR. LUIS HÉCTOR HERNÁNDEZ GÓMEZ

DR. GUILLERMO URRIOLAGOITIA CALDERÓN

Y no cede los derechos del trabajo intitulado: “**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SEÑALAMIENTO ELECTRÓNICO AUTOSUFICIENTE DE ENERGÍA TIPO ISLA ALIMENTADO CON CELDAS SOLARES APLICADO A LA CIUDAD DE MÉXICO**”, al Instituto Politécnico Nacional excepto para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección:

mparracastillo@yahoo.com.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ing. MANUEL BENJAMÍN PARRA CASTILLO

AGRADECIMIENTOS

A mi Abuelita Teresita Contreras Magaña, mi Maestra Favorita, quien siempre me enseñó a ir por la vida con Valores y Principios, quien desde niño me enseñó a vencer los obstáculos.

A mis Padres por todo el apoyo que me han Brindado, María Teresa Castillo Contreras y Guillermo Parra Orozco.

A mis Tíos por toda su ayuda que han dado Juan Ignacio Catillo Contreras, Benjamín Castillo Contreras, Manuel Castillo Contreras.

A Rodrigo Soria y a su Familia por permitirnos hacer nuestros desarrollos en su casa y por la participación que ah tenido en todo este trabajo.

A Toñito Cerros quien siempre me apoyo gracias toda tus asesorías y amistad que me has brindado.

A Mónica Adela Ramírez González, por todo su apoyo que me brindo durante muchos años y sus consejos que me ah dado.

A mis Directores de tesis por sus comentarios y opiniones que recibí por parte de ellos.

A Pedro Vicente quien fue parte fundamental para poder realizar la Estancia de Investigación en España

Al Grupo de Investigación (IDEA) de la Universidad de Jaén quienes me brindaron su Amistad y su apoyo en España Jorge, Flori, Eduardo, Gabino, Pedro, Cati, Juan Domingo.

A María Rodrigo por su apoyo incondicional en España.

Pauline Brisach por toda su asesoría en Europa.

A los trabajadores del Laboratorio de Pesados de la ESIME ZACATENCO por todos esos momentos alegres que convivimos y pasamos.

A mis Amigos y Compañeros.

A todas aquellas personas que me han apoyaron de forma directa e indirectamente ellos saben quiénes son.



ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE GRÁFICAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
OBJETIVO	viii
JUSTIFICACIÓN	ix
INTRODUCCIÓN	x
CAPÍTULO I.- ESTADO DEL ARTE	
I.1.- EVOLUCIÓN DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA	2
I.2.- RECURSOS RENOVABLES Y NECESIDADES ENERGÉTICAS DE MÉXICO	8
I.3.- FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN MÉXICO	10
I.4.- ENERGÍA SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	11
I.5.- PRIMERAS APLICACIONES DE LAS CELDAS SOLARES	14
I.6.- INVESTIGACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO	15
I.7.- PROSPECTIVA DE LA ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO	16
I.8.- PROGRESO DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA	18
CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO	
II.1.- EFECTO FOTOVOLTAICO Y PARÁMETROS ELÉCTRICOS	23
II.2.- PRINCIPIOS DE LA CONVERSIÓN FOTOVOLTAICA	25
II.3.- COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DE LAS CELDAS SOLARES	27
II.3.1.- La corriente de corto circuito (I_{SC} ó I_{CC})	29
II.3.2.- Voltaje a circuito abierto (V_{CA} ó V_{OC})	29
II.3.3.- Eficiencia en la conversión de energía	30
II.3.5.- Máxima potencia generada (P_M)	30
II.4.- LOS GENERADORES FOTOVOLTAICOS	31
II.5.- TECNOLOGÍA DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO	31
II.6.- ARREGLO FOTOVOLTAICO	32
II.7.- METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO TIPO ISLA	33
CAPÍTULO III.- DISEÑO INDUSTRIAL Y ELECTRÓNICO	
III.1.- SISTEMAS DE ILUMINACIÓN E INNOVACIÓN EN VIALIDADES Y ÁREAS URBANAS	38
III.2.- LOS DIODOS DE LED Y SUS APLICACIONES	38
III.3.- SELECCIÓN DEL TIPO MATRIZ DE LED A UTILIZAR	39
III.4.- DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE MATRICES DE LED CON BITS ACTIVADOS	40
III.5.- MATRICES DE LED PROGRAMADAS CON BITS FUNCIONANDO	41
III.6.- SISTEMA UTILIZADO TIPO ISLA PARA EL SEÑALAMIENTO ELECTRÓNICO	41
III.6.1.- Modulo Fotovoltaico o Panel Solar	42
III.6.2.- Controlador ó Regulador	43
III.6.3.- Baterías	45
III.6.4.- Pantalla de LED	47
III.7.- SISTEMA AUTÓNOMO APLICADO A LA CIUDAD DE MÉXICO	47

**CAPÍTULO IV.- EVALUACIÓN ECONÓMICA Y COSTOS**

IV.1.- EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO	49
IV.2.- PROSPECTIVA ECONÓMICA DE LOS GENERADORES FOTOVOLTAICOS	49
IV.3.- CONCEPTOS DE COSTOS DE LA ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO	50
IV.3.1.- Medición Neta	53
IV.3.2.- Depreciación Acelerada	53
IV.3.3.- Apoyo Financiero	54
IV.3.4.- Rentabilidad	55
IV.4.- COSTOS	56
IV.4.1.- CLASIFICACIÓN DE COSTOS	57
IV.5.- COSTOS DEL SEÑALAMIENTO ELECTRÓNICO	59
IV.6.- COSTO TOTAL DEL SEÑALAMIENTO ELECTRÓNICO	62

CAPÍTULO V.- PRUEBA Y RESULTADOS

V.1.- PRUEBA Y RESULTADOS DEL SISTEMA AUTONOMO	64
--	----

CONCLUSINES	68
--------------------	----

RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS	69
--	----

GLOSARIO	70
-----------------	----

REFERENCIAS	71
--------------------	----

ANEXOS	73
---------------	----



ÍNDICE DE FIGURAS**CAPÍTULO I.-**

Figura I.1.- Cuando los seres humanos descubrieron el fuego	2
Figura I.2.- Primeras fuentes de energía aprovechadas por el hombre	3
Figura I.3.- Evolución en el uso de fuentes de energía combustibles	4
Figura I.4.- Disponibilidad de energía instantánea proporcionada por distintas tecnologías	5
Figura I.5.- Generación por fuente hasta Septiembre del 2010	9
Figura I.6.- Insolación Solar en México y en el mundo	11
Figura I.7.- Primer Panel Fotovoltaico desarrollado por los Laboratorios Bell	13
Figura I.8.- Satélite Espacial alimentado con celda solares	14

CAPÍTULO II.-

Figura II.1.- Representación Física del efecto fotovoltaico en una celda solar	24
Figura II.2.- Representación Química del efecto fotovoltaico en una Celda solar	24
Figura II.3.- Interacción de luz de un cristal en una Celda solar	25
Figura II.4.- Representación de Generación y Recombinación de una Celda solar	25
Figura II.5.- Representación esquemática del funcionamiento de una celda	26
Figura II.6.- Representación esquemática de los parámetros eléctricos de una celda solar	27
Figura II.7.- Comportamiento de I vs V de una celda solar	28
Figura II.8.- Curva Densidad de Corriente vs Voltaje y curva de Potencia vs Voltaje	31
Figura II.9.- Conexiones de un modulo fotovoltaico	32
Figura II.10.- Corte esquemático de las principales componentes del módulo fotovoltaico	32
Figura II.11.- Conexión en serie de módulos idéntico	33
Figura II.12.- Horas del día promedio donde se puede aprovechar los rayos del sol	34
Figura II.13.- Cálculos de climatología mensual en la ciudad de México	34
Figura II.14.- Trayectoria solar en coordenadas polares en la ciudad de México	35
Figura II.16.- Horas de máxima potencia en México	36

CAPÍTULO III.-

Figura III.1.- Filas y Columnas de la Matrices de LED 5x7	39
Figura III.2.- Matrices de LED 5x7	39
Figura III.3.- Matrices de LED con Bits Funcionando	41
Figura III.4.- Panel Solar	42
Figura III.5.- Controlador ó Regulador	43
Figura III.6.- Batería Ácido Plomo Sellada	45
Figura III.7.- Pantalla de LED	47
Figura III.8.- Sistema Fotovoltaico Tipo Isla	47

CAPÍTULO IV.-

Figura IV.1.- Esquema de Medición y Facturación Medición Neta	53
Figura IV.2.- Esquema de Depreciación Acelerada	54
Figura IV.3.- Esquema FIDE	55

CAPÍTULO V.-

Figura V.1.- Rendimiento del Sistema	64
Figura V.2.- Valores de Corriente del sistema	65
Figura V.3.- Valores de Rendimiento del Sistema	67



ÍNDICE DE TABLAS**CAPÍTULO I.-**

Tabla I.1.- Reseña histórica de la tecnología fotovoltaica	19
Tabla I.2.- Estado actual de la tecnología Fotovoltaica	20
Tabla I.3.- Características eléctricas de las 10 mejores celdas actualmente	21
Tabla I.4.- Desarrollo tecnológico previsto: celdas sin y con concentración	22

CAPÍTULO III.-

Tabla III.1.- Característica y especificaciones del modulo fotovoltaico	42
Tabla III.2.- Característica y especificaciones del modulo fotovoltaico	44
Tabla III.3.- Características de la Batería Ácido Plomo	46
Tabla III.4.- Característica del Señalamiento de LED	47

CAPÍTULO IV.-

Tabla IV.1.- Tarifas de consumo establecidos por CFE	55
Tabla IV.2.- Salarios mínimos según zona geográfica	59
Tabla IV.3.- Mano de Obra efectuada en el Diseño	60
Tabla IV.4.- Materia Prima efectuada en el Diseño	61
Tabla IV.5.- Costos Indirectos efectuados en el Diseño	61
Tabla IV.6.- Costo Total del Diseño	62



ÍNDICE DE GRÁFICAS**CAPÍTULO III.-**

Grafica III.1.- Curvas de Corriente vs Tensión	42
Grafica III.2.- Curvas de Potencia vs Tensión	43
Grafica III.3.- Curvas de Potencia vs Tensión	44
Grafica III.4.- Características de la Batería Ácido Plomo	46
Grafica III.5.- Duración de descarga de la Batería Ácido Plomo	46

CAPÍTULO IV.-

Grafica IV.1.- Consideración de costos de un sistema Fotovoltaico	51
Grafica IV.2.- Costo nivelado de la energía por sistemas FV	52
Grafica IV.3.- Proyección del costo de energía por sistemas FV	52

CAPÍTULO V.-

Gráfica V.1.- Comportamiento de Voltaje Máximo y Mínimo del sistema	65
Gráfica V.2.- Estado de carga de la Batería del sistema	66
Gráfica V.3.- Valores de Voltaje de la primera semana	66
Gráfica V.4.- Valores de comportamiento del sistema	67



RESUMEN

El presente trabajo expone el desarrollo de un Señalamiento Electrónico de LED, alimentado con energía solar mostrando el rendimiento el sistema a través de un datalogger, mostrando la programación de las matrices de LED y el dimensionamiento de todo el sistema autónomo para suministrar la carga adecuada sin afectar la Batería en sus ciclos de carga y descarga.

La Importancia de esta Investigación es demostrar una de las muchas aplicaciones que tiene la Energía Solar, aprovechar la radiación incidente y transformarla en electricidad en el momento mismo de su captación, poderla almacenar y posteriormente dar el suministro energético al dispositivo que se quiere alimentar. La tecnología solar se ha desarrollado en la conversión directa o fotovoltaica y la termosolar, siendo la primera actualmente la de mayor comercialización aunque en menor capacidad.

Parte de este trabajo llevo a cabo una estancia de Investigación en los Laboratorios del Instituto de Energía Solar (IES) de la Universidad Politécnica de Madrid y en la Universidad de Jaén, donde se inicio la programación de la Matrices de LED, con el Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía Solar y Automática (IDEA), España.

Se explica el efecto fotoeléctrico, los avances actuales a nivel mundial comerciales en los paneles fotovoltaicos y qué tipo de materiales semiconductores tienen actualmente la mayor eficiencia. El potencial de incidencia en radiación solar que tiene México en Watts por m².



ABSTRACT

This paper presents the development of an electronic signal LED, solar-powered system showing performance through a datalogger, this work was done programming the LED arrays and the design of the entire autonomous system to provide proper charge the battery without affecting their charge and discharge cycles.

The importance of this research is to demonstrate the many applications of solar, take advantage of the incident radiation and transform it into electricity at the time of his capture, that it can be stored and later to supply energy to the device to be fed. Solar technology has been developed in direct conversion and thermal or photovoltaic, the first being currently the most commonly traded a lesser capacity.

Part of this work took place a stay of Research Laboratories of the Institute of Solar Energy (IES) of the Universidad Politécnica de Madrid and Universidad de Jaén, where he began programming the LED Matrix with Group research and Development in Solar Energy and Automation (IDEA), Spain.

It explains the photoelectric effect, the current global developments in the photovoltaic business and what type of semiconductor materials are currently the greatest efficiency. The potential impact on solar radiation that Mexico has in Watts per m².



OBJETIVO

Hacer el diseño y la fabricación del señalamiento electrónico alimentado con energía solar, utilizando tecnología de LED (Light-Emitting Diode) y convertirlo en un desarrollo que pueda ser aplicado en vialidades, áreas urbanas, de ciudades o Municipios.

Mostrar el funcionamiento adecuado del Sistema, cuidando que la batería no llegue a sulfatarse antes de su periodo de vida útil, controlando bien los ciclos de carga y descarga.

Mostrar un análisis económico del costo actual de generación de la energía solar, los diferentes tipos de incentivos que se otorgan para la realización de proyectos Fotovoltaicos Interconectados a la red.



JUSTIFICACIÓN

Debido a los problemas ambientales que sufre la ciudad de México y el incremento del precio de los hidrocarburos, esto obliga a una búsqueda de alternativas que permitan contribuir en aplicaciones con fuentes alternas de energía. Algunas de estas alternativas es el uso de nuevas tecnologías para desarrollos con aplicaciones sustentables y que ayuden a disminuir el uso del petróleo o sus derivados y por ende disminuir los índices de CO² a la atmósfera.

A pesar de los diversos programas establecidos por el Gobierno Federal y el Gobierno del Distrito Federal para aplicaciones de Fuentes Renovables de Energía, actualmente se tiene un marco Legal Restringido y esto en ocasiones la lleva hacer menos atractiva para su inversión. Además de que existe muy poca cultura ambiental tanto en los ciudadanos como en los gobernantes. Lo que hace más lentamente su aplicación a gran escala.



INTRODUCCIÓN

En esta tesis se muestra al lector el contenido del proceso seguido para realizar el diseño del señalamiento electrónico autosuficiente de energía aprovechando la cantidad de irradiación solar que existe en la Ciudad de México.

En el capítulo I se presenta una parte histórica de la evolución que han tenido las distintas fuentes de energía, las primeras fuentes de Renovables de Energía, el sistema de energético actual de México, las primeras aplicaciones de las celdas solares y las celdas de mayor eficiencia actualmente.

En el capítulo II se hace el planteamiento del problema explicando el efecto fotoeléctrico, el comportamiento electrónico de las celdas solares y la metodología utilizada para desarrollar el dimensionamiento del cálculo sistema autónomo.

En el capítulo III se desarrollo el tipo de matrices de LED a programar para activar los bits de encendido y los componentes utilizados para producir, acumular y utilizar la energía solar abastecimiento la carga adecuada para el señalamiento.

En el capítulo IV se realiza el cálculo de los costos del señalamiento determinando la Mano de Obra, Materia Prima, Costos Indirectos, para obtener el Costo Total y dar el margen de Utilidad.

En el capítulo V se muestran las graficas de rendimiento del sistema utilizando un datalogger para su monitoreo y observar el compartimiento de la batería para evitar la sulfatación de la Batería ya que este es el componente de mayor cuidado del Sistema.



CAPÍTULO

I

ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se presenta una parte histórica que han tenido las fuentes de energía en sus distintas formas. El sector energético actual en México, el potencial que tiene la energía solar en diversas aplicaciones.

I.1.- EVOLUCIÓN DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA

La evolución de la humanidad ha estado ligada a la utilización de la energía en sus distintas formas. Sin lugar a dudas, el descubrimiento del fuego, su producción y control marcan el primer acontecimiento importante en la historia de la sociedad, que al correr de los siglos, cada vez ha ido encontrando nuevas fuentes de energía, ha experimentado grandes avances o creado un procedimiento distinto para aprovecharlas, (Figura I.1) [1].

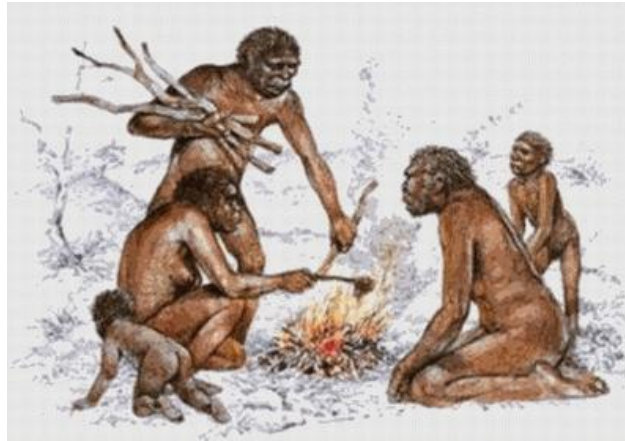


Figura I.1.- Cuando los seres humanos descubrieron el fuego [1]

Vivimos y actuamos condicionados por la energía. Desde la ingestión de alimentos (combustible biológico) que nos permite desarrollar actividades físicas y mentales, hasta el uso de ciertos medios y no otros para desplazarnos, comunicarnos, trabajar o divertirnos, todo está condicionado por el tipo y la cantidad de energía que tenemos a nuestro alcance.

Cualquier sistema orgánico, según la Ley de máxima energía de Alfred Lotka, tiende por selección natural a incrementar su masa, y con ella el flujo de materia y energía, siempre y cuando esta última se encuentre disponible. Es decir, no es suficiente la existencia de energía (materia), la medida en la que ésta resulte accesible determinará, en último término, la evolución del sistema.

La primera y única fuente de energía utilizada durante unos 200.000 años fue el propio ser humano, a la que se uniría, en los últimos 10.000 años, la de los animales de tiro. El aprovechamiento de estas dos primeras fuentes y su continua mejora a lo largo del tiempo, muy rápida en el primer caso gracias a la utilización de herramientas; mucho más lenta en el segundo debido a una inadecuada alimentación de los animales y al



desconocimiento de cómo extraer su máximo potencial, iba a determinar un tipo de producción a pequeña escala, básicamente para subsistencia.

Todo parece indicar que el primer aprovechamiento de una fuente inanimada de energía se produjo en el primer milenio antes de nuestra era, gracias a los molinos de agua. De rueda horizontal en un principio, los primeros ingenios sirvieron para moler grano; la posterior invención de los molinos de rueda vertical, bastante más eficientes, permitiría ampliar su uso a otras tareas mecánicas (serrar madera, extraer aceite, fabricar pieles, papel y hierro, trabajar metales, etc.). El salto cualitativo que supusieron estos molinos puede comprenderse mejor con ayuda de la (Figura I.2) [2]. Si el uso de animales de tiro había permitido triplicar la disponibilidad instantánea de energía potencia máxima, con los molinos de agua, y en poco más de mil años, esa disponibilidad iba a verse incrementada cerca de un 200%.

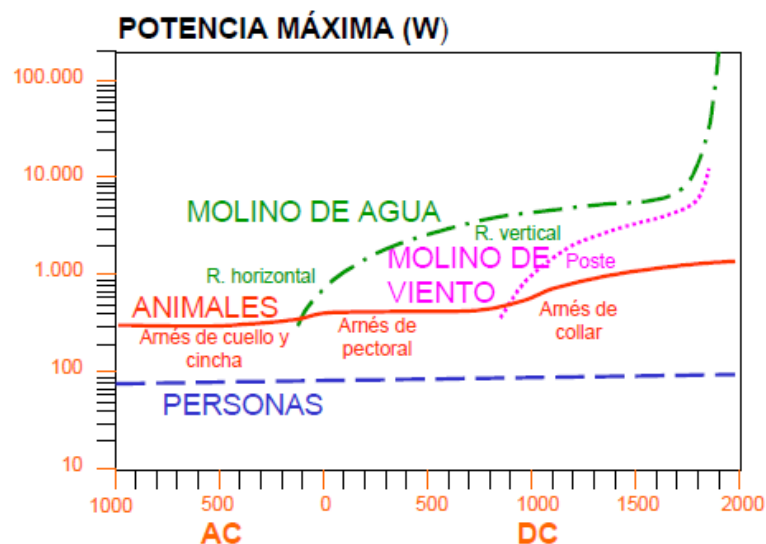


Figura I.2.- Primeras fuentes de energía aprovechadas por el hombre [2]

La posibilidad de aprovechar una segunda fuente de energía inanimada, el viento, no llegaría hasta pasado el siglo VII de nuestra era de la mano de molinos de rotación horizontal y vertical. Su uso sólo se pudo extender a ciertas zonas de Asia y Europa con fuertes vientos, o bien regiones muy planas que hacían inviable el aprovechamiento de la fuerza del agua (los Países Bajos). Allí los molinos de viento se harían muy pronto imprescindibles para moler grano y otras sustancias (azúcar, caliza), elevar agua, la fabricación de papel y el trabajo de la madera y los metales.



En este periodo, el origen de innovaciones tecnológicas que se revelarían ser decisivas se sitúa en lugares culturalmente muy distintos. Hay que hablar en primer lugar de China, en concreto de la dinastía Han (207 AC - 220 DC), cuyas contribuciones en el terreno de la agricultura (arados de hierro, sembradoras, arneses de collar), la metalurgia (obtención de hierro fundido y acero) y el uso de combustibles fósiles para calentamiento (gas natural) aún se seguirían utilizando durante siglos. La civilización islámica, por su parte, introdujo notables mejoras en molinos de agua y viento, y en las técnicas de navegación de la época mediante el uso de velas triangulares.

En la Europa medieval, la adopción de innovaciones tecnológicas procedentes de otras culturas –China, India e Islam– y un aprovechamiento sin precedentes de la energía del agua y el viento abonaron el terreno para su posterior expansión. Así, si a finales del siglo XV los viajeros europeos regresaban maravillados del progreso técnico logrado por la civilización china, ya en 1700 Europa occidental y China mostraban niveles similares en el consumo de energía y la producción de bienes materiales. Dos siglos más tarde, tras un intenso periodo de innovaciones y mejoras en la agricultura, la producción, el transporte y la distribución de bienes (comercio), un europeo occidental medio consumía cuatro veces más energía que un chino. Una creciente diversidad de fuentes de energía (viento, agua y combustibles, (Figura I.3) [2] y de tecnologías para su aprovechamiento (Figura I.4) [2] conformaría el sustrato energético sobre el que se desarrollaron la mayor parte de los avances tecnológicos logrados en el último siglo.

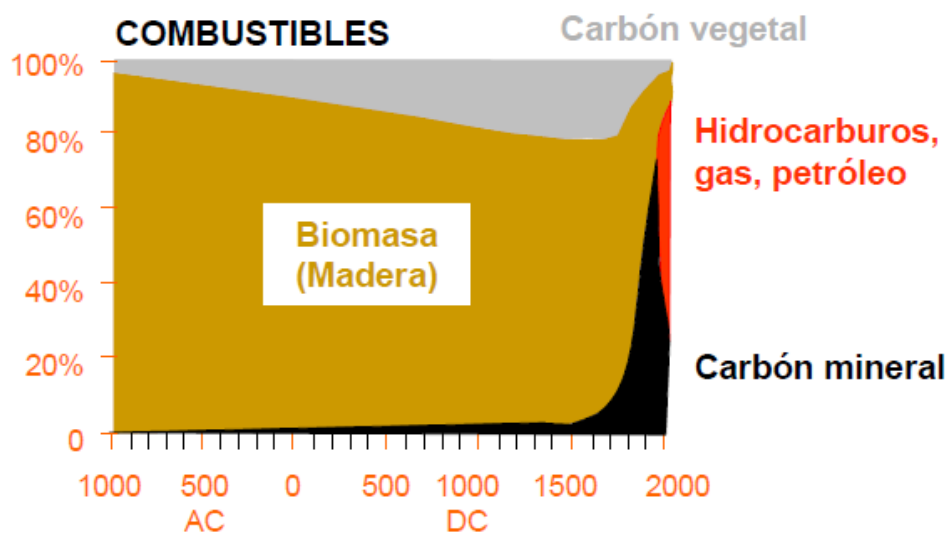


Figura I.3.- Evolución en el uso de fuentes de energía combustibles [2]

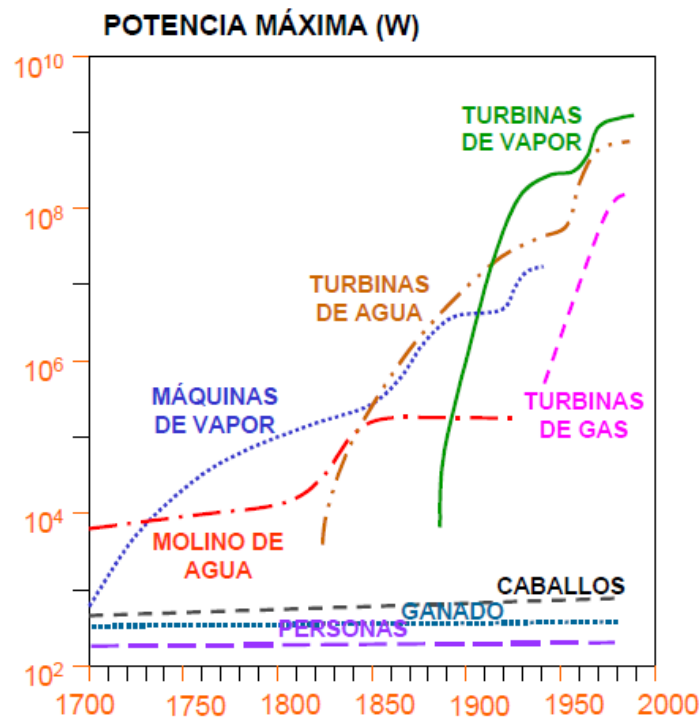


Figura I.4.- Disponibilidad de energía instantánea proporcionada por distintas tecnologías [2]

Durante milenios el hombre basó su consumo energético en las fuentes renovables de energía: desde su origen empleó biomásas para cocinar sus alimentos y calentarse; hace más de 6,500 años ya empleaba la energía del viento para propulsar embarcaciones y posteriormente la empleó para moler sus granos y para irrigar sus campos de cultivo. Se tienen referencias sobre proyectos del emperador Hammurabi para irrigación empleando la energía eólica, que datan del 1700 A.C.

En la actualidad existen aún en operación algunos centenares de aerobombas del tipo multipala, del cual se fabricaron más de seis millones, después de su invención en 1854.

Fue el descubrimiento de grandes yacimientos de combustibles fósiles, y el desarrollo de las tecnologías que permitían su explotación, la causa de que cayeran en desuso estos pequeños sistemas descentralizados de aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía, y de que se establecieran en su lugar sistemas altamente centralizados, que si bien ofrecían energía abundante y barata para el desarrollo industrial, trajeron consigo la implantación de patrones de consumo irracional de ésta, el deterioro del medio ambiente y el crecimiento desbordado de las ciudades, con la secuela de problemas que ésta implica, junto con el abandono gradual del sector rural.



A partir de entonces, la evolución de los sistemas de aprovechamiento de las Fuentes Renovables se ha caracterizado por una sucesión de períodos de entusiasmo seguidos por otros de estancamiento, que han dependido de los costos y disponibilidad de los recursos fósiles. Así por ejemplo, al período de gran entusiasmo comprendido entre los inicios de los años 1950 y mediados de los 1960, en el que se funda la Sociedad Internacional de Energía Solar (ISES) en 1954 y se efectúa la conferencia mundial de la ONU sobre fuentes nuevas de energía en 1961, siguió un período de estancamiento ocasionado por los bajos precios del petróleo.

El embargo petrolero árabe de 1973 originó, como reacción en los países industrializados afectados, el establecimiento de programas y políticas orientados a la sustitución del petróleo como fuente energética con base en gran medida en las Fuentes Renovables de Energía, con lo que se impulsó nuevamente su investigación y desarrollo. Paralelamente se buscó la diversificación de proveedores de petróleo, y el ahorro de energía en la industria y el transporte. Tanto éxito tuvieron las medidas de ahorro (y se sigue avanzando en este sentido, como ejemplo: la eficiencia de los automóviles se ha duplicado), que la demanda de energía en cuales se vio drásticamente detenida, ocasionando esto a su vez, una tendencia a la baja en los precios del petróleo y una nueva disminución de los presupuestos oficiales para investigación y desarrollo de Fuentes Renovables de Energía.

No obstante en ese breve período se lograron desarrollar sistemas confiables, eficaces y altamente rentables desde el punto de vista económico. Ejemplo de ellos son los aerogeneradores empleados ya por millares; los diversos sistemas de calefacción para uso doméstico, la producción de miles de metros cuadrados de módulos fotovoltaicos y la producción de metanol y su empleo como combustible a partir de biomasa.

Por otro lado se ha ido tomando conciencia del importantísimo papel que juega la variable ecológica, al reconocerse que de continuar la quema acelerada de combustibles fósiles se producirían catástrofes mundiales que simplemente acabarían con nuestra civilización. El continuo aumento detectado en los niveles de CO₂ en la atmósfera y la destrucción de su capa de ozono son algunos de los fenómenos que más alarman a los científicos [3].



Las energías renovables son, con mucho libres de contaminantes y consistentes con las políticas de protección del medio ambiente. Dado que no contribuyen al efecto de invernadero.

Las Fuentes Renovables de Energía son de particular interés para un mejor desarrollo industrial, porque el aprovechamiento de la radiación solar, del viento y de las olas, requiere del desarrollo de tecnologías que en su mayoría tienden a ser de alta tecnología. Debido a que necesariamente su implementación sin lugar a dudas se desarrollará muy rápidamente en el futuro, todos los países y las industrias que en éstas se involucren, rápidamente alcanzarán los beneficios económicos y avances tecnológicos que proporciona el liderazgo en los mercados [4].

Debido al factor de daño ambiental y a los costos de calidad incorporados en el precio de los combustibles fósiles, actualmente se vislumbra un panorama de expansión en el uso de las Fuentes Renovables de Energía a nivel mundial y previsiblemente, con dicha expansión y con el fortalecimiento de los aún incipientes mercados, se producirá, a su vez, otra transformación estructural en estos mercados que incluye: economías de escala en su producción y comercialización, difusión general de sus tecnologías y una aceptación cultural que hará posible el uso creciente y generalizado de dichas energías.

La industria solar, junto con la de las computadoras y las telecomunicaciones, serán las líderes en crecimiento industrial en el siglo XXI. Además, la energía solar junto con otras fuentes renovables como la energía del viento y las celdas de combustible alimentadas por hidrógeno, suministrarán la mayor parte de la energía en este siglo [5].



I.2.- RECURSOS RENOVABLES Y NECESIDADES ENERGÉTICAS DE MÉXICO.

Dentro de las fuentes renovables de energía, la producida por el Sol ó Energía Solar es considerada como la fuente principal energética y que esta es capaz de proporcionar toda la demanda energética mundial presente y futura. Su disponibilidad en todo el mundo hace de ésta una energía universal, susceptible de ser usada por cualquier país, sin algún impedimento u oposición por otro.

El Sol ha sido considerado durante mucho tiempo como un “dador de vida”. La energía proporcionada por el Sol es enorme. Esto significa que en menos de una hora, la energía solar que capta nuestro planeta es la suficiente para satisfacer la demanda energética anual de la población humana del mundo.

Dicha cantidad de energía es la que los organismos biológicos han ido asimilando durante millones de años y que ha hecho posible el crecimiento industrial que conocemos hoy día. La disponibilidad de la Energía Solar en todo el mundo y su carácter de Fuente de Energía Renovable hacen de ésta, una energía universal, de la que derivan también la aparición de otras fuentes de energía como lo son: la energía del viento, la hidroeléctrica y la mareomotriz, sin considerar aquellas posibles fuentes derivadas de la descomposición de desechos biológicos (biomasa).

En México las Fuentes Alternas de Energía también, es una alternativa de solución al problema energético nacional y también puede coadyuvar a resolver otros problemas no menos graves como son: el deterioro ambiental, Sin embargo, para aprovecharlas adecuadamente en la modernización del país y en el mejoramiento de vida de sus habitantes, existe la apremiante necesidad de multiplicar los esfuerzos y recursos dedicados a su investigación y desarrollo tecnológico con las más altas normas de calidad, así como su industrialización y comercialización, a fin de poder satisfacer las necesidades energéticas tanto de las comunidades rurales y urbanas como de la pequeña, mediana y gran industria.

Un indicador del nivel de vida de una población es el valor del consumo energético por persona; mientras más alto sea éste, se acepta que la población “vive mejor”.



El actual esquema de consumo energético simplemente no es sustentable, siendo la base los Hidrocarburos (40.70%), Hidráulica (14.37%), Carbón (7.09%), Nuclear (2.89%), Geotermia (2.71%), Renovables (0.06%) Productores independientes (32.18%). (Figura I.5) [8].

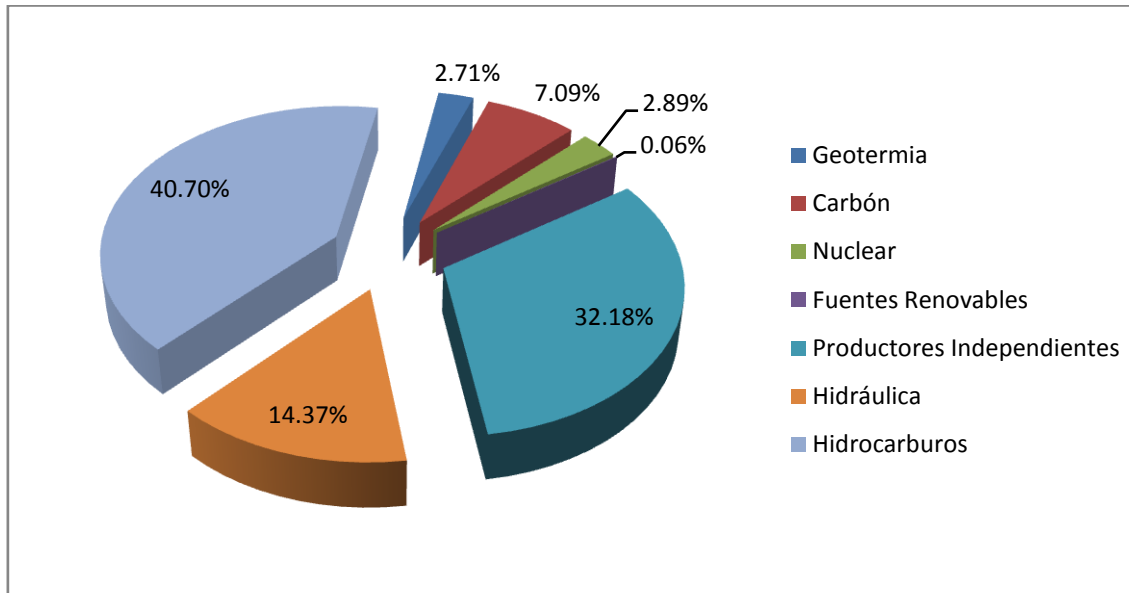


Figura I.5.- Generación por fuente hasta Septiembre del 2010 [8].

La producción de electricidad en nuestro país está basada principalmente en el consumo de combustibles fósiles. La información proporcionada en el Programa Sectorial de Energía 2007-2012 (PSE) [6] indica que actualmente el 74% de la electricidad es producida por una combinación de gas natural, combustóleo y carbón; mientras que del resto, el 21% es generado por las grandes y pequeñas hidroeléctricas; 3% es generado con energía nuclear y el 2% restante con sistemas geotérmicos y eólicos.

Debido a este perfil y considerando que la seguridad energética es un factor determinante para garantizar el desarrollo sustentable de nuestro país, el gobierno mexicano sugiere, en el Programa antes dicho, llevar a cabo acciones que reduzcan los riesgos inherentes al alto consumo de combustibles fósiles, mediante una diversificación energética que incluya una mayor participación de las Energías Renovables.

Sin incluir a la geotermia y la gran hidráulica, las otras Fuentes de Energía Renovables como lo son la energía solar, la eólica, la micro hidráulica y la biomasa, junto con las tecnologías desarrolladas para su uso, ofrecen una oportunidad de aplicación para



generar electricidad en zonas en donde no hay red de distribución eléctrica, como lo son las rurales o suburbanas. Sin embargo, esos sitios no son los únicos en donde existe el nicho de oportunidad para el uso de tecnologías basadas en energías renovables, ya que existiendo el recurso renovable y la tecnología, la aplicación de ésta únicamente estará limitada por la imaginación del usuario o tecnólogo y constreñida por consideraciones económicas.

Al no haber impedimento tecnológico, la Secretaria de Energía ha considerado como objetivo principal en el PSE fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía en todos los sectores. En el PSE se proponen una serie de acciones y actividades que, si se realizan, detonarán masivamente el uso de tecnologías actuales y nuevas, basadas en las fuentes de energía renovable. Para esto se plantea impulsar la creación de leyes y regulaciones que permitan normar el uso de estas tecnologías. La meta principal es generar electricidad de una manera limpia, segura y confiable en los sitios en donde se requiera, propiciar el esquema de autoabastecimiento y cogeneración y ampliar la cobertura del sector eléctrico en comunidades remotas.

Por otra parte, a nivel mundial, El Consejo Mundial de la Energía propuso, en su XXI Examen de los Recursos Energéticos (2007) [7], un importante incremento en el uso de las energías renovables, en especial, la solar, argumentando que la transición hacia el modelo renovable ya ha comenzado y que en el 2100, sólo el 15% del consumo mundial de energía provendrá de los combustibles fósiles y nuclear con una aportación solar del 70%.

I.3.- FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN MÉXICO.

México posee un potencial considerable de generación de energía a partir de fuentes renovables, tanto por su extensión territorial de casi 2 millones de kilómetros cuadrados, como por su ubicación geográfica comprendida entre las latitudes norte de 32° 43' y 14° 32'. Al Oeste y al Este, el país está limitado por grandes litorales de más de 10 mil km de longitud y varias zonas geográficas preferenciales de viento.

Además, casi tres cuartas partes del territorio nacional se pueden considerar como zonas áridas o semiáridas en las que se observa una irradiación solar promedio superior a los 5.5 kilowatts hora por metro cuadrado al día.

Nuestro país recibe una cantidad inmensa de radiación solar; en casi el 40% de su extensión territorial, se reciben unos 21 MJ/m² al día [9]. En un día despejado en las horas de mayor insolación, incide cerca de 1kW térmico sobre cada metro cuadrado de superficie. Sobre una azotea de 100 m² de planta, se reciben unos 550 kW – hora/cada día, (Figura I.6) [10].

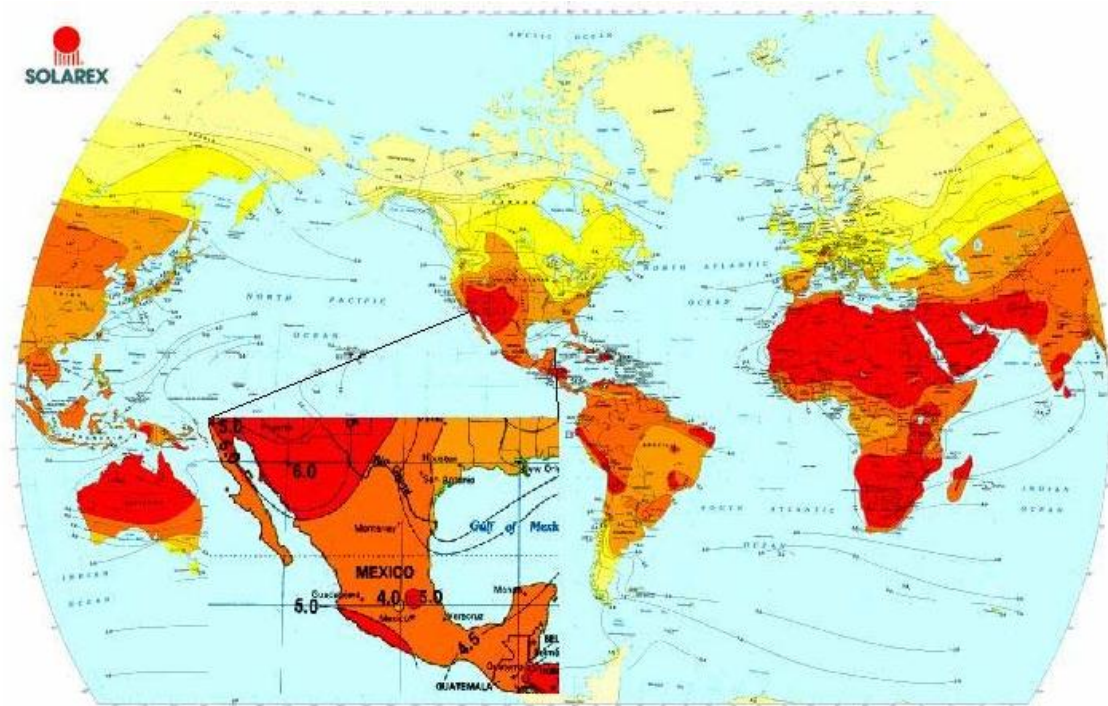


Figura I.6.- Insolación Solar en México y en el mundo [10].

En el país existe una amplia experiencia en el uso de ciertas fuentes renovables de energía, particularmente en los llamados sistemas descentralizados o de autoabastecimiento, generalmente sistemas fotovoltaicos, fototérmicos, generadores eólicos de pequeña escala y muy especialmente, el aprovechamiento de la energía geotérmica y la energía hidroeléctrica en grandes centrales.

I.4.- ENERGÍA SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Las celdas fotovoltaicas son el motor de cualquier sistema solar, es que sin ellas no podríamos contar actualmente con paneles solares o cualquier otro dispositivo que funcione a base de esta energía. Una celda fotovoltaica tiene como función primordial convertir, la energía captada por el sol, en electricidad a un nivel atómico; muchas de ellas aprovechan con una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico lo cual hace que los fotones de luz sean absorbidos para luego irradiar electrones libres; cuando



dichos electrones libres son capturados, el resultado que se obtiene es una corriente eléctrica que es la base de generación de potencia eléctrica.

La existencia de este fenómeno fue puesta de manifiesto por el físico Antoine Becquerel, en el año 1839. Hacia 1870 el profesor W. Grylls Adams y un estudiante suyo, R. Evans Day, experimentaron sobre el efecto de la luz sobre el selenio, comprobando que se creaba un flujo de electricidad, que denominaron “fotoeléctrica”. Era el año 1885 cuando Charles Fritts construyó el primer módulo fotoeléctrico, extendiendo una capa de selenio sobre un soporte metálico y recubriéndola con una fina película transparente de oro. Fritts envió sus paneles solares a Werner von Siemens, que ante la Real Academia de Prusia, presentó los módulos americanos declarando “por primera vez tenemos la evidencia de la conversión directa de la energía de la luz en energía eléctrica”.

La primera célula fotovoltaica de silicio fue descrita por R. S. Olh en el año 1941. Pero los primeros dispositivos fotovoltaicos no se empezaron a fabricar hasta la década posterior. Fueron otras investigaciones las que hicieron posible que se abandonara el selenio y se empezara a utilizar el silicio como material básico para las células fotovoltaicas. En los Bell Laboratories, a comienzos de los años 50, Calvin Fuller y Gerald Pearson trabajaban en la materialización de la teoría del transistor construido a base de silicio, a la vez que ellos estaban inmersos en mejorar los transistores, otro científico de Bell, Darryl Chapin, empezó, en febrero de 1953, a investigar primero con selenio y luego con silicio, con el que logró eficiencias del 2,3%. Los cálculos teóricos de Chapin concluían que las células de silicio podían llegar a tener una eficiencia del 23%, aunque en la práctica Chapin llegó a desarrollar una célula con un 6% de eficiencia.

A partir de este momento, las células solares fotovoltaicas entraban de lleno en el campo de acción de la industria. Primero fue Western Electric, que las utilizó para alimentar líneas telefónicas en las zonas rurales de Georgia. En 1955, National Fabricated Products compró la licencia para la fabricación de células solares a Western Electric, para intentar el mejoramiento de su eficiencia.

El 25 de abril de 1954 los ejecutivos de los Laboratorios Bell presentaron la denominada Batería Solar Bell, mostrando un panel de células fotovoltaicas que alimentaban una noria en miniatura (hoy en día, la noria gigante del embarcadero de Santa Mónica, California, está alimentada por un sistema fotovoltaico de 50 kWp).

Al día siguiente, los científicos de Bell Laboratories llevaron la experiencia a la reunión de la Academia Nacional de Ciencias Americana, que se estaba realizando en Washington.

Hicieron funcionar un radio transmisor alimentado por energía solar, que llevó voz y música a la prestigiosa reunión. La prensa recogió la noticia manifestando: “las células solares de Bell suministran energía a partir del sol en una cantidad de 60 W/m^2 , mientras que la célula atómica, recientemente anunciada por RCA, suministra una millonésima de vatio. Por tanto, la célula solar proporciona 50 millones de veces más energía que el artefacto de RCA” (se referían a la denominada pila atómica, que consistía en una célula de silicio alimentada por energía nuclear, que utilizaba los fotones emitidos por un muy nocivo residuo radiactivo, el Estroncio- 90, en vez de los fotones solares, y que había sido pomposamente anunciada por RCA, coincidiendo con el programa denominado “Atomos para la Paz”, cuyo objetivo era la promoción de la energía nuclear a escala mundial).

La primera empresa que intentó su comercialización fue la californiana Hoffman Electronics, en 1956, para introducirlas en campos de aplicación específicos (alimentación en lugares remotos alejados de la red eléctrica), (Figura I.7) [11].



Figura I.7.- Primer Panel Fotovoltaico desarrollado por los Laboratorios Bell [11].

I.5.- PRIMERAS APLICACIONES DE LAS CELDAS SOLARES

Las células fotovoltaicas tuvieron su primer gran campo de aplicación en el espacio. Fue a partir del invento de Chapin, Fuller y Pearsons, cuando Hans Ziegler, jefe de investigación sobre sistemas de suministro de energía del ejército estadounidense, tras visitar los Bell Laboratories, concluyó que la única aplicación factible era la super-secreta operación denominada “Lunch Box”, que no era otra que la construcción y lanzamiento de un satélite artificial, (Figura I.8) [12].



Figura I.8.- Satélite Espacial alimentado con celda solares [12].

La ciencia ficción se materializó con el anuncio del presidente Eisenhower, realizado el 30 de julio de 1955, de que Estado Unidos de América tenía planes para colocar un satélite en el espacio. En la primera página del New York Times apareció un dibujo del satélite alimentado por células solares.

Las agencias del Gobierno de los Estados Unidos implicadas en actividades secretas apreciaron inmediatamente su valor. La CIA, por ejemplo, quería saber el volumen de tráfico a través de la ruta Ho Chi Minh durante la guerra del Vietnam. Por ello utilizó fuerzas especiales para instalar detectores camuflados a lo largo de la misma. Y estos detectores estaban alimentados por células solares fotovoltaicas.

En 1973 investigadores de Exxon (entonces denominada Esso) sorprendieron a todo el mundo al anunciar que su filial Solar Power Corporation “comercializaba módulos fotovoltaicos que serían competitivos con otras fuentes de energía en aplicaciones terrestres.



Solar Power Corporation comenzó a investigar para reducir el costo de fabricación de las células. Empezaron por utilizar, no silicio cristalino puro, como el utilizado en la industria de los semiconductores, sino silicio de rechazo de esta industria. Así lograron fabricar módulos a un costo de 10 \$/Watt, que se vendían a 20 \$/ Watt. Los primeros mercados masivos de células fotovoltaicas se desarrollaron en primer lugar en torno a aplicaciones aisladas de la red eléctrica: señalización marítima mediante boyas luminosas, señalización ferroviaria, antenas de comunicaciones (telegrafía, telefonía, radio, TV).

I.6.- INVESTIGACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO

En 1966 en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), Se iniciaron las investigaciones sobre materiales semiconductores para la fabricación de celdas solares. Fue el primero en Latinoamérica, donde se fabricaron, celdas solares y módulos fotovoltaicos; al construirse una pequeña planta piloto de celdas solares a base de Silicio monocristalino que permitió una capacidad de 25 Kw/año, a finales de la década de los 70's y principios de los 80's, para proveer de electricidad a un número significativo de aulas dentro del sistema nacional de tele-secundarias y probar dicha tecnología en un proyecto de iluminación rural. Con estos trabajos se dio principio a la formación de uno de los grupos de investigación dedicados al estudio y al aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía más importantes del país. Los primeros sistemas solares fotovoltaicos instalados en México datan de 1967, cuando la Comisión Nacional del Espacio Exterior, dependiente en aquel entonces de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial (la SEPAFIN, que posteriormente se transformó en la SEMIP, la que a su vez se convirtió en la actual Secretaría de Energía) lanzó globos meteorológicos instrumentados con celdas de 2 cm² de silicio monocristalino de unión, cuya eficiencia de conversión era del orden del 8%, con metalización de oro y dióxido de titanio como capa antirreflejante. Estas celdas fueron fabricadas en el CINVESTAV y el sistema operaba a 9 voltios. Los primeros radioteléfonos rurales y el primer sistema de enseñanza vía televisión se instalaron en el Estado de Puebla en 1977. Este proyecto estuvo financiado por la Organización de la Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la Organización de Estados Americanos (OEA) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Las características de dicho proyecto fueron: celdas solares de Si-monocristalino con 11% de eficiencia, módulos fotovoltaicos a base de Si con 9% de eficiencia [18]. Actualmente se continúan



realizando este tipo de celdas solares en el CINVESTAV con eficiencias en el rango de 12 a 14% en áreas grandes, lo cual es competitivo a nivel industrial [13].

Los programas de difusión CINVESTAV-UNESCO-OEA-BID, de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales aisladas y los programas de solidaridad en colaboración con la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el Instituto Nacional Indigenista (INI) y los Gobiernos Estatales, fueron los que proporcionaron la mayor difusión de esta tecnología. Este último programa posibilitó la instalación en nuestro país de aproximadamente 40,000 sistemas fotovoltaicos con recursos federales y 10,000 por la iniciativa privada, esto permitió que cientos de pequeños poblados aislados cuenten con electricidad en sus hogares y en algunos casos para el bombeo de agua. Actualmente, las principales aplicaciones identificadas en México son la electrificación, la telefonía rural, la radio transmisión y el bombeo de agua para el sector agropecuario. El número de radio transmisores instalados en carreteras y que utilizaban celdas solares en el año del 2002 fue de 526 radios, 10 repetidoras y 4 enlaces, con una capacidad total de 37, 2.8 y 1.1 MW, respectivamente; los sistemas telefónicos rurales a base de celdas fotovoltaicas instalados entre 1995 y 2002 fueron 1,807 con una capacidad instalada de 127 KW. Para sistemas fotovoltaicos utilizados en el bombeo de agua desde el 2000, la (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) SAGARPA así como el (Fideicomiso de Riesgo Compartido) FIRCO, estableció el Programa de Energía Renovable para la Agricultura, instalando 431 sistemas, 3,374 módulos con una capacidad de 238 KW. [14].

I.7.- PROSPECTIVA DE LA ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO

La energía solar fotovoltaica ha sido identificada como una tecnología de rápido crecimiento con un alto potencial de aplicación. Por ser modular, puede ser usada en muchas aplicaciones. El mayor obstáculo para su uso en gran escala es el alto costo de inversión inicial. Los costos de generación de electricidad están entre los \$ 0.50 hasta \$ 2.00 dollars US por kW-hr para diferentes tamaños y configuraciones de sistemas y localidades. Como resultado, el uso de los generadores fotovoltaicos está limitado principalmente a aplicaciones en las que el costo de introducción de la red eléctrica convencional y del consumo de la electricidad es alto, o bien, donde es necesario un generador limpio, silencioso y confiable. Este es el caso de áreas remotas (electrificación rural, telecomunicaciones, bombeo de agua, señalización, etc.) o para amortiguar los picos de consumo altos en fábricas o edificios. Sin considerar el



costo inicial de inversión, la popularidad de la tecnología fotovoltaica es con base en su fácil uso, confiabilidad, relativo bajo mantenimiento y la disponibilidad del recurso solar. Debido a que son modulares, los sistemas fotovoltaicos pueden ser dimensionados para satisfacer las necesidades exactas de energía del usuario, disminuyendo el costo global sistema e incrementando la eficiencia del mismo.

Así, el binomio de generación limpia de electricidad: energía solar y Tecnología Fotovoltaica (FV), representan una alternativa ecológica para la generación de electricidad, de forma distribuida o centralizada, con aplicaciones en las zonas rurales y urbanas, que puede resolver problemas eléctricos desde unos cuantos Watt hasta MegaWatt, como ha sido demostrado por un sin número de proyectos tanto a nivel nacional como a nivel mundial. En el caso de nuestro país, la Generación Fotovoltaica (GFV) ha sido sugerida como una de las mejores alternativas de electrificación para sitios alejados de la Red Eléctrica Convencional (REC), de tal forma que, desde 1988 a la fecha, se han usado en proyectos de electrificación rural promovidos por las diferentes Secretarías de Estado, CFE, PEMEX, gobiernos municipales y compañías particulares, teniéndose instalada a la fecha una potencia pico de aproximadamente 20 MW.

Aunque la tecnología FV ha sido usada ampliamente en donde se carece de electricidad, una de las aplicaciones en el ámbito urbano que actualmente ha despertado el interés internacional es la interacción con la red eléctrica convencional (REC), creándose el concepto de autoabastecimiento residencial. Como se requiere que los sistemas interactúen con la REC, se han establecido una serie de regulaciones técnicas y legales que han fomentado su uso más amplio bajo el concepto de medición neta.

Nuestro país no se podía quedar atrás ante este impulso masivo del uso de la tecnología FV acoplada a la red, y en Junio de 2007, se aprueba el modelo de contrato de interconexión de sistemas FV's a la red, bajo el esquema de medición neta [15]. Este contrato permite que los usuarios del servicio eléctrico instalen su propio GFV, conectados directamente a la red, para reducir sus cuentas eléctricas usando un medidor bidireccional que contabiliza el suministro o consumo de la red convencional. La diferencia neta en un periodo dado entre lo suministrado y consumido es lo que el usuario debe pagar al servicio público, o viceversa. Esto da una idea de que los GFV's constituyen una buena alternativa para que la cuenta de consumo baje de manera drástica y se tenga una disminución de la energía provista por la red y un gran ahorro



económico al disminuir la facturación correspondiente. Bajo este esquema, puede esperarse un incremento en la demanda de GFV's interconectados a la red y a corto plazo, quizá para el 2013, se podría tener instalado del orden de 25 MW-pico de tecnología Fotovoltaica.

Se espera que el mercado de los generadores fotovoltaicos se expanda rápidamente cuando la electricidad generada pueda ser colocada, en la red pública, a costos que sean comparables con los costos de generación de electricidad por medio de combustibles fósiles (entre \$0.50 y \$1.25 pesos por kW-hr). Por esta razón, científicos e ingenieros en todo el mundo están trabajando sobre el desarrollo de celdas solares con una mejor razón costo/desempeño. Esto se puede hacer aumentando la eficiencia de conversión de las celdas solares y en consecuencia la de los módulos, reduciendo su costo de Fabricación, o la aplicación de nuevos materiales basados en películas delgadas. Es importante notar que aparte del mejoramiento en el proceso de elaboración, el escalamiento de la producción en grandes volúmenes es un requisito importante para la reducción de costos.

**I.8.- PROGRESO DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA**

El mercado actual de los GFV's esta dominado por las celdas solares de silicio cristalino (x-Si) con un 91% de la producción mundial. Su permanencia y éxito es debido a que la tecnología de elaboración de éste semiconductor es muy conocida, y aunque cara, es una tecnología madura y confiable. El x-Si puede fabricarse en dos configuraciones cristalinas: monocristal (m-Si) y policristal (p-Si), siendo el primero el material base de la industria de la microelectrónica con costos de fabricación más altos que los del p-Si. Con estos cristales como base, se han elaborado las celdas solares de silicio, dispositivos que presentan un tiempo de vida grande (mayor de 25 años). A nivel laboratorio, la más alta eficiencia de conversión a la que se ha llegado es 24.7% con m-Si y de 20.3% para p-Si. En la tabla Tabla I.1, puede observarse la evolución de la tecnología fotovoltaica [16].

1839	Descubrimiento del Efecto Fotovoltaico por E. Becquerel				
1870s	Estudios del Efecto Fotovoltaico en sólidos por H. Hertz Celdas solares basadas en selenio con el 1% al 2% de eficiencias de conversión.				
1954	Primera celda solar de silicio cristalino desarrollada en los Laboratorios Bell, USA. 6% de eficiencia de conversión en celdas solares basadas en silicio cristalino [1]. Celdas solares basadas en CdS son reportadas por Reynolds y colaboradores.				
1958	El programa espacial en USA inicia la primera mayor aplicación de celdas solares. El Vanguard I primer satélite espacial con tecnología fotovoltaica para la generación de electricidad.				
1970s	La crisis mundial petrolera y el aumento en los costos de la energía propiciaron el interés de reducir costos en la tecnología fotovoltaica para aplicaciones terrestres.				
<i>REDUCCIÓN DE PRECIOS EN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS BASADOS EN SILICIO</i>					
<i>Usd \$/Watt pico</i>					
1958	1965-74	1980's	1990's	Actualment e	año 2010
≅1500	≅200	≅20	≅7-10	≅4-6	≅1-2?
<i>EFICIENCIAS DE CONVERSIÓN EN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COMERCIALES</i>					
5 AL 17%					
<i>RÉCORD DE EFICIENCIA DE CONVERSIÓN EN CELDAS SOLARES EXPERIMENTALES</i>					
30% a 32% EN CELDAS SOLARES DE UNIÓN MÚLTIPLE BASADAS EN GaAs					

Tabla I.1.- Reseña histórica de la tecnología fotovoltaica [16].



La Tabla I.2, muestra un listado resumido del estado actual de la tecnología de celdas solares en donde se incluye el tipo de material así como su disponibilidad comercial [17].

	Diseño en homounión	Disponibilidad actual
TIPO DE TECNOLOGÍA	<i>Silicio cristalino</i> 1. Silicio monocristalino (gruesa) 2. Silicio policristalino (gruesa) 3. Silicio policristalino (delgada)	Disponible comercialmente Disponible comercialmente Disponible comercialmente
	Diseño en Heterounión	Disponibilidad actual
TIPO DE TECNOLOGÍA	<i>Películas delgadas policristalinas</i> 1. Cobre-Indio-Galio-Diselenio 2. Telurio de Cadmio. 3. GaInP/GaAs <i>Películas delgadas amorfas</i> 4. Silicio amorfo (a-Si) 5. Heterounion con capa delgada Intrínseca (HIT) de a-Si 6. Heterounion con capa delgada Intrínseca (HIT) de a-Si tipo bifacial	Disponibles comercialmente Disponibles comercialmente Aplicaciones espaciales. I&D Disponibles comercialmente Disponible comercialmente. Disponible comercialmente.
	Diseño de unión múltiple	Disponibilidad actual
TIPO DE TECNOLOGÍA	<i>Películas delgadas policristalinas y amorfas</i> 1. a-SiC/a-Si 2. a-Si/ μ -Si 3. a-Si/a-SiGe 4. a-Si:C/a-Si/a-SiGe 4. a-Si/poli-Si 5. GaAs/CuInSe ₂ 6. GaAs/GaSb 7. GaInP/GaAs/Ge	Disponible comercialmente Bajo desarrollo Bajo desarrollo Disponible comercialmente Bajo desarrollo Bajo desarrollo Aplicaciones espaciales. I&D Aplicaciones espaciales. I&D
TIPO DE TECNOLOGÍA	<i>Celdas de concentración</i> Unión simple 1. GaAs; m-Si ; CIGS Unión múltiple 1. GaInP/GaAs/Ge 2. GaInP/GaInAs/Ge	Celdas de laboratorio y de Bajo desarrollo comercial Disponibilidad desde 10 W hasta sistemas arriba de los 100.0kW
TIPO DE TECNOLOGÍA	<i>Celdas Fotoquímicas</i> 1. Celdas con tinte rutenio/TiO ₂ . <i>Celdas orgánicas</i> 2. Polímero orgánico	No disponibles comercialmente; I&D No disponible comercialmente; I&D

Tabla I.2.- Estado actual de la tecnología Fotovoltaica [17].

La Tabla I.3, muestra que el record de eficiencia en celdas experimentales de silicio es de 24.7%, valor que no ha cambiado desde que en la Universidad de Nueva Gales del Sur, en Australia, obtuvo ese record en el año 1999 con su diseño de contactos enterrados. Por otra parte, el valor más grande de eficiencia, 31.3%, lo tienen las celdas solares tipo tandem basadas en arseniuro de galio, las que desde el año 2003 no se ha podido incrementar. La máxima eficiencia confirmada que se ha logrado en celdas tandem basadas en silicio amorfo es de 12.1% logro alcanzado en 1996 para un área de 0.27 cm², y pese a toda la labor de investigación y desarrollo realizada en los diferentes laboratorios, especialmente en United Solar Ovonic (en su página electrónica reportan un 13%), no se ha podido remontar ese valor. Logros recientes (2006) muy significativos son los alcanzados en las celdas de silicio fabricadas con monocristales producidos por la técnica de zona flotante, que es más económica que



la de Czochralski, en donde en áreas grandes de 147 cm^2 se ha logrado obtener eficiencias del 21.8%. Otros avances significativos son los realizados en celdas fotoquímicas con colorantes en donde se reportan eficiencias del 11.1% y en celdas de polímeros orgánicos con un 4.8%. Estas dos últimas están todavía muy lejos de tener un desarrollo comercial debido a los problemas de transporte eléctrico inherentes a las mismas [18].

	<i>Tecnología</i>	<i>Área</i> (cm^2)	<i>Eficiencia</i> (%)	<i>Año</i>	V_{CA} (V)	J_{CC} (mA/cm^2)
Celdas basadas en Silicio mCz: Monocristal crecido por la técnica de Czochralski. mFZ: Monocristal crecido por la técnica de zona flotante.	m-Si (mCz)	4.0	24.7	1999	0.706	42.20
	m-Si (Área moderada Cz)	22.1	23.7	1996	0.704	41.50
	m-Si (mFZ)	147.4	21.8	2006	0.677	40.00
	m-Si(mCz m)	100.4	21.8	2006	0.718	38.40
	p-Si (policristalino)	137.7	18.1	2005	0.636	36.90
Celdas de películas delgadas con otras tecnologías diferentes a las del x-Si CIGS: Siglas para la aleación de CuInGaSe_2	GaInP/GaInAs/Ge (tandem)	4.0	31.3	2003	2.39	16.00
	CIGS (películas delgadas)	0.41	19.5	2004	0.69	35.30
	a-SiC/a-Si/a-SiGe (tandem)	0.27	12.1	1996	2.30	7.56
	a-Si/m-Si HIT	100.5	22.3%	2007	0.725	38.90
	Fotoquímicas/Tintes	0.22	11.1	2006	0.74	20.90
	Polímeros Orgánicos	0.14	4.8	2005	0.86	9.04

Tabla I.3.- Características eléctricas de las 10 mejores celdas actualmente [18].

En la Tabla I.4, se muestra la prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico en las diferentes tecnologías fotovoltaicas que se han desarrollado a la fecha. La meta de los programas sobre celdas solares a nivel mundial a mediano plazo es que los costos de la energía solar sean lo suficientemente competitivos con los costos de las energías provenientes de combustibles fósiles. Dada la tendencia actual en el crecimiento de las ventas, se prevé que los precios en la tecnología FV podrían disminuir hasta $\text{usd}\$1,00/\text{W}$ -pico para el 2027, con precios para la electricidad fotovoltaica en el rango de $\text{usd}\$0.06/\text{kW-hr}$. Con respecto a la tecnología de película delgada, se espera que la producción de módulos basados en CIGS, CdTe y a-Si triple capa aumente a 6.0GW para el año 2014 [19].

CELDA SOLARES SIN CONCENTRACIÓN						
TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA ¹⁷	Área (cm ²)	η (%)	CORTO PLAZO (2010)		MEDIANO PLAZO (2011-2014)	LARGO PLAZO (2015-2018)
SILICIO homounión	m-Si (CZ)	4.0	24.5	Eficiencia del 20% en áreas mayores de 100 cm ²	Se espera un aumento en el tamaño del lingote, la mejora en la calidad de la producción del mismo así mismo su manejo.	Desarrollo de procesos para obleas de Si de 100μm que produzcan celdas encapsuladas con una eficiencia mayor al 17% en el proceso de producción.
	m-Si (CZ)	22.1	23.7			
	m-Si (CZ)	100.4	21.8	16% de eficiencia a un costo de \$1.60/Wp.		
	m-Si (ZF)	147.4	21.8	Impulsar nuevas estructuras tecnológicas basadas en silicio con otros materiales con la meta base de obtener una mayor eficiencia a un menor costo.		
	p-Si (Cast)	1.0	20.3			
	p-Si (Cast)	137.7	18.1			
	p-Si (TF)	4.01	16.6	Producción de silicio sobre vidrio (CSG) para reducción de costos.		
FOTOVOLTAICA ¹⁹		(cm ²)	(%)	(2010)	(2011-2014)	(2015-2018)
AMORFO Y NANOCRISTAL	a-Si	1.07	9.5	Hay varios laboratorios a nivel mundial que están realizando investigación básica sobre celdas de a-Si; la mayoría de ellos buscan incrementar el área de trabajo con una eficiencia cercana al 10% y eliminar el efecto de degradamiento. La meta a largo plazo es llegar a 100 cm ² de área con eficiencias del 10% estable a largo plazo.		
	n-Si	1.2	10.1	La compañía Kaneka, Japón, líder productor de módulos de silicio amorfo, ha establecido líneas de investigación en silicio nanocristalino debido a su fácil elaboración con el mismo proceso usado para a-Si. Sus metas a corto plazo es la fabricación de módulos con celdas tipo Tandem de a-Si/n-Si con eficiencias superiores al 12% y costos de producción menores a usd\$1.00.		
FOTO QUÍMICAS	Tinte	1.0	10.4	Estas celdas se basan en un tinte de un compuesto metalorgánico de Rutenio que actúa como absorbedor y un electrolito. Aunque la eficiencia experimental es aceptable, tanto el sello de la celda como la degradación por calor y rayos UV limitan el desempeño de esta tecnología para aplicaciones comerciales. Las metas a largo plazo es incrementar el área de captación manteniendo la eficiencia arriba del 10% para un análisis posterior de su posible desarrollo industrial.		
	Sensibilizado	26.5	6.3			
ORGÁNICA	Polimero	1.0	3.0	Hay una gran expectativa en dicha tecnología debido a la característica de flexibilidad que presentan los dispositivos. La meta a corto plazo de los laboratorios de investigación es incrementar la eficiencia de conversión y el área de captación por lo menos hasta el 10%, con prototipos estables.		
UNIÓN MÚLTIPLE O TANDEM	GaInP/GaAs/Ge	3.99	32.0	Compañías como EspectroLab, Boeing, Varian, y Laboratorios de investigación como National Renewable Energy Lab USA y Fraunhofer Institute, han enfocado sus líneas de investigación para incrementar el área de dichas celdas y su eficiencia de conversión. La meta a mediano plazo es incrementar la eficiencia sobre un valor superior al 50%.		
	GaInP/GaAs	4.0	30.3			
	m-GaAs/CuInSe ₂	4.0	25.8			
	a-SiC/a-Si/a-SiGe	0.27	12.1	Esta tecnología desarrollada por United Solar USA (UniSolar) líder americano en la producción de dicha tecnología y Kaneka, Japón, pretenden a corto plazo remediar la degradación inicial y fabricar módulos con eficiencias mayores del 10%, estables, a un costo de usd\$1.15/W-p		
SILICIO	m-Si	1.0	92	27.6	Sus metas a corto plazo es incrementar la razón de concentración sin deteriorar la eficiencia de conversión. Para aplicaciones comerciales Amonix ²⁰ ha lanzado al mercado un módulo de 5.0 kW como la unidad base para formar sistemas de generación de alta potencia con bloques de unidades de 25.0 kW. Esta tecnología puede ser la base principal en sistemas de alta potencia conectados a la red eléctrica convencional.	
	m-Si	20	11	21.6		
	m-Si (módulo)	1875	80	20.3		
COMPUESTOS III-V	GaAs	0.2	216	27.8	Las compañías Entech y Varian han fijado sus metas a corto plazo para incrementar el área de sus tecnologías hasta 1.0 cm ² . A largo plazo es ofertar un producto de alta concentración a las diferentes compañías que están comercializando sistemas de concentración.	
	GaAs	0.2	1000	26.2		
CALCÓGENOS	CuInGaSe ₂	0.1	14	21.5	Hay muy poco desarrollo sobre concentración solar con este tipo de tecnologías. Sin embargo, los resultados actuales desarrollados en el National Renewable Energy Lab USA son alentadores. La meta a mediano plazo es incrementar el área y reducir los efectos de degradamiento.	

Tabla I.4.- Desarrollo tecnológico previsto: celdas sin y con concentración [20].

CAPÍTULO

II

MARCO TEÓRICO

$\eta = \frac{P_M}{S \cdot G}$

$J_{sc} = q \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F(\lambda) EQ(\lambda)[1 - R(\lambda)] d\lambda$

Insolación (Watts/m²)

1.5 hrs 2 hrs 1.5 hrs

ZONA MPPT

MPPT = Maximum Power Point Tracker) Seguimiento del Punto de Máxima Potencia

$I = I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] - I_L \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I}{J_S} + 1\right)$

$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \cdot J_{sc}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{oc} \cdot J_{sc}} \quad \eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$

Material *n* (Impureza donadora)

Material *p* (Boro, 3e⁻ Impureza Aceptora)

Tedlar[®] E.V.A. célula

En este capítulo se presenta la explicación del efecto fotoeléctrico, el comportamiento eléctrico de las celdas solares, la metodología del cálculo del sistema fotovoltaico y las condiciones climatológicas de la ciudad de México.

II.1.- EFECTO FOTOVOLTAICO Y PARÁMETROS ELÉCTRICOS

La conversión de la luz solar en electricidad a través del fenómeno físico conocido como “efecto fotovoltaico” se realiza en un dispositivo fabricado con semiconductores en donde se absorbe la luz solar y ésta es convertida en electricidad, sin ningún proceso intermedio. A la unidad mínima de conversión de luz solar en electricidad se le ha llamado “celda solar” y representa la base para la formación de estructuras de potencia eléctrica o GFV. A los diferentes materiales con que se basa la fabricación de celdas solares forman lo que se conoce con el nombre de Tecnologías Fotovoltaicas, (Figura II.1) [21].



Figura II.1.- Representación Física del efecto fotovoltaico en una celda solar [21].

El Efecto Fotovoltaico se puede definir de la siguiente manera: *Cuando en un dispositivo se crea una fuerza electromotriz o una diferencia de voltaje debido a la absorción de la luz solar, se dice que se está llevando a cabo el Efecto Fotovoltaico (FV).* Bajo estas condiciones, si se le conecta una carga, se producirá una corriente eléctrica que será capaz de realizar un trabajo en ella, (Figura II.2) [21].

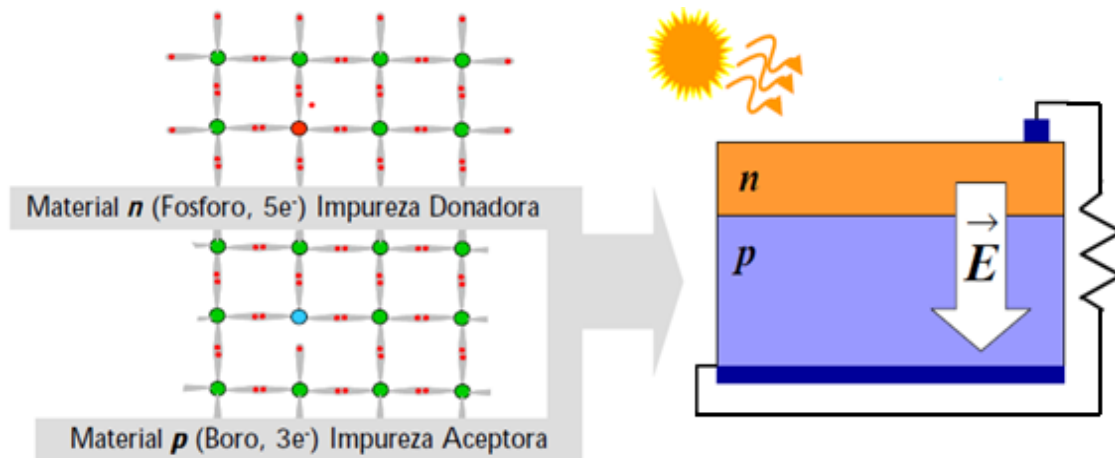


Figura II.2.- Representación Química del efecto fotovoltaico en una Celda solar [21].

II.2.- PRINCIPIOS DE LA CONVERSIÓN FOTOVOLTAICA

La materia está constituida por átomos, los cuales a su vez están formados por dos partes bien diferenciadas: el núcleo, dotado de una carga eléctrica positiva y los electrones, con carga eléctrica negativa que compensa la del núcleo, formando de esta manera un conjunto eléctricamente neutro. Los electrones más externos se conocen como electrones de valencia. Por su estado, los materiales se clasifican en sólidos, líquidos y gases; y con respecto a sus propiedades eléctricas, hay conductores, aislantes y semiconductores (Figura II.3) [21].

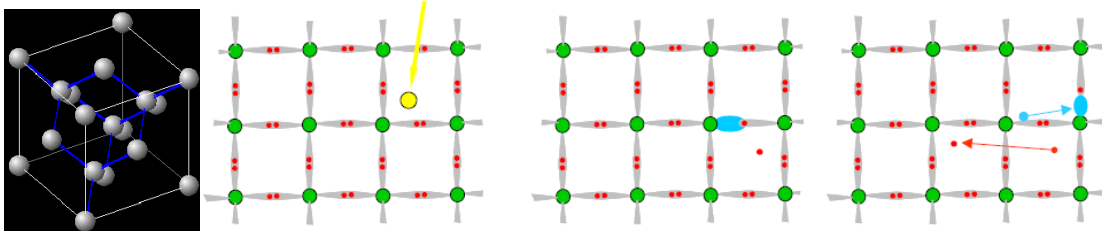


Figura II.3.- Interacción de luz de un cristal en una Celda solar [21].

Los semiconductores son utilizados en la fabricación de las celdas solares porque la energía que liga a los electrones de valencia al núcleo es similar a la energía que poseen los fotones que constituyen a la luz solar. Por lo tanto, cuando la luz solar incide sobre el semiconductor (generalmente silicio), sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia para que se rompan los enlaces y queden libres para circular por el material. Por cada electrón que se libera (carga negativa), aparece un hueco (ausencia de carga negativa), los que se comportan como partículas con carga positiva (+). Cuando en el semiconductor se generan pares electrón-hueco debido a la absorción de la luz, se dice que hay una fotogeneración de portadores de carga negativos y positivos, los que contribuyen a disminuir la resistencia eléctrica del material, (Figura II.4).

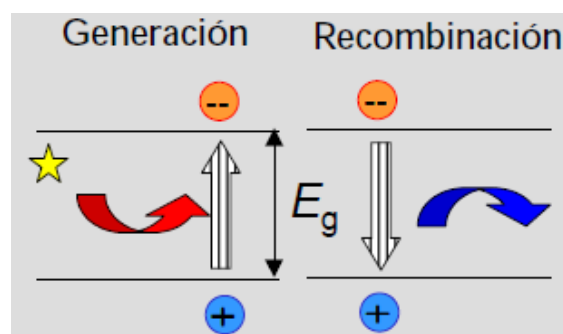


Figura II.4.- Representación de Generación y Recombinación de una Celda solar.

Por otra parte, mediante la ingeniería de materiales se pueden introducir átomos ajenos a un semiconductor dado, los que son conocidos como impurezas. Dentro de éstas, hay aquellas que al enlazarse a los átomos nativos, ceden electrones “libres” al material, cambiando el estado neutral de carga hacia un comportamiento negativo, por lo que son conocidos como semiconductores tipo-N. Hay otras impurezas atómicas que al enlazarse con los átomos nativos dejan enlaces incompletos o “huecos”, creándose una carga aparente positiva debido a una ausencia de electrones, apareciendo un comportamiento positivo, por lo que son conocidos como semiconductores tipo-P. Con semiconductores tipo-N y tipo-P se forman las celdas solares.

Cuando la radiación luminosa en forma de fotones es absorbida por los semiconductores se generan, en exceso de su concentración en equilibrio, pares de portadores de carga eléctrica, electrones y huecos, los cuales deben de ser separados para poder usar la energía que cada uno representa. Estos portadores fotogenerados viajan bajo un gradiente de concentración hacia la unión en donde son separados por efecto del campo eléctrico. Esta separación envía electrones fotogenerados a la capa N y huecos fotogenerados a la capa P, creándose una diferencia de potencial entre las superficies superior e inferior de las capas.

La celda solar consiste en una **unión** de dos capas de materiales semiconductores uno **tipo P** y el otro **tipo N** con contactos eléctricos en la parte superior y en la inferior. El espesor de éste sándwich puede variar, desde menos de una micra para el caso de semiconductores muy absorbentes (caso del silicio amorfo), hasta unos cientos de micra para el caso de semiconductores de baja absorción (caso del silicio cristalino). La unión entre las capas N (lado negativo) y P (lado positivo) es la responsable de que se forme un campo eléctrico interno que radica principalmente en la unión, (Figura II.5) [21].

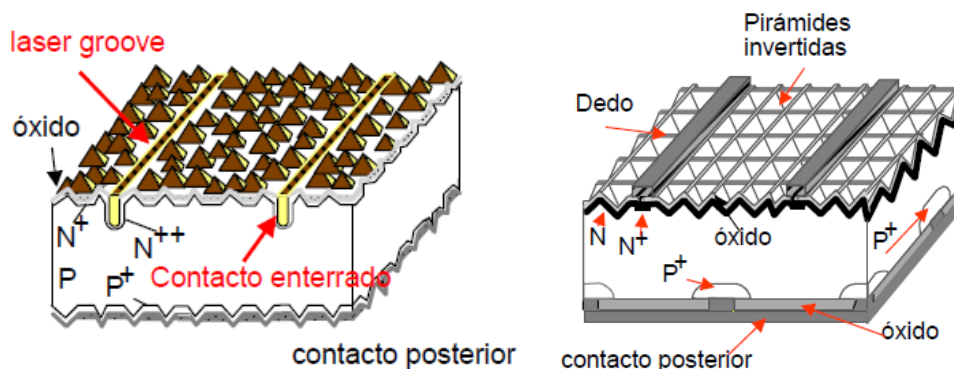


Figura II.5.- Representación esquemática del funcionamiento de una celda [21].

II.3.- COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DE LAS CELDAS SOLARES

La tecnología de elaboración de celdas solares está basada en materiales semiconductores monocristalinos, policristalinos y amorfos, los cuales, dependiendo del tipo de semiconductor, se pueden elaborar en película delgada (del orden de 1 mm de espesor) o gruesas (del orden de cientos de micra de espesor). Las celdas solares se identifican por parámetros eléctricos, (Figura II.6) [22].

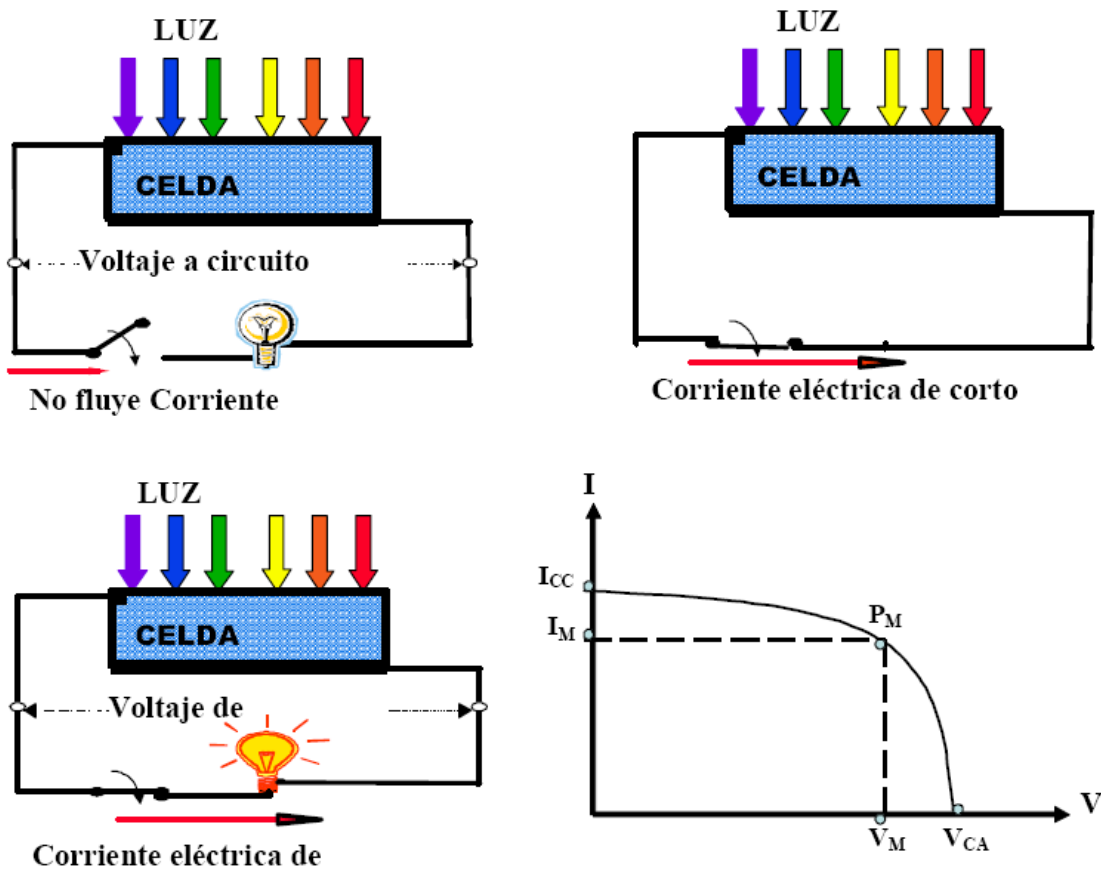


Figura II.6.- Representación esquemática de los parámetros eléctricos de una celda solar [22].

El comportamiento eléctrico de la corriente contra el voltaje foto generado (I vs V) de una celda solar se muestra en la (Figura II.7) [24]. En ella se puede identificar los 4 parámetros eléctricos que identifican al generador fotovoltaico: El voltaje a circuito abierto, la corriente a corto circuito y la potencia máxima generada, la que permite evaluar la eficiencia de conversión de luz a electricidad. Estos se especifican de la manera siguiente:

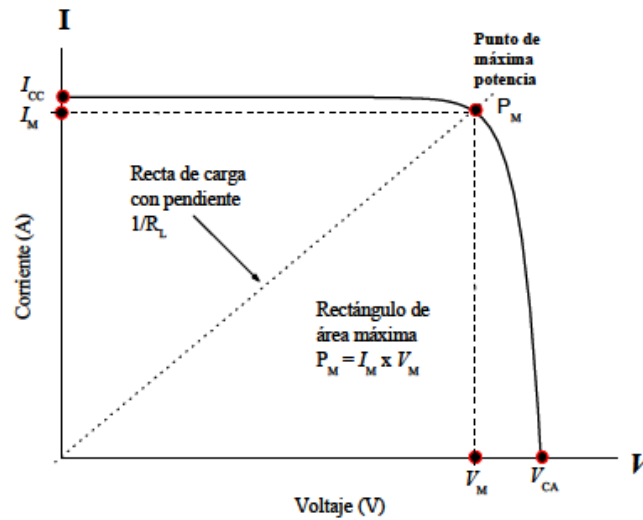


Figura II.7.- Comportamiento de I vs V de una celda solar [22].

(I) = Corriente

(I_{CC}) = Corriente de corto circuito

(I_M) = Corriente de máxima potencia

(P_M) = Potencia máxima = I_M x V_M

(V_M) = Voltaje de Máxima Potencia

(V_{CA}) = Voltaje en circuito abierto

(V) = Voltaje

(FF) = Factor de Forma P_M / (I_{CC} V_{CA}).

Es importante conocer la Eficiencia de conversión o rendimiento:

$$\eta = \frac{P_M}{S \cdot G}$$

Donde : S = Área de célula.

G = Irradiancia.

La ecuación ideal de una celda solar:

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] - I_L$$

Donde: I_L = Corriente generada por la luz.

I_s = Corriente de saturación.

q = Carga del electrón

k = Constante de Boltzman.

η = Es el factor ideal del diodo, que generalmente varía entre 1 y 3.

T = temperatura en Kelvin.



Cuando es mayor el área de recolección más son los fotones absorbidos, para normalizar esto, se usa la ecuación de densidad de corriente.

$$J = \frac{I}{A}$$

Donde: J = Densidad de Corriente generada por la luz.

I = Flujo neto de la corriente que circula por el diodo.

A = Área transversal.

II.3.1.- La corriente de corto circuito (I_{SC} ó I_{CC})

Corriente a corto circuito, I_{CC} (I_{SC} símbolo comúnmente usado por sus siglas en inglés): Es la máxima corriente generada por la celda solar y se mide cuando se conecta un circuito exterior a la celda con resistencia nula. Su valor depende del área superficial y de la radiación luminosa. Normalmente se especifica en unidades de densidad de corriente: corriente entre área. El valor típico para la densidad de corriente a corto circuito en celdas solares de silicio cristalino comerciales bajo condiciones estándares de medición (irradiancia de 1000 W/m^2 a una temperatura de celda de 25°C) es del orden de 44 mA/cm^2 ; es decir, una celda solar de 100 cm^2 de área producirá una I_{CC} del orden de 4.4 A :

$$J_{SC} = q \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F(\lambda) EQ(\lambda)[1 - R(\lambda)] d\lambda$$

Donde: J_{SC} = Densidad de corriente en corto circuito.

q = Carga del electrón.

$F(\lambda)$ = Frecuencia en la distribución espectral de la luz solar.

$R(\lambda)$ = Es luz reflejada de la longitud de onda.

EQ = Eficiencia cuántica interna.

II.3.2.- Voltaje a circuito abierto (V_{CA} ó V_{OC})

Voltaje a circuito abierto V_{CA} , (V_{OC} por sus siglas en inglés): Es el voltaje máximo que genera la celda solar. Este voltaje se mide cuando no existe un circuito externo conectado a la celda. Bajo condiciones estándares de medición, el valor típico del



voltaje a circuito abierto que se ha obtenido en una celda solar de silicio cristalino es del orden de 0.600 V.

$$V_{OC} = \frac{nKT}{q} \ln \left(\frac{J_L}{J_S} + 1 \right)$$

Donde: V_{OC} = Voltaje a circuito abierto.

q = Carga del electrón.

J_L = Densidad de corriente generada por la luz.

J_S = Densidad de corriente de saturación.

\ln = logarítmica.

η = Es el factor ideal del diodo.

k = Constante de Boltzman.

T : es la temperatura en Kelvin.

II.3.3.- Eficiencia en la conversión de energía

La eficiencia de una célula solar (η), es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por un panel, cuando una célula solar está conectada a un circuito eléctrico. Este término se calcula usando la relación del punto de potencia máxima, P_m , dividido entre la luz que llega a la celda irradiancia (E , en W/m^2), bajo condiciones estándar (STC) y el área superficial de la célula solar (A_c en m^2).

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$$

Donde: η = Eficiencia.

P_m = Potencia Máxima.

E = Irradiancia.

A_c = Área de superficie de la célula solar.

II.3.4.- Factor de llenado

Otro término para definir la eficacia de una célula solar es el factor de llenado o fill factor (FF), que se define como la relación entre el máximo punto de potencia dividido entre el voltaje en circuito abierto (V_{OC}) y la corriente en cortocircuito I_{SC} , (Figura II.8) [23].

$$FF = \frac{P_m}{V_{OC} \times I_{SC}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{OC} \times I_{SC}}$$

Donde: FF = Factor de llenado ó Fill Factor.

P_m = Potencia maxima.

V_{oc} = Voltaje a circuito abierto.

I_{sc} = Corriente de corto circuito

η = Eficiencia.

k = Constante de Boltzman.

A_c = Área de superficie de la célula solar.

E = Irradiancia.

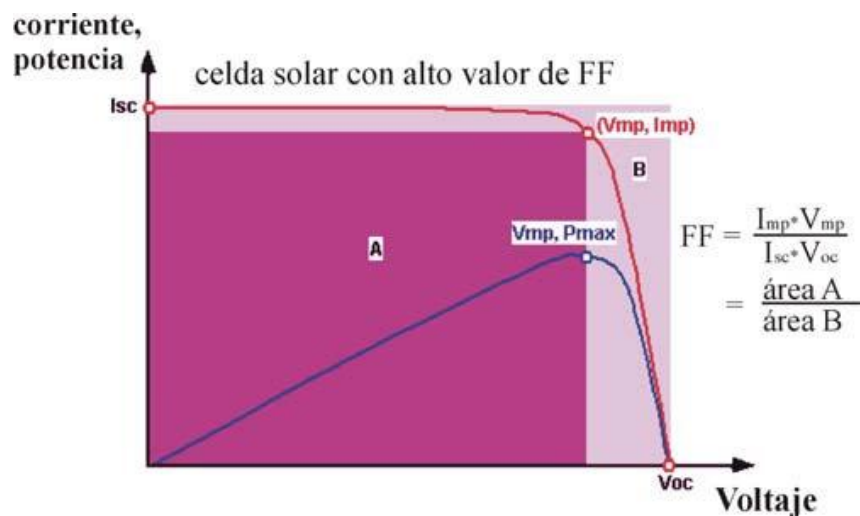


Figura II.8.- Curva Densidad de Corriente vs Voltaje y curva de Potencia vs Voltaje [23].

II.3.5.- Máxima potencia generada (P_M)

Máxima potencia generada P_M : Su valor queda especificado por una pareja de valores I_M y V_M cuyo producto es máximo. La eficiencia de conversión de la celda, h , se define como el cociente entre el valor de la máxima potencia generada, P_M , y la potencia de la radiación luminosa, P_I (irradiancia por área de la celda). Para una celda solar de silicio cristalino comercial con una eficiencia del 17%, la potencia máxima generada en 100 cm^2 de captación cuando sobre la celda incide 1000 W/m^2 es de 1.7 W ($V_M = 0.485$ V; $I_M = 3.52$ A).

II.4.- LOS GENERADORES FOTOVOLTAICOS

El bajo voltaje producido por la celda solar no es suficiente para todas las aplicaciones en donde se pueda usar. Para que se pueda generar una potencia útil, las celdas se deben de agrupar mediante conexiones serie y paralelo. Además como son muy

frágiles, deben protegerse contra posibles golpes mecánicos que las romperían. También, deben protegerse contra las condiciones ambientales para evitar procesos de degradación. Por ésta razón, las celdas conectadas se encapsulan para formar una nueva estructura llamada *módulo fotovoltaico (FV)*. Este conjunto de celdas deben estar convenientemente conectadas (Figura II.9). de tal forma que reúnan las condiciones óptimas para su integración en sistemas de generación de energía, siendo compatibles con las necesidades y los equipos estándares existentes en el mercado.

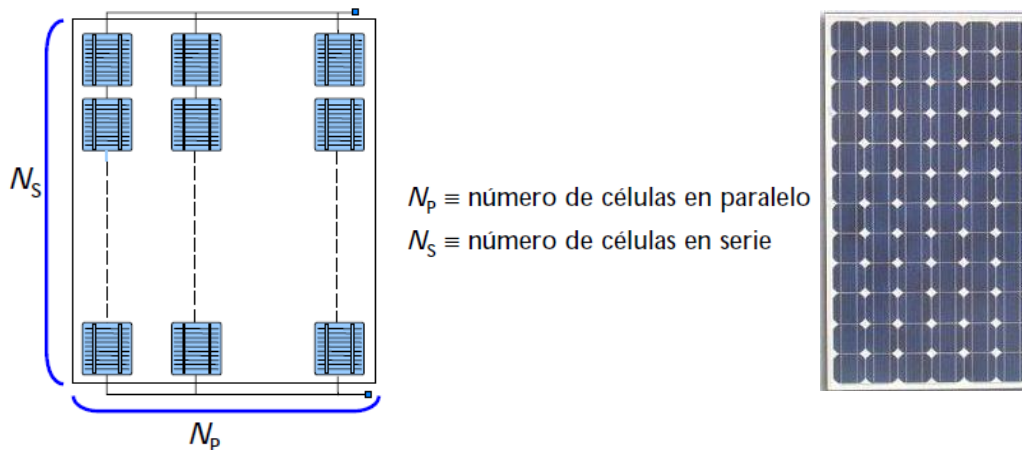


Figura II.9.- Conexiones de un modulo fotovoltaico.

II.5.- TECNOLOGÍA DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

El módulo consiste prácticamente de un conjunto de celdas conectadas de tal manera que produzcan el voltaje y la corriente deseada por la aplicación específica. Las celdas son laminadas entre dos polímeros para aislarlas contra la humedad y protegerlas del clima ó algún accidente, y soportadas en un vidrio. Encima del polímero se fijan las cajas de conexión eléctrica en donde se conectarán los cables que llevarán la electricidad a la carga específica. Este laminado es colocado en un marco metálico, provisto de hoyos de fijación, que permiten colocarlo en una estructura que provee la orientación respectiva del módulo, (Figura II.10).

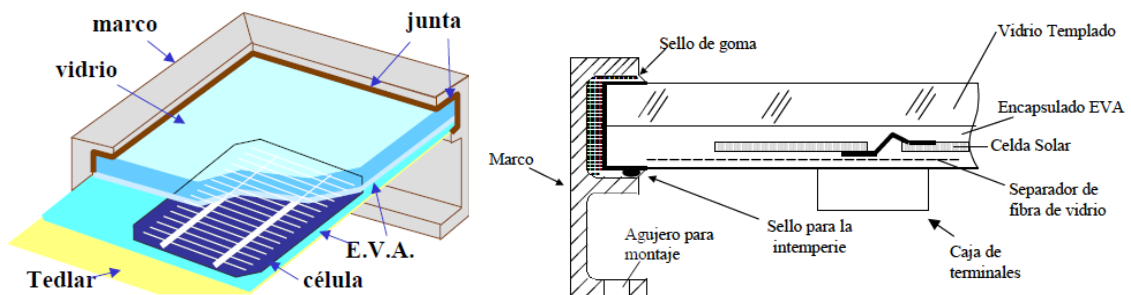


Figura II.10.- Corte esquemático de las principales componentes del módulo fotovoltaico.

II.6.- ARREGLO FOTOVOLTAICO

En muchas aplicaciones la potencia generada por el módulo no basta para activar una carga eléctrica, por ésta razón y usando la ventaja de que la generación de electricidad es de forma directa, los módulos se pueden conectar en serie ó en paralelo para incrementar la potencia de trabajo, y formar una nueva estructura llamada el arreglo fotovoltaico. Es importante considerar que para formar los arreglos fotovoltaicos, los módulos deben tener características eléctricas idénticas para evitar la formación de los llamados “puntos calientes”.

La conexión en serie de módulos idénticos dará un arreglo con un voltaje de salida dado como la suma de los voltajes de cada módulo. Si se considera que se tiene N módulos idénticos conectados en serie, las características eléctricas de ésta nueva asociación, a la que se le llamará panel fotovoltaico, tendrán como voltaje, la suma de cada uno de los voltajes de los módulos; y como corriente, la misma corriente que genera un módulo (Figura II.11).

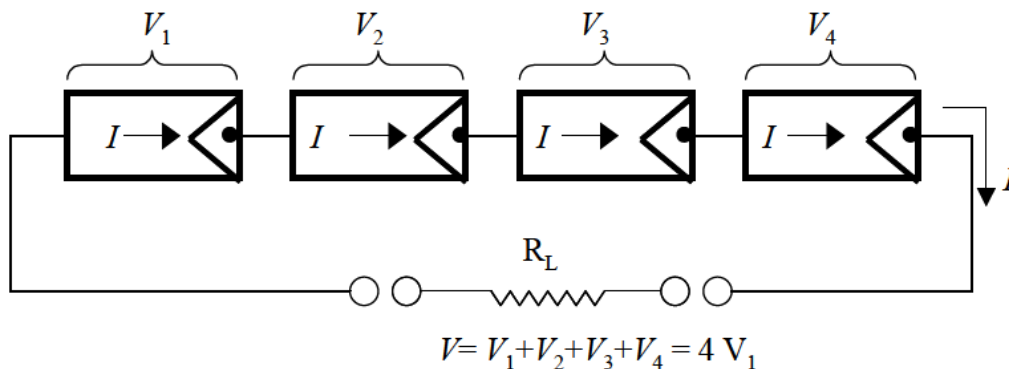


Figura II.11.- Conexión en serie de módulos idénticos.

Cuando la potencia demandada es alta, se recomienda primero analizar qué tipo de sistema es el que se alimentará. En el caso de acoplamiento directo módulos-carga, se identifica cual es el rango de voltaje en el que operará la carga eléctrica para que, con una combinación en serie de módulos, sea suministrado el voltaje de operación.

II.7.- METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO TIPO ISLA

En la República Mexicana, la radiación diaria sobre superficies horizontales promedio que se recibe es de 5 kWh/m²-día. (Figura II.12) [24], se puede observar la insolación promedio en horas a nivel global.

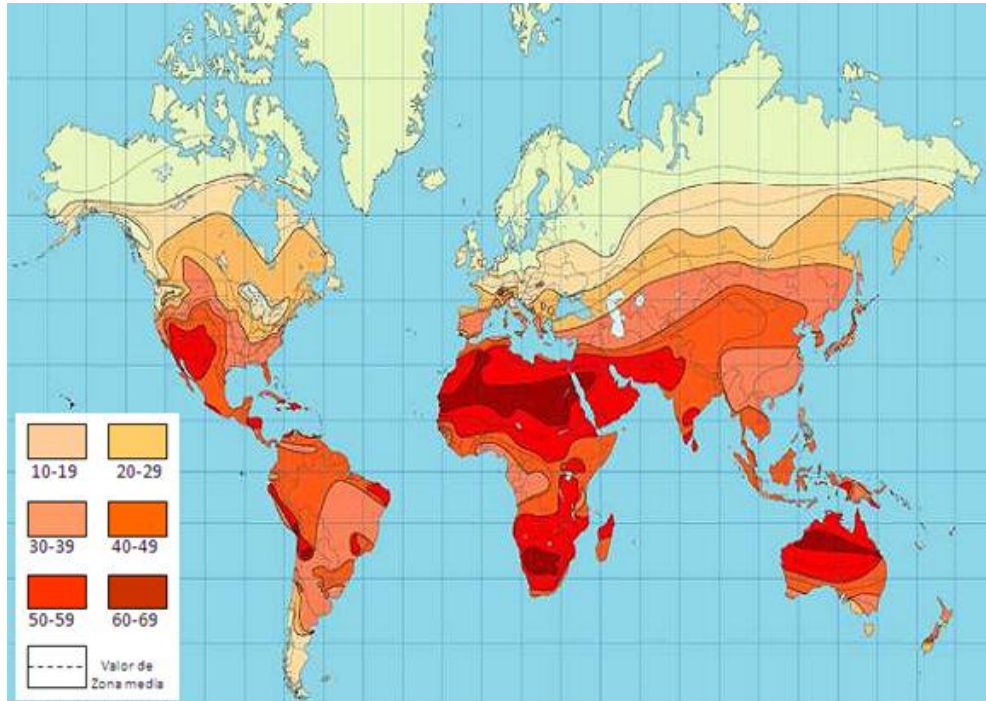


Figura II.12.- Horas del día promedio donde se puede aprovechar los rayos del sol [24]

En la (Figura II.13) [25]. Se pueden observar las estimaciones climatológicas mensuales de irradiación mensual para la ciudad de México.

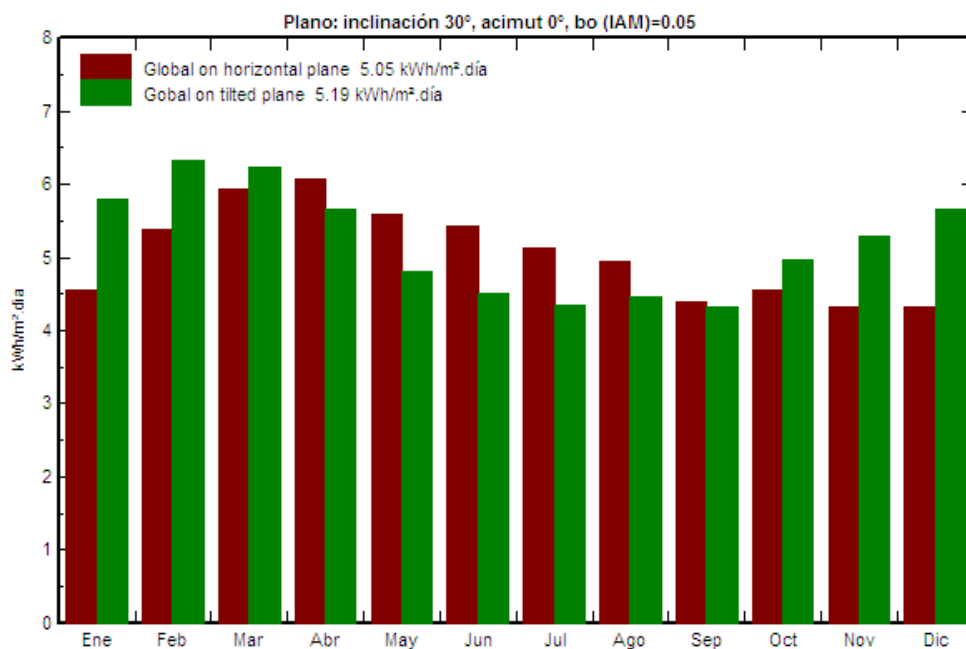


Figura II.13.- Cálculos de climatología mensual en la ciudad de México [25].

En la (Figura II.14) [25] se muestra en coordenadas polares la trayectoria solar de todo el año en la ciudad de México, aquí es posible observar que se disponen de 5 horas en promedio para aprovechar al máximo la energía solar.

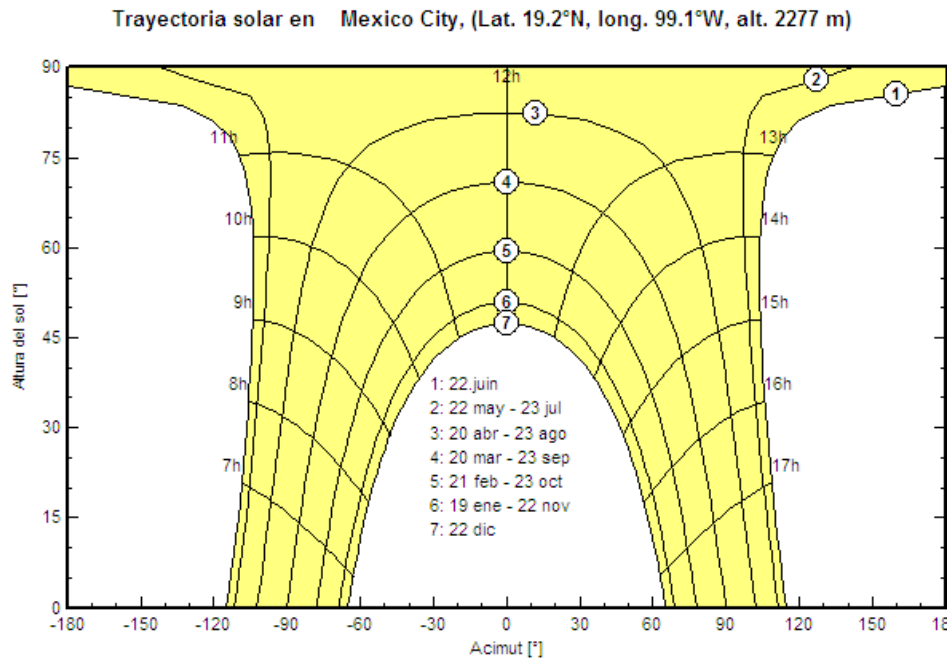


Figura II.14.- Trayectoria solar en coordenadas polares en la ciudad de México [25].

En la En la (Figura II.15) [25] se muestra la trayectoria solar en coordenadas cartesianas de todo el año en la ciudad de México, observando también que existen mejores posibilidades de aprovechar la radiación solar.

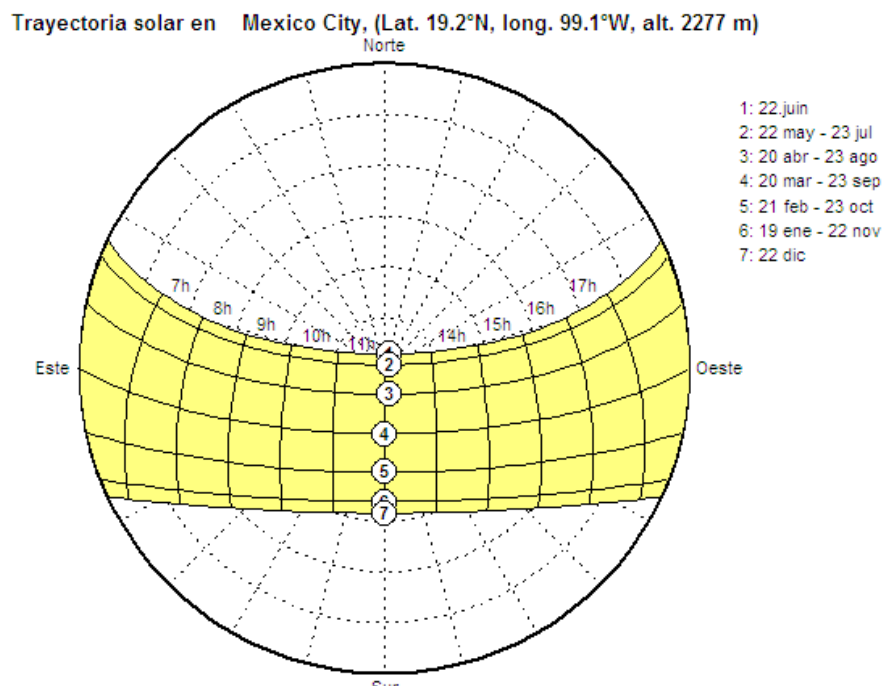


Figura II.15.- Trayectoria solar en coordenadas cartesianas en la ciudad de México [25].



De acuerdo a las gráficas anteriores, en México se dispone de 5 horas en promedio para aprovechar al máximo la energía solar. En la (Figura II.16) se muestran las horas de máxima potencia.

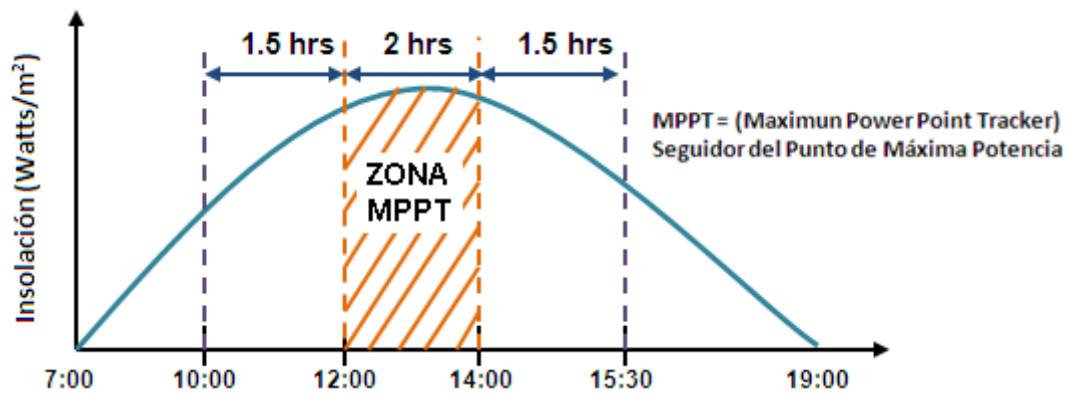


Figura II.16.- Horas de máxima potencia en México.



En este capítulo se presenta la selección y programación de las matrices de LED para activar los bits de encendido, además de las cuestiones técnicas de los componentes utilizados y las conexiones para el funcionamiento del sistema.



III.1.- SISTEMAS DE ILUMINACIÓN E INNOVACIÓN EN VIALIDADES Y ÁREAS URBANAS.

El alumbrado público en vialidades y áreas urbanas de la República Mexicana se ha efectuado por medio de la utilización de diversos tipos de lámparas desde el siglo pasado. A mediados de la década de los años 20 del siglo pasado, se introdujeron las lámparas incandescentes de alta potencia. Mientras que a finales de los años 50, se incorporaron las lámparas de vapor de Mercurio en alta presión. Así, a finales de los años 70, se inició la utilización de las lámparas de vapor de Sodio en alta presión [26]. Desde principios de este siglo, se empezó con la incorporación de las lámparas de aditivos metálicos, al igual que la iluminaria con LED.

Asimismo, las nuevas fuentes lumínicas también son adecuadas para operar con sistemas de energía solar y por lo tanto ideales para la iluminación en áreas periféricas de países en desarrollo.

La aplicación de señalamiento de iluminación por LED, alimentado a través de celdas solares fotovoltaicas, requiere de un mantenimiento mínimo. Además si se considera que este tipo de tecnologías tienen en promedio un tiempo de vida largo (en el caso de los LED se estima un promedio de vida útil de 20,000 horas, en las celdas solares fotovoltaicas su promedio de vida útil oscila entre los 20 y 25 años actualmente).

III.2.- LOS DIODOS DE LED Y SUS APLICACIONES

Los diodos emisores de luz visible, LED sus siglas provienen del Inglés (Light Emitting Diode) son utilizados en grandes cantidades como indicadores piloto, dispositivos de presentación numérica y dispositivos de presentación de barras, tanto para aplicaciones domésticas como para equipos industriales, esto es debido a sus grandes ventajas que son: peso y espacio insignificantes, precio moderado, y en cierta medida una pequeña inercia, que permite visualizar no solamente dos estados lógicos sino también fenómenos cuyas características varían progresivamente. Como otros dispositivos de presentación, los Leds pueden proporcionar luz en color rojo, verde y azul. El material de un Led está compuesto principalmente por una combinación semiconductor, El GaP se utiliza en los Leds emisores de luz roja o verde; el GaAsP para los emisores de luz roja, anaranjada o amarilla y el GaAlAs para los Leds de luz roja. Para los emisores azules se han estado usando materiales como SiC, GaN, ZnSe y ZnS.

III.3.- SELECCIÓN DEL TIPO MATRIZ DE LED A UTILIZAR

Las matrices se organizan por filas y columnas y los valores que se cargarán en las "filas" y correrán a través de las columnas hasta ubicarse en el lugar correcto los Bits activados se suman y completan el valor decimal que se transmite a las filas para ocupar un lugar en cada columna, (Figura III.1).

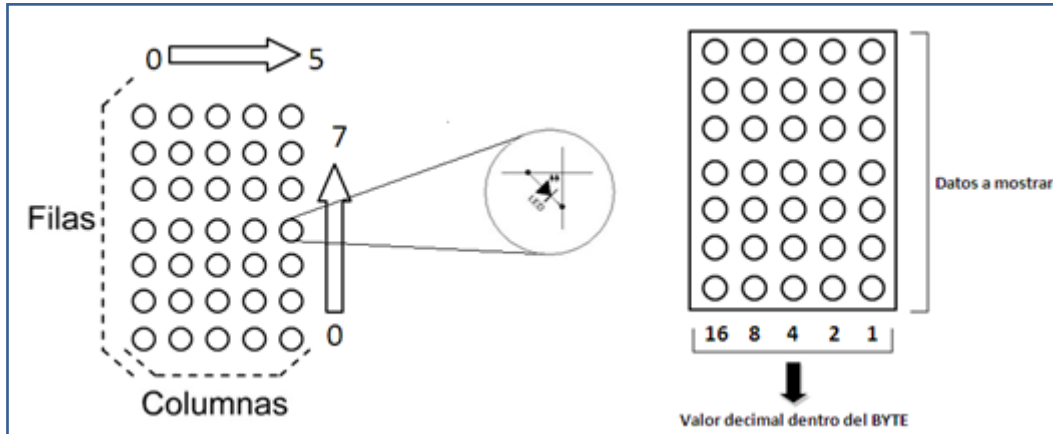


Figura III.1.- Filas y Columnas de la Matrices de LED 5x7.

Las Matrices utilizadas son matriz de puntos de 5 x 7, con alto contraste y salida de luz, Compatibles con los códigos ASCII y EBCDIC, (Figura III.2).

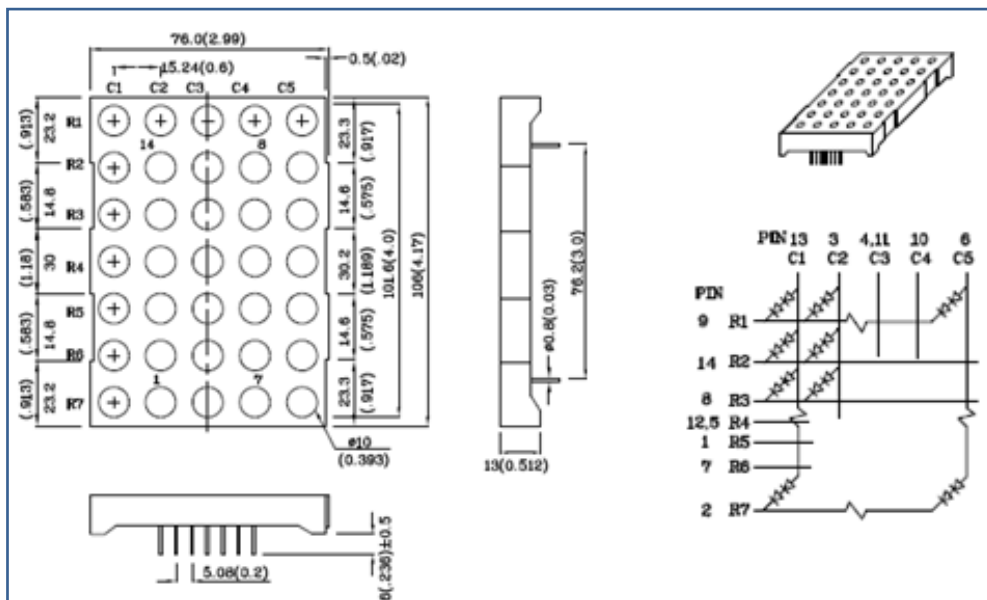
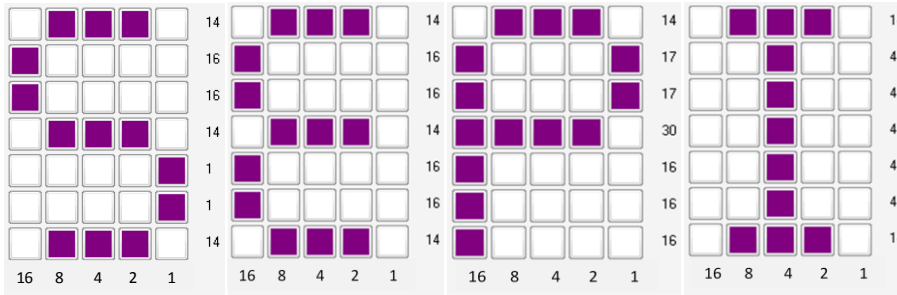


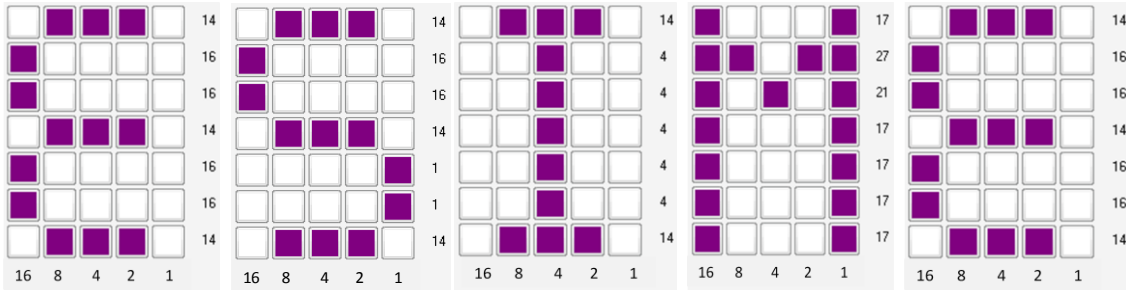
Figura III.2.- Matrices de LED 5x7.



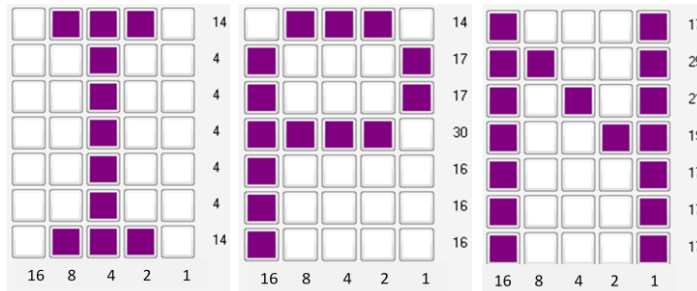
III.4.- DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE MATRICES DE LED CON BITS ACTIVADOS



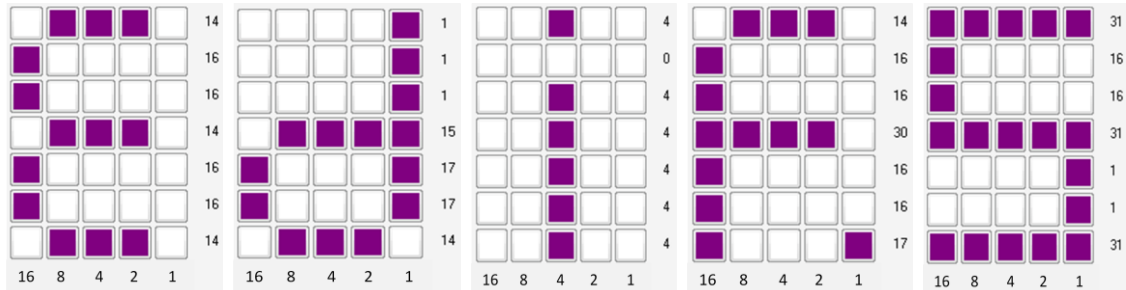
$$\left\{ \begin{array}{l} 14 = 8 + 4 + 2 \\ 16 = 16 \\ 1 = 1 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 14 = 8 + 4 + 2 \\ 16 = 16 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 14 = 8 + 4 + 2 \\ 17 = 16 + 1 \\ 30 = 16 + 8 + 4 + 2 \\ 16 = 16 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 14 = 8 + 4 + 2 \\ 4 = 4 \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} 14 = 8 + 4 + 2 \\ 16 = 16 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 14 = 8 + 4 + 2 \\ 16 = 16 \\ 1 = 1 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 14 = 8 + 4 + 2 \\ 4 = 4 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 17 = 16 + 1 \\ 27 = 16 + 8 + 2 + 1 \\ 21 = 16 + 4 + 1 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 14 = 8 + 4 + 2 \\ 16 = 16 \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} 14 = 8 + 4 + 2 \\ 4 = 4 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 14 = 8 + 4 + 2 \\ 17 = 16 + 1 \\ 30 = 16 + 8 + 4 + 2 \\ 16 = 16 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 17 = 16 + 1 \\ 25 = 16 + 8 + 1 \\ 21 = 16 + 4 + 1 \\ 19 = 16 + 2 + 1 \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} 14 = 8 + 4 + 2 \\ 16 = 16 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 1 = 1 \\ 15 = 8 + 4 + 2 + 1 \\ 17 = 16 + 1 \\ 14 = 8 + 4 + 2 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 4 = 4 \\ 0 = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 14 = 8 + 4 + 2 \\ 16 = 16 \\ 30 = 16 + 8 + 4 + 3 \\ 17 = 16 + 1 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 31 = 16 + 8 + 4 + 2 + 1 \\ 16 = 16 \\ 1 = 1 \end{array} \right.$$

III.5.- MATRICES DE LED PROGRAMADAS CON BITS FUNCIONANDO

Una vez programadas las matrices se hacen las conexiones para el funcionamiento de las matrices y se dejan a 12 Volts de entrada de alimentación, (Figura III.3).



Figura III.3.- Matrices de LED con Bits Funcionando.

III.6.- SISTEMA UTILIZADO TIPO ISLA PARA EL SEÑALAMIENTO ELECTRÓNICO

El sistema utilizado para el señalamiento electrónico que se presenta en este trabajo se integra con tres componentes tipo isla y se considera el cuarto componente como la carga de alimentación. Los componentes de que consta el diseño del señalamiento electrónico propuestos son:

- Celda solar (Figura III.4).
- Controlador (Figura III.5).
- Batería recargable sellada, de ácido-plomo (Figura III.6).
- Carga Señalamiento de LED (Figura III.7).

III.6.1.- Modulo Fotovoltaico o Panel Solar

Los módulos fotovoltaicos convierten la energía luminosa del Sol en electricidad, esta es utilizada de inmediato o almacenada en un banco de baterías a través de un control de carga. La electricidad puede ser convertida en corriente alterna como la de la línea eléctrica por medio de un inversor CD/CA, (Figura III.4).



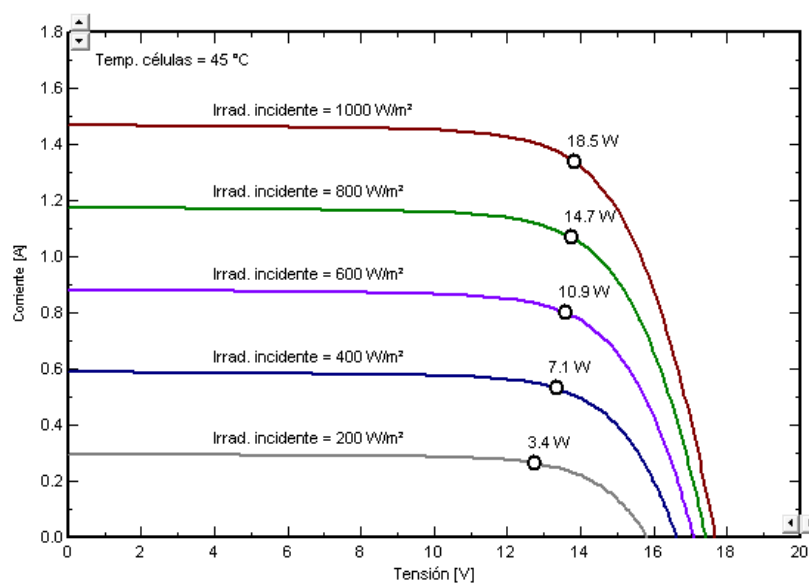
Figura III.4.- Panel Solar.

En la Tabla III.1, muestra las Características y especificaciones del modulo fotovoltaico

CARACTERISTICAS	Valores
Potencia (Watts)	20W
Voltaje (V_{mp})	17.3 V
Corriente (Ampers) (I_{mp})	1.32A
Voltaje en circuito abierto (V_{oc})	21.6 V
Corriente en corto circuito (I_{sc})	1.43 A
Temperatura de operación	-40 a 90° C

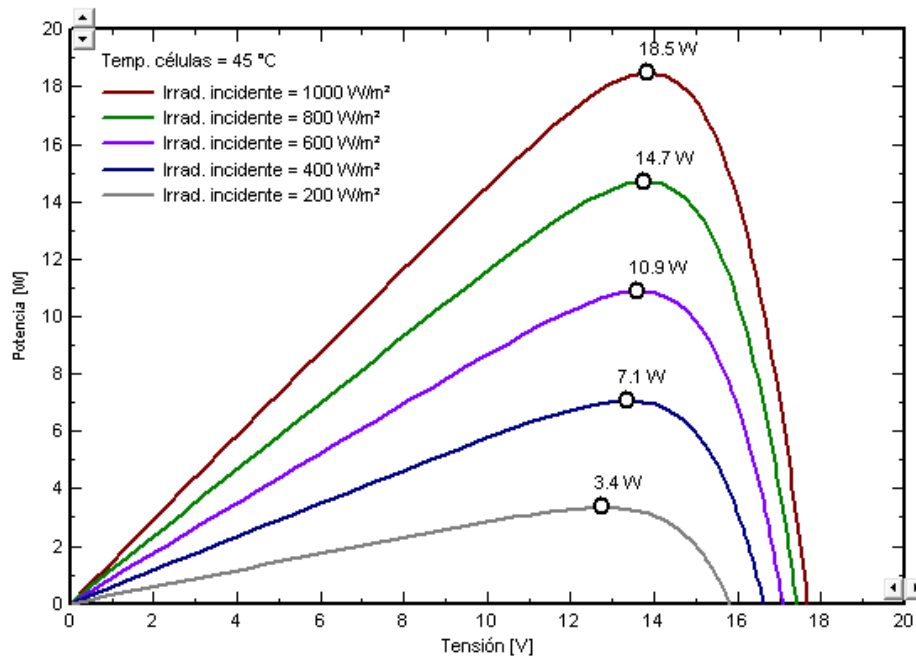
Tabla III.1.- Característica y especificaciones del modulo fotovoltaico.

En la Grafica III.1, muestra las curvas de Corriente vs Tensión.



Grafica III.1.- Curvas de Corriente vs Tensión.

En la Grafica III.2, muestra las curvas de Potencia vs Tensión.



Grafica III.2.- Curvas de Potencia vs Tensión.

III.6.2.- Controlador ó Regulador

El controlador de carga protege a la batería contra posible sobrecarga del modulo solar y evita que sea fuertemente descargada durante los consumos. Las características de carga comprenden diversos estadios que incluyen la adaptación automática a la temperatura ambiente. El controlador de carga se puede ajustar automáticamente al sistema de voltaje de 12 ó 24V, (Figura III.5).



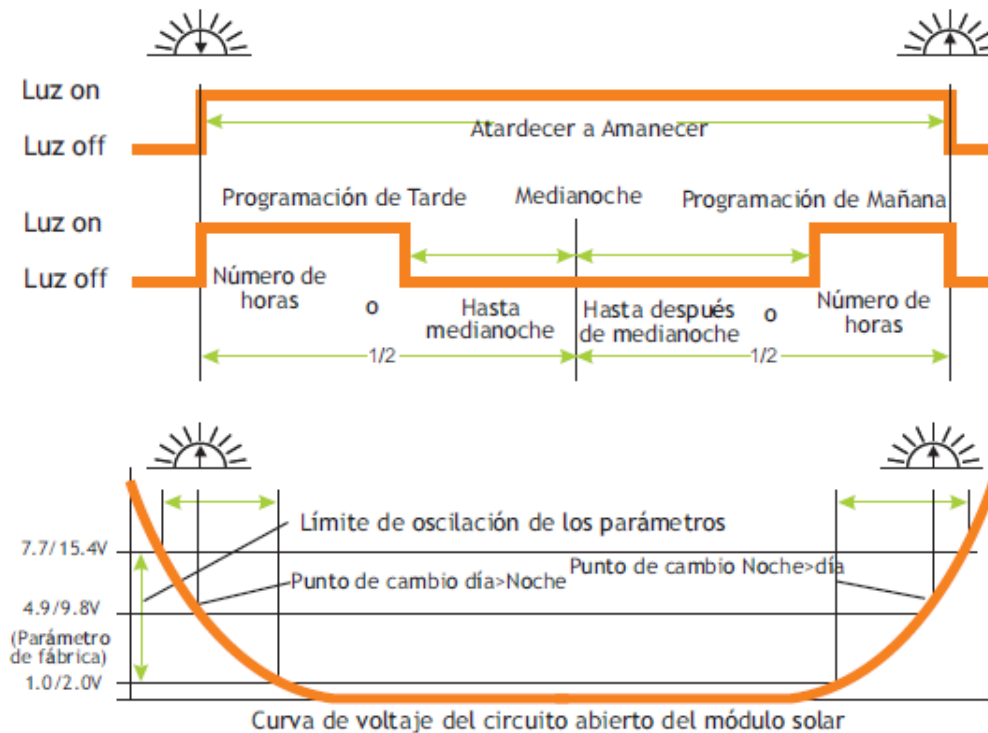
Figura III.5.- Controlador ó Regulador.

En la Tabla III.2, muestra las Características y especificaciones del controlador.

Voltaje nominal	12 / 24 V, reconocimiento automático
Voltaje de carga profunda	14.4 / 28.8 V (25°C), 0.5-2h
Voltaje de flotación	13.7 / 27.4 V (25°C), 2 h
Voltaje de desconexión de carga	11.0-12.2 / 22.0 -24.4 V dependiendo del parámetro
Voltaje de reconexión de carga	12.8 / 25.6 V
Compensación de temp.	-4 mV/Cell*K
Máx. corriente de panel solar	10/20/ 40 A de acuerdo al número de modelo @ 25°C (sin corriente de carga a 50°C)
Máx. corriente de carga	10 / 20 / 40 A de acuerdo al número de modelo @ 25°C (sin corriente solar a 50°C)
Dimensiones	92 x 93 x 38 Mm. (w x h x d)
Peso	CX10, CX20: 168 gr., CX40: 179gr
Máx. tamaño de cable	16 mm ² (AWG #6)
Autoconsumo	4 mA
Escala de temperatura ambiental	-25 a + 50 °C
Caja de protección	IP 22

Tabla III.2.- Característica y especificaciones del modulo fotovoltaico.

En la Grafica III.3, muestra los Rangos del controlador.



Grafica III.3.- Curvas de Potencia vs Tensión.

III.6.3.- Baterías

Las baterías almacenan la energía proveniente de los módulos solares para que pueda ser usada durante la noche, su tamaño es determinado por los períodos de nublados esperados, Batería Ácido Plomo Sellada. El tiempo de vida de una batería depende de la profundidad de régimen carga-descarga (ciclado), es por ello que el tamaño de banco de baterías es determinante en su vida útil, , (Figura III.6).



Figura III.6.- Batería Ácido Plomo Sellada.

En la Tabla III.3, muestra las Características de la Batería Ácido Plomo

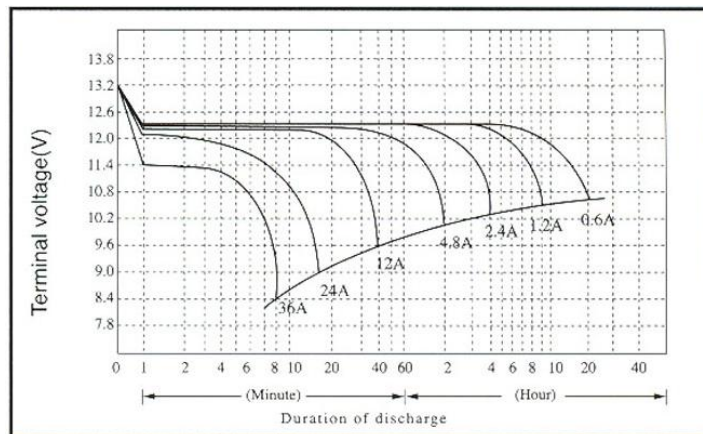
Capacidad 77°F (25°C)	Tasa de 20 hrs. (600mA)	12AH
	Tasa de 10 hrs. (1.1A)	11AH
	Tasa de 5 hrs. (2.04A)	10.2AH
	Tasa de 1 hr. (7.2A)	7.2AH
	Tasa de 15 min. (22.2A)	5.55AH
Resistencia Interna	Carga máxima de la batería 77°F (25°C)	15mΩ
Capacidad afectada por la temperatura (20 rango de hora)	104°F (40°C)	102%
	77°F (25°C)	100%
	32°F (0°C)	85%
	5°F (-15°C)	65%
Autodescarga 77°F (25°C)	Capacidad después de 3 meses de almacenaje	91%
	Capacidad después de 6 meses de almacenaje	82%
	Capacidad después de 12 meses de almacenaje	64%
Descarga Máxima de Corriente 77°F (25°C)	180A (5S)	
Terminal	Estándar	F1
	Opcional	F2
Carga (Voltaje Constante)	Ciclo	Carga de Corriente Inicial 2.4A o menor 14.5V ~ 14.9V/77°F (25°C)
	Flotante	13.6V ~ 13.8V/77°F (25°C)



Voltaje de corte V/Cel	5M	10M	15M	30M	40M	60M
1.75V	86.5	58.3	44.5	27.2	21.7	15.7
1.70V	88.2	59.5	45.4	27.7	22.2	16.0
1.67V	89.3	60.2	45.9	28.1	22.4	16.2
1.60V	91.3	61.5	46.9	28.7	22.9	16.6
1.50V	93.8	63.2	48.2	29.5	23.6	17.0

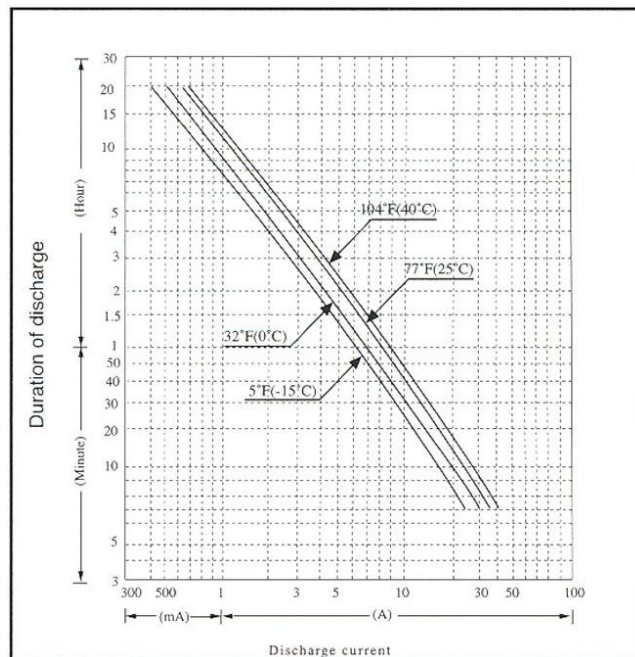
Tabla III.3.- Características de la Batería Ácido Plomo

En la Grafica III.4, muestra las características de Descarga 77°F (25°)



Grafica III.4.- Características de la Batería Ácido Plomo

En la Grafica III.5, muestra la duración de descarga contra corriente de descarga



Grafica III.5.- Duración de descarga de la Batería Ácido Plomo

III.6.4.- Pantalla de LED

La Pantalla de LED es la carga total que el sistema autónomo se va alimentar a 12 Volts, (Figura III.7).



Figura III.7.- Pantalla de LED.

En la Tabla III.4, muestra las Características del Señalamiento de LED.

Tamaño del señalamiento	50 x 10 cms
Tamaño de dígitos	5 x 7cms
Distancia de visión	30-50 mts
Voltaje	12 CD
Consumo	3.6 Watts

Tabla III.4.- Característica del Señalamiento de LED.

III.7.- SISTEMA AUTÓNOMO APLICADO A LA CIUDAD DE MÉXICO.

Los componentes Finales del señalamiento tipo isla, (Figura III.8).

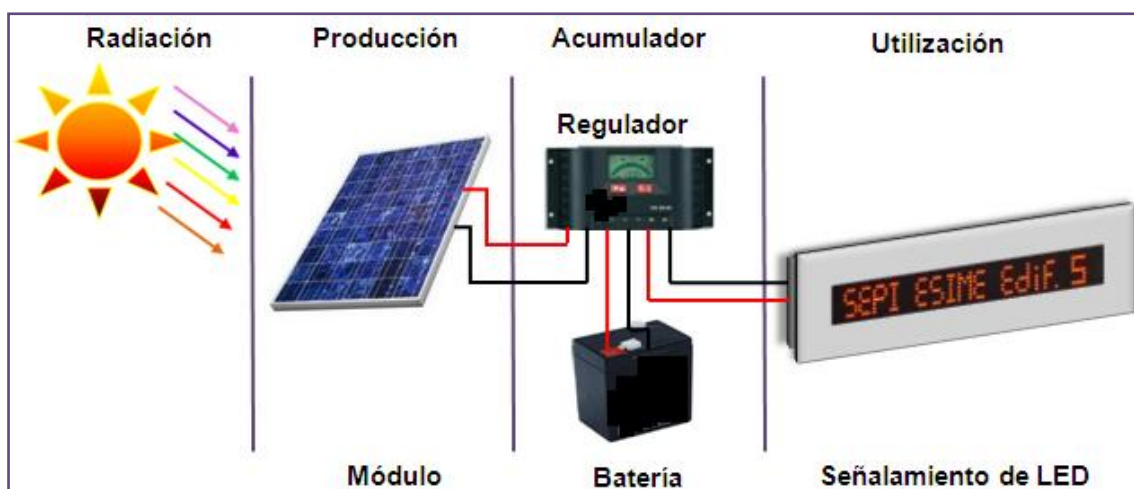


Figura III.8.- Sistema Fotovoltaico Tipo Isla.



CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y COSTOS

En este capítulo se presenta la prospectiva económica de la energía solar, los costos de la energía solar, los incentivos de los sistemas fotovoltaicos y los costos de Mano de Obra, Materia Prima, Costos Indirectos y el Costo Total del Señalmiento electrónico.



IV.1.- EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO

Actualmente los costos por kilowatt/hora con hidrocarburos son de 5 centavos de dólar y con energía solar es de 50 centavos de dólar. La inversión para sistemas fotovoltaicos se encuentra en el rango de 3,500 a 7,000 US\$/kW instalado y de 0.25 a 0.5 dólares por kWh generado. Para los sistemas fototérmicos (“concentradores”) los costos se estiman en un rango de 2,000 a 4,000 dólares por kW y de 10 a 25 centavos de dólar por kWh. El costo de inversión para los colectores solares planos es de 242 Dólares/m² instalado.

Los Generadores Fotovoltaicos (GFV's) han sido identificados como una tecnología de rápido crecimiento con un potencial de aplicación alto. Por ser modular, puede ser usada en muchas aplicaciones. El mayor obstáculo para su uso en gran escala es el alto costo de inversión inicial ya que, con precios al público para la tecnología que pueden fluctuar desde US\$4.90 a US\$7.00 por W-pico [27] y hasta US\$14.00 por W-pico instalado, con sistemas típicos de 1.0 kW-pico para una generación promedio diaria de 4.0 kW-h [27]. El precio promedio internacional más bajo para módulos mayores de 100 W-pico es de US\$4.26/W-pico para la tecnología de silicio Monocristalino, US\$4.19 para módulos de silicio Policristalino, y US\$3.59 para módulos de película delgada [28].

IV.2.- PROSPECTIVA ECONÓMICA DE LOS GENERADORES FOTOVOLTAICOS

Al evaluar el costo de la electricidad producida por los GFV's mediante modelos económicos en función del tiempo de vida útil de la tecnología, se puede determinar que éste se encuentra entre US\$0.50 hasta US\$2.00 por kW-hr para diferentes tamaños y configuraciones de sistemas y localidades, que al compararse con el costo de la electricidad convencional, resulta ser de 5 a 10 veces más cara. Como resultado, el uso de los GFV's ha estado limitado principalmente a aplicaciones en las que el costo de introducción de la red eléctrica convencional y del consumo de la electricidad es alto, o bien, donde es necesario un generador limpio, silencioso y confiable. Este es el caso de áreas remotas (electrificación rural, telecomunicaciones, bombeo de agua, señalización, etc.) o para amortiguar los picos de consumo altos en fábricas o edificios.

Sin considerar el costo inicial de inversión, la popularidad de la tecnología fotovoltaica se basa en su fácil uso, confiabilidad, relativo bajo mantenimiento y la disponibilidad del recurso solar. Debido a que son modulares, los sistemas fotovoltaicos pueden ser



dimensionados para satisfacer las necesidades exactas de energía del usuario, disminuyendo el costo global del sistema e incrementando el rendimiento del mismo. Conforme aumentan las necesidades energéticas del usuario, el tamaño del sistema (potencia) se puede incrementar.

Otro factor que hacen atractivos a los GFV's desde el punto de vista energético y ambiental es el corto tiempo en que dichos generadores retornan la energía usada para fabricarlos, conocido comúnmente como tiempo de retorno energético EPBT (por sus siglas en inglés: Energy PayBack Time). Asumiendo un periodo de 30 años de desempeño a un 80% de la potencia especificada, la tasa de retorno energético no es mayor de 3 años, aún así para la tecnología que demanda más energía como lo es las celdas de silicio monocristalino; es decir, la energía requerida para producir el sistema no excede al 10% de la energía total generada por el mismo durante su tiempo de vida de operación.

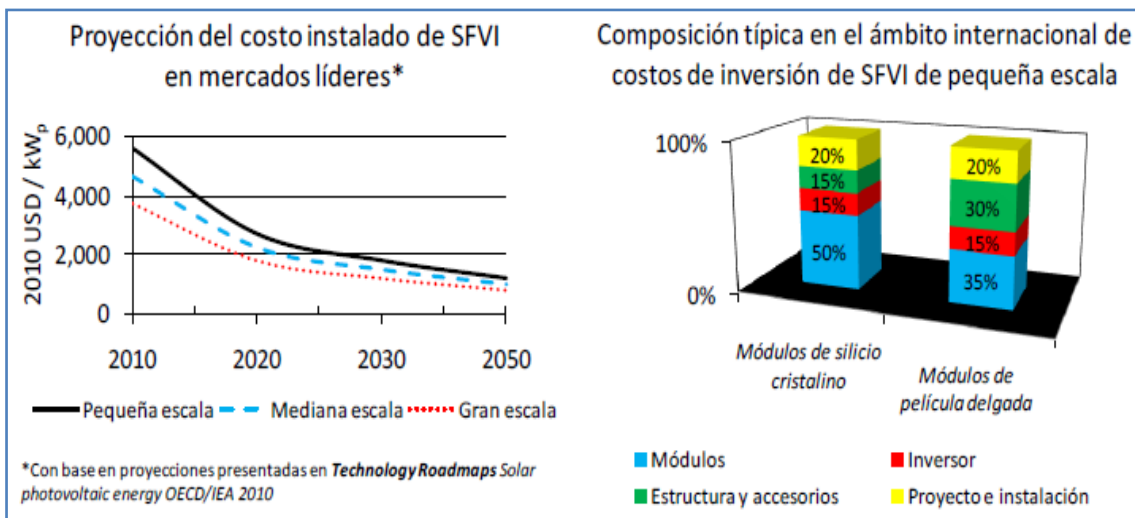
Se espera que el mercado de los generadores fotovoltaicos se expanda rápidamente cuando la electricidad generada pueda ser colocada, en la red pública, a costos que sean comparables con los costos de generación de electricidad por medio de combustibles fósiles (entre US\$0.08 y US\$0.10 por kW-hr para aplicación residencial; entre US\$0.05 y US\$0.07 por kW-hr para venta en el servicio público). Este punto puede alcanzarse a mediano plazo con la tecnología del silicio cristalino solo si la demanda del mercado se incrementa en un 35%, [29] trayendo como consecuencia una reducción de los costos de fabricación de los sistemas fotovoltaicos; o bien, con nuevas tecnologías emergentes de semiconductores de película delgada.

IV.3.- CONCEPTOS DE COSTOS DE LA ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO

Existen dos conceptos de costo que se deben tomar en cuenta al considerar la adquisición de un sistema FV, (Gráfica IV.1) [30]. El **costo de inversión** y el **costo de energía**. El **costo de inversión** de un sistema fotovoltaico depende de diversos factores como son:

- La capacidad del sistema
- La preparación y ejecución del proyecto; lo que incluye el diseño, instalación, interconexión y puesta en marcha del sistema.

- Las características tecnológicas y económicas de los componentes, principalmente de los módulos y el inversor. Se debe resaltar que en promedio el costo de los módulos ha venido declinando consistentemente y se espera que en los próximos años esta tendencia continúe.
- Si el sistema se montará sobre el techo o a nivel del piso, o bien, si será un elemento integral de techos y fachadas.



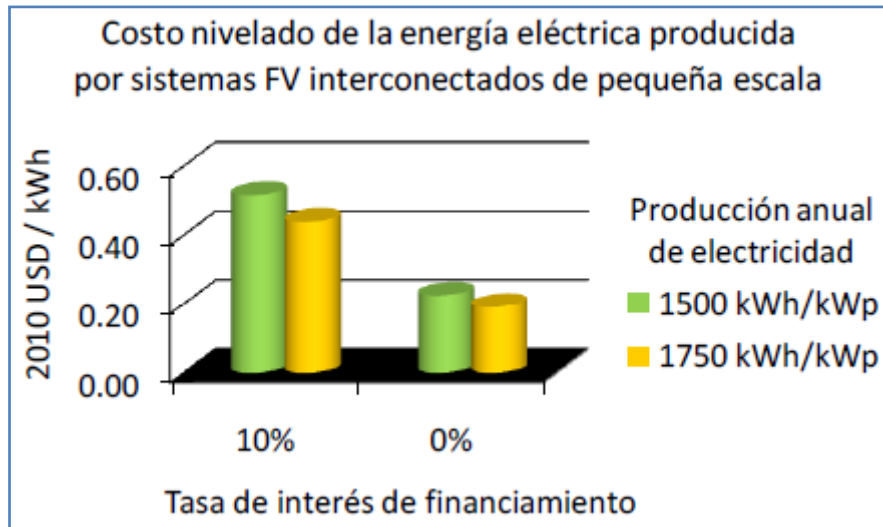
Gráfica IV.1.- Consideración de costos de un sistema Fotovoltaico [30].

El **costo de energía** se refiere al costo por kilowatt-hora de electricidad producido por el sistema FV. En el ámbito técnico se denomina costo nivelado de energía y se puede comparar directamente contra el precio de electricidad de la red. En su determinación intervienen los siguientes factores:

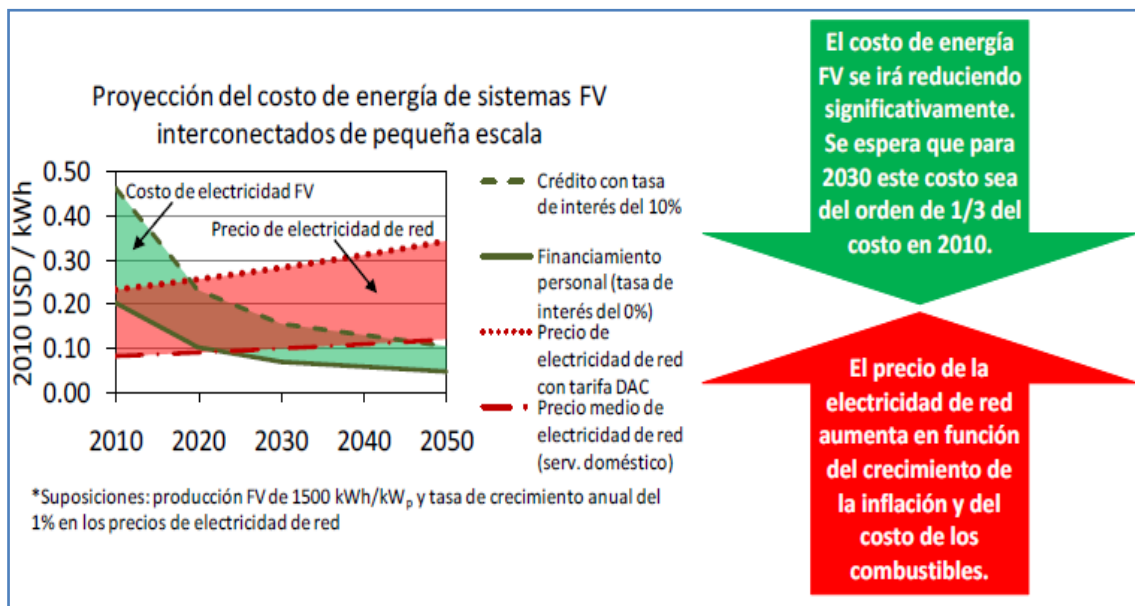
- El monto de la inversión
- La eficiencia con la cual se estará efectuando la conversión de energía, de solar a eléctrica.
- La localidad donde se instalará el sistema. Éste es un aspecto muy importante ya que el sitio específico depende de la disponibilidad de energía solar aprovechable.
- La afectación por sombreados
- La vida útil del sistema

En las siguientes gráficas (Gráfica IV.2 y Gráfica IV.3) [30]. Se presentan el costo de energía. En primera instancia se muestra el costo nivelado FV con dos condiciones de

financiamiento y a diferentes niveles de producción. La segunda gráfica muestra proyecciones a largo plazo de la energía FV y del precio de electricidad de red.



Grafica IV.2.- Costo nivelado de la energía por sistemas FV [30].



Grafica IV.3.- Proyección del costo de energía por sistemas FV [30].

Actualmente en México existen 3 tipos de incentivos para la realización de proyectos de Sistemas Fotovoltaicos Interconectados, medición neta y depreciación acelerada y apoyo financiero.

- Medición Neta
- Depreciación Acelerada
- Apoyo Financiero

IV.3.1.- Medición Neta

El Programa Sectorial de Energía 2007-2012, definió como lineamiento de política el establecimiento de mecanismos que permitan el funcionamiento de sistemas de medición neta, entre la red eléctrica y los usuarios que opten por tener capacidad de generación con energía renovable en sus hogares y pequeñas empresas. Esta directriz se concretó en junio de 2007, con la publicación del modelo del contrato de interconexión para fuente de energía solar en pequeña escala y que en 2010, se ha sustituido por el contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala, (Figura IV.1) [30].

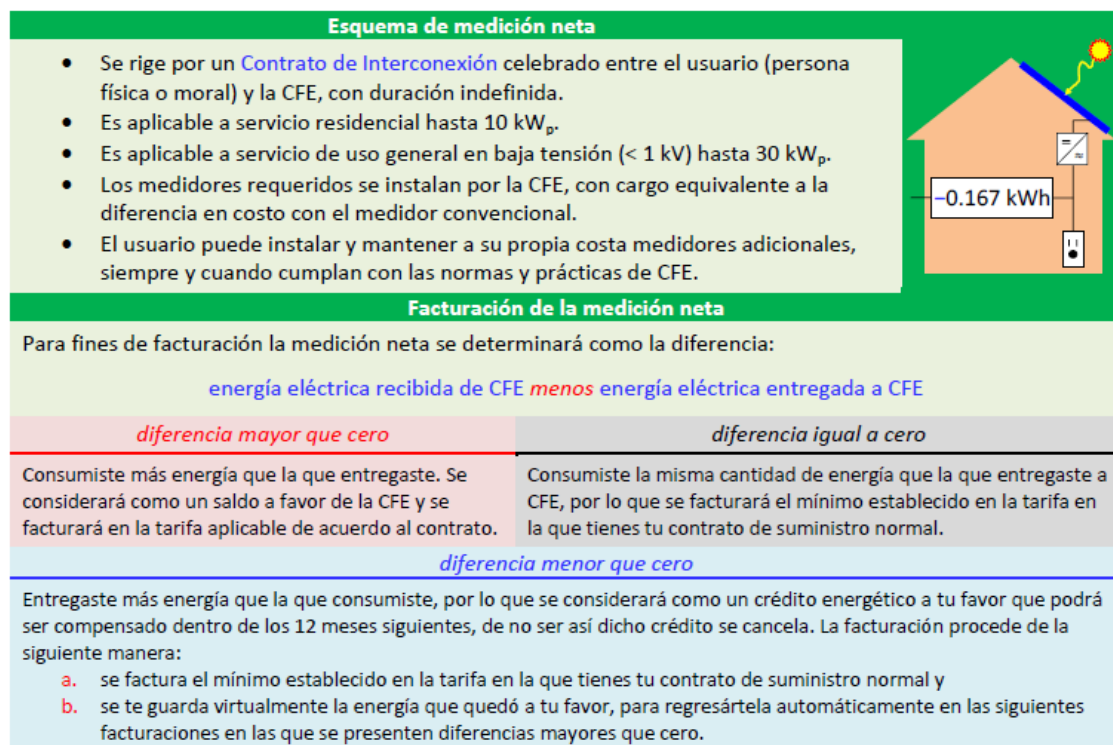


Figura IV.1.- Esquema de Medición y Facturación Medición Neta [30].

IV.3.2.- Depreciación Acelerada

La depreciación acelerada es un beneficio fiscal que se otorga solo a persona morales para la inversión en proyectos de energía renovable y se encuentra establecida en el Artículo 40 de la Ley del Impuesto sobre la Renta (LISR) desde el 2005 (Figura IV.2) [30]. Usualmente este mecanismo fiscal es aplicable a proyectos comerciales y sus características principales son las siguientes:

- Impulsa el uso de energías provenientes de fuentes renovables.
- Prevé la depreciación acelerada hasta por el 100% durante el primer año, de la maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables.
- Se sujeta a una operación mínima de 5 años. Ésta es una condición para asegurar el cumplimiento del propósito de generación limpia.

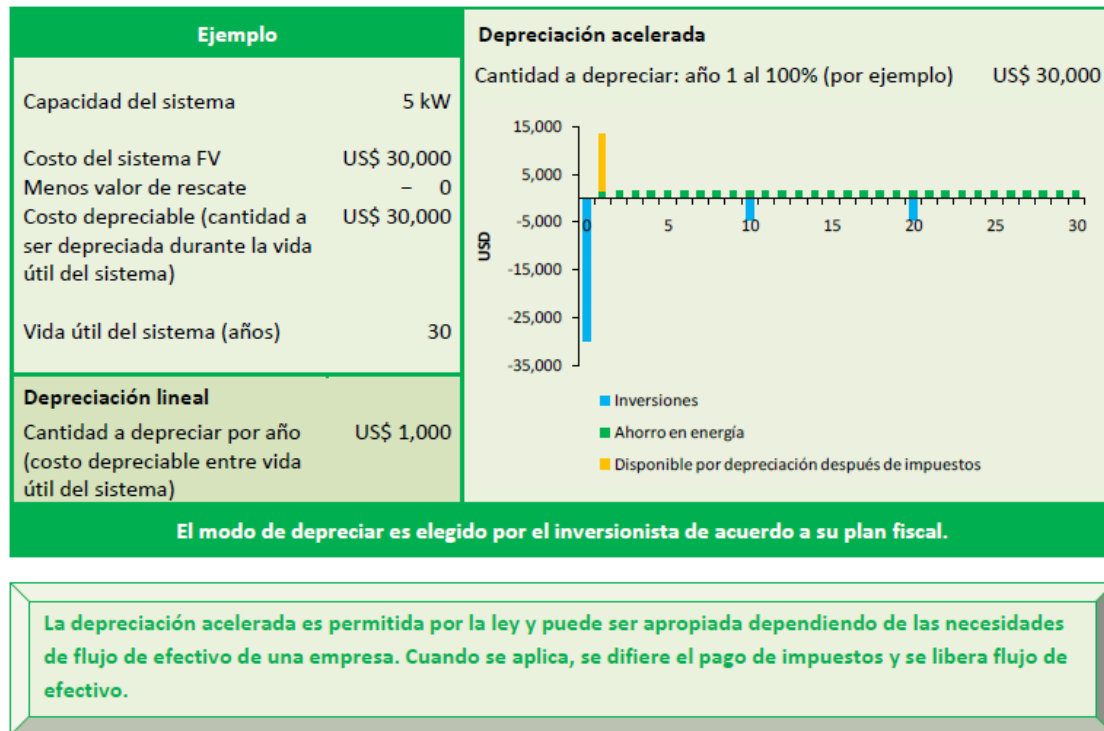


Figura IV.2.- Esquema de Depreciación Acelerada [30].

IV.3.3.- Apoyo Financiero

El fidecomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) financia la utilización de fuentes de energía renovable para generación eléctrica, (Figura IV.3) [30]. Lo que incluye a los sistemas fotovoltaicos conectados a red, con capacidad de hasta por 500kW. Este apoyo financiero para la inversión tiene las siguientes características:

- Monto de financiamiento 100% del proyecto
- Interés Tasa de la banca por debajo de la banca comercial.
Se causan intereses sobre saldos insolutos.
- Plazo Hasta por 20 pagos trimestrales fijo (5 años).
- Sujeto de financiamiento Persona Morales

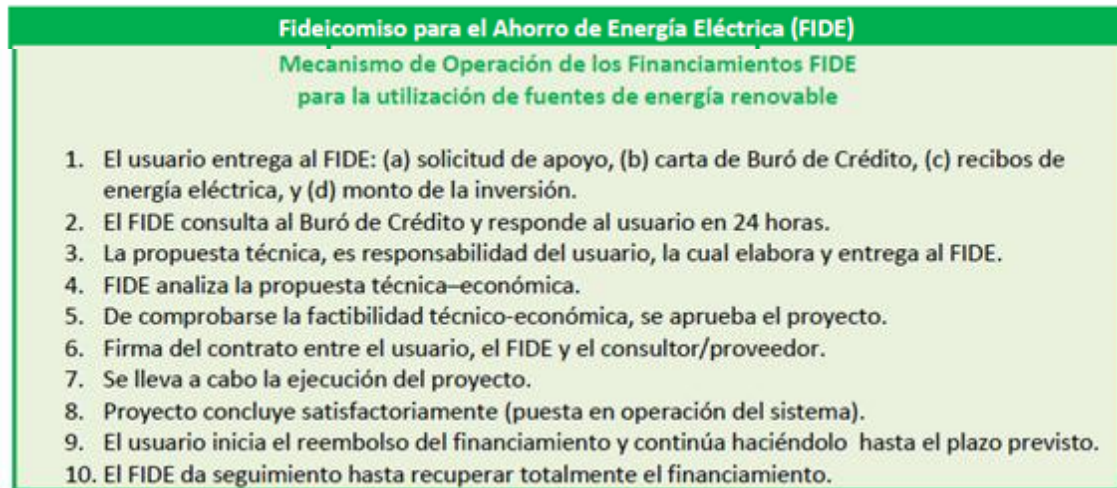


Figura IV.3.- Esquema FIDE [30].

IV.3.4.- Rentabilidad

Bajo el esquema actual de medición neta que actualmente existe en México, un Sistema Fotovoltaico para un usuario domestico es rentable dependiendo el consumo eléctrico que se tenga, de la tarifa apreciable, del costo del sistema, del recurso solar disponible y del plan financiero. Un aspecto que favorece la rentabilidad es cuando el consumo mensual promedio del usuario (promedio móvil del consumo durante los últimos 12 meses), supera el límite de alto consumo establecido por la CFE para la localidad (Tabla IV.1) [30].

Límites de alto consumo de la CFE		
Tarifa	kWh / mes	kWh / bimestre
Tarifa 1	250	500
Tarifa 1A	300	600
Tarifa 1B	400	800
Tarifa 1C	850	1,700
Tarifa 1D	1,000	2,000
Tarifa 1E	2,000	4,000
Tarifa 1F	2,500	5,000

Tarifas específicas 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E y 1F (Año 2010)		Véase http://www.cfe.gob.mx
1	Servicio doméstico	
1A	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 25 grados centígrados.	
1B	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 28 grados centígrados.	
1C	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 30 grados centígrados.	
1D	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 31 grados centígrados.	
1E	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 32 grados centígrados.	
1F	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 33 grados centígrados.	

Tabla IV.1.- Tarifas de consumo establecidos por CFE [30].



Las tarifas aplicables para consumos domésticos superiores al límite de alto consumo (LAC) se denominan 'domesticas de alto consumo' (tarifas DAC). Cuando el Usuario mantenga un consumo mensual promedio inferior al LAC fijado para su localidad, la CFE aplicará la tarifa de servicio doméstico correspondiente. La CFE establece esta tarifa para uso exclusivamente doméstico y es aplicable individualmente a cada residencia, apartamento en condominio ó vivienda.

IV.4.- COSTOS

Una parte fundamental de todo producto ó servicio es la parte del costo porque esto determina que tan rentable es, otro factor importante es ver el producto no solo desde el punto de vista técnico si no también desde el punto de vista del mercado y las necesidades que este demande.

El costo es el gasto económico que representa la fabricación de un producto o la prestación de un servicio. Al determinar el costo de producción, se puede establecer el precio de venta.

El costo de un producto (CP) está formada por la Mano de Obra (MO), Materia Prima (MP), Costos Indirectos (CI) y el porcentaje de Utilidad

$$\text{Costo del Producto} = \text{MO} + \text{MP} + \text{CI} \times \% \text{ de Utilidad}$$

IV.4.1.- CLASIFICACIÓN DE COSTOS

Es necesario clasificar los costos de acuerdo a categorías o grupos, de manera tal que posean ciertas características comunes para poder realizar los cálculos.

Clasificación según la Función que cumplen

A) Costo de Producción

Son los que permiten obtener determinados bienes a partir de otros, mediante el empleo de un proceso de transformación. Por ejemplo:

- Costo de la materia prima y materiales que intervienen en el proceso productivo
- Sueldos y cargas sociales del personal de producción.
- Depreciaciones del equipo productivo.



- Costo de los Servicios Públicos que intervienen en el proceso productivo.
- Costo de envases y embalajes.
- Costos de almacenamiento, depósito y expedición.

B) Costo de Comercialización

Es el costo que posibilita el proceso de venta de los bienes o servicios a los clientes.

Por ejemplo

- Sueldos y cargas sociales del personal del área comercial.
- Comisiones sobre ventas.
- Fletes, hasta el lugar de destino de la mercadería.
- Seguros por el transporte de mercadería.
- Promoción y Publicidad.
- Servicios técnicos y garantías de post-ventas.

C) Costo de Administración

Son aquellos costos necesarios para la gestión del negocio. Por ejemplo:

- Sueldos y cargas sociales del personal del área administrativa y general de la empresa.
- Honorarios pagados por servicios profesionales.
- Servicios Públicos correspondientes al área administrativa.
- Alquiler de oficina.
- Papelería e insumos propios de la administración

D) Costo de financiación

Es el correspondiente a la obtención de fondos aplicados al negocio. Por ejemplo:

- Intereses pagados por préstamos.
- Comisiones y otros gastos bancarios.
- Impuestos derivados de las transacciones financieras.

Clasificación según su grado de variabilidad

Esta clasificación es importante para la realización de estudios de planificación y control de operaciones. Está vinculado con las variaciones o no de los costos, según los niveles de actividad.

**A) Costos Fijos**

Son aquellos costos cuyo importe permanece constante, independiente del nivel de actividad de la empresa. Se pueden identificar y llamar como costos de "mantener la empresa abierta", de manera tal que se realice o no la producción, se venda o no la mercadería o servicio, dichos costos igual deben ser solventados por la empresa. Por ejemplo:

- Alquileres
- Amortizaciones o depreciaciones
- Seguros
- Impuestos fijos
- Servicios Públicos (Luz, TE., Gas, etc.)
- Sueldo y cargas sociales de encargados, supervisores, gerentes, etc.

B) Costos Variables

Son aquellos costos que varían en forma proporcional, de acuerdo al nivel de producción o actividad de la empresa. Son los costos por "producir" o "vender". Por ejemplo:

- Mano de obra directa (a destajo, por producción o por tanto).
- Materias Primas directas.
- Materiales e Insumos directos.
- Impuestos específicos.
- Envases, Embalajes y etiquetas.
- Comisiones sobre ventas.

Clasificación según su asignación**A) Costos Directos**

Son aquellos costos que se asigna directamente a una unidad de producción. Por lo general se asimilan a los costos variables.

B) Costos Indirectos

Son aquellos que no se pueden asignar directamente a un producto o servicio, sino que se distribuyen entre las diversas unidades productivas mediante algún criterio de reparto. En la mayoría de los casos los costos indirectos son costos fijos.



Clasificación según su comportamiento

A) Costo Variable Unitario

Es el costo que se asigna directamente a cada unidad de producto. Comprende la unidad de cada materia prima o materiales utilizados para fabricar una unidad de producto terminado, así como la unidad de mano de obra directa, la unidad de envases y embalajes, la unidad de comisión por ventas, etc.

B) Costo Variable Total

Es el costo que resulta de multiplicar el costo variable unitario por la cantidad de productos fabricados o servicios vendidos en un período determinado; sea éste mensual, anual o cualquier otra periodicidad.

IV.5.- COSTOS DEL SEÑALAMIENTO ELECTRÓNICO

Para efectuar el costo de dicho señalamiento se considera las formula que menciono anteriormente para el costo del producto (CP) que está formada por la Mano de Obra (MO), Materia Prima (MP), Costos Indirectos (CI) y el porcentaje de Utilidad.

De acuerdo a la vigencia de lo establecido por la Comisión Nacional de los Salarios Mínimo mediante la resolución publicada en el Diario Oficial de la Federación del 23 de Diciembre del 2010. Da vigencia a partir del 1 de enero de 2011 que los salarios mínimos para las 3 aéreas Geográficas A, B y C (Tabla IV.2).

Área Geográfica	Pesos
"A"	\$59.82
"B"	\$58.13
"C"	\$56.70

Tabla IV.2.- Salarios mínimos según zona geográfica.

Considerando que el diseñador trabajo en el área geográfica de la zona A ubicada en la ciudad de México, obteniendo 3 salarios mínimos diarios por \$59.82 dando un total de \$179.46 pesos por día, se hizo por un importe semestral de 183 días (Tabla IV.3).



MANO DE OBRA				
CONCEPTO	DÍAS	%	DIARIO	IMPORTE SEMESTRAL
Sueldo Base	3		179.46	32841.18
Aguinaldo	20			0
Prima Vacaciones	12			0
Suma				32841.18
Días Laborables				183
Jornada Laboral (horas)			7.5	1372.5
Costo por hora salario base				0
Cuotas IMSS Patronales		22%		0
Infonavit		5%		0
SAR		4%		0
Impacto sobre Nominas		2%		0
Despensa		20%		0
Costo total por hora				23.92
Costo total por 100 horas				2392

Tabla IV.3.- Mano de Obra efectuada en el Diseño.

Es importante señalar que el Diseñador no recibió, Cuotas IMSS Patronales, Infonavit, SAR, Impacto sobre Nominas, Despensa, por no ser un trabajador del Instituto, solo los 3 salarios mínimos para zona geográfica A.

En la siguiente (Tabla IV.4) se muestra el costo total de la materia prima que utiliza el señalamiento de LED, los precios ya incluyen el IVA.

MATERIA PRIMA DEL SEÑALAMIENTO ELECTRÓNICO DE LED ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR				
Código	Concepto	Cantidad utilizada	Concepto Por unidad	Importe Pesos
MBPC-2011-1	Panel solar	1	735	735
MBPC-2011-2	Controlador	1	720	720
MBPC-2011-3	Batería	1	670	670
MBPC-2011-4	Cable Calibre 16	6	3.4	20.4
MBPC-2011-5	Gabinete	1	550	550
MBPC-2011-6	Tornillo y Tuerca Hexagonal 1/8 - 1/2"	10	0.7	7
MBPC-2011-7	Matriz de LED 5x7	17	40.7	691.9
MBPC-2011-8	Soldadura Estaño Plomo 60/40	1	23	23
MBPC-2011-9	Placa Fenolica	5	17	85
MBPC-2011-10	Acrílico	1	50	50
MBPC-2011-11	Marco de Aluminio	1	73	73



MBPC-2011-12	Material de soporte	1	35	35
MBPC-2011-13	Empalme para Cable	6	0.8	4.8
MBPC-2011-14	Tornillo avellanado y Tuerca 1/8"- 1	10	1	10
MBPC-2011-15	Circuito Integrado CMOS	8	10	80
MBPC-2011-16	Capacitor cerámico	1	3	3
MBPC-2011-17	Resistencia	5	4	20
MBPC-2011-18	Terminal tipo U	2	3	6
MBPC-2011-19	Terminal tipo Faston	2	4	8
MBPC-2011-20	Terminal de Ojillo	2	4	8
MBPC-2011-21	Cloruro Férrico	1	25	25
MBPC-2011-22	Regulador de voltaje	2	8.5	17
			TOTAL	3842.1

Tabla IV.4.- Materia Prima efectuada en el Diseño.

En la (Tabla IV.5) se muestra el costo total de los costos indirectos de Fabricación incluyendo todo aquello que está relacionado indirectamente con la elaboración del Señalamiento. Energía eléctrica agua, materiales de aseo, insumos de producción (Gorros, Delantales, Mascarillas, Canastas Plásticas, Artículos de Limpieza, Utensilios Limpieza, Basureros, Bandejas, Caja Herramientas, etc.) Mano de Obra Indirecta y mantenimiento del equipo.

COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN		
Equipo	% Producción	Gasto Total en pesos
Energía Eléctrica	50	800
Agua	5	90
Materiales de Aseo	5	80
Insumos de Producción	30	450
Mano Obra Indirecta	5	150
Mantenimiento del Equipo	5	120
Total	100	\$ 1690

Tabla IV.5.- Costos Indirectos efectuados en el Diseño.



IV.6.- COSTO TOTAL DEL SEÑALAMIENTO ELECTRÓNICO

Una vez obteniendo los costos totales del señalamiento electrónico podemos determinar el Costo total del señalamiento (Tabla IV.6), el costo total de producción del Señalamiento, que es igual a la suma de los costos de mano de obra directa multiplicándolo cada hora de trabajo \$23.92 por 100 horas nos da un total de **\$2392 pesos**. (Tabla IV.3), materia prima (Tabla IV.4) y gastos indirectos de fabricación. (Tabla IV.5).

Costo Total del Señalamiento Electrónico	
Mano de Obra	\$2392
Materia Prima	\$3842.1
Costos Indirectos de Fabricación	\$1690
Total del costo sin % de Utilidad	\$7,924.1
Considerando un margen de utilidad del 100%	7,924.1 x 100% Utilidad
Total del Costo	15848.2

Tabla IV.6.- Costo Total del Diseño.

El Costo Total del prototipo involucra el costo de diseño, dimensionamiento del sistema, la programación de las matrices de LED y el ensamble del señalamiento electrónico.



En este capítulo se muestran los diagramas de rendimiento del Sistema Autónomo, los valores de corriente los estados de carga de la Batería, Los voltajes Máximos y Mínimos, para demostrar el adecuado rendimiento del sistema.



V.1.- PRUEBA Y RESULTADOS DEL SISTEMA AUTONOMO

Para hacer el monitoreo del Sistema Autónomo se tuvo que desarrollar una interface de comunicación con el controlador y la computadora, por medio de USB y RJ45. El software utilizado es CXCOM.

La importancia del Datalogger es que comprueba los rendimientos desde el primer día de su operación del sistema, además de que ayuda a conocer el rendimiento del sistema en los días nublado y así saber el estado de porcentaje en que se encuentra la batería para evitar una posible sulfatación, ya que en los sistemas autónomos se debe de proteger la batería hasta su mayor periodo de ciclos de carga y descarga. Debido a que es el componente de menor vida útil del Sistema.

Los datos obtenidos son de condiciones climatológicas y de irradiación de la ciudad de México, en la (Figura V.1) se muestra el rendimiento del sistema.



Figura V.1.- Rendimiento del Sistema.



En la (Figura V.2) se muestran los valores de corriente de la Batería y la corriente nominal del Sistema Autónomo.

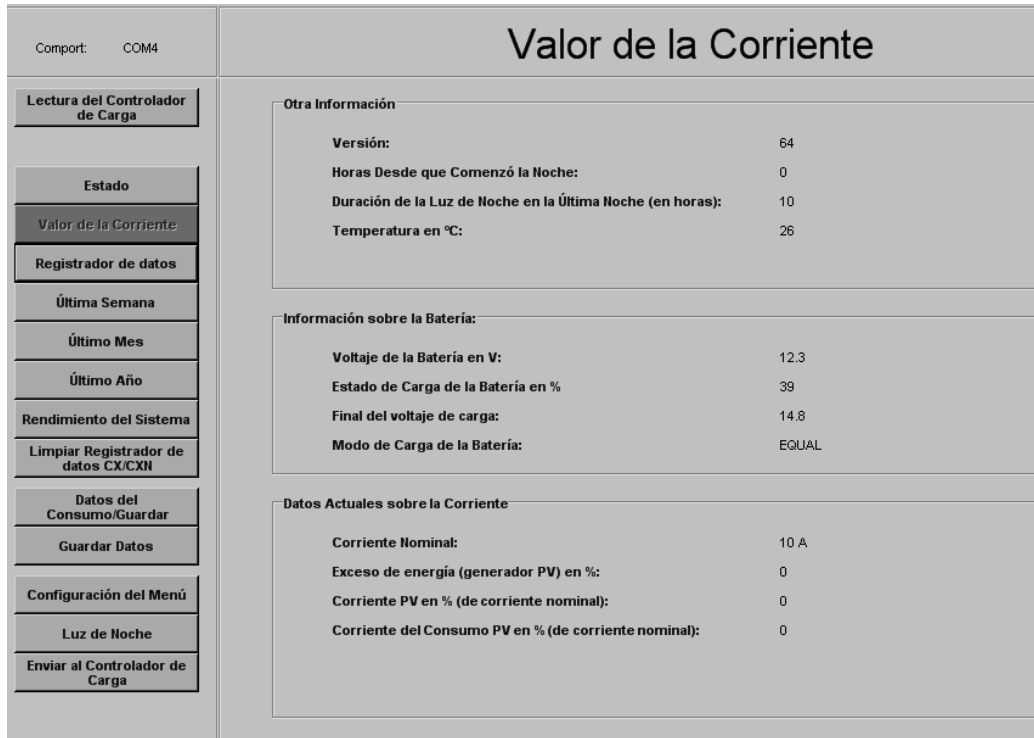
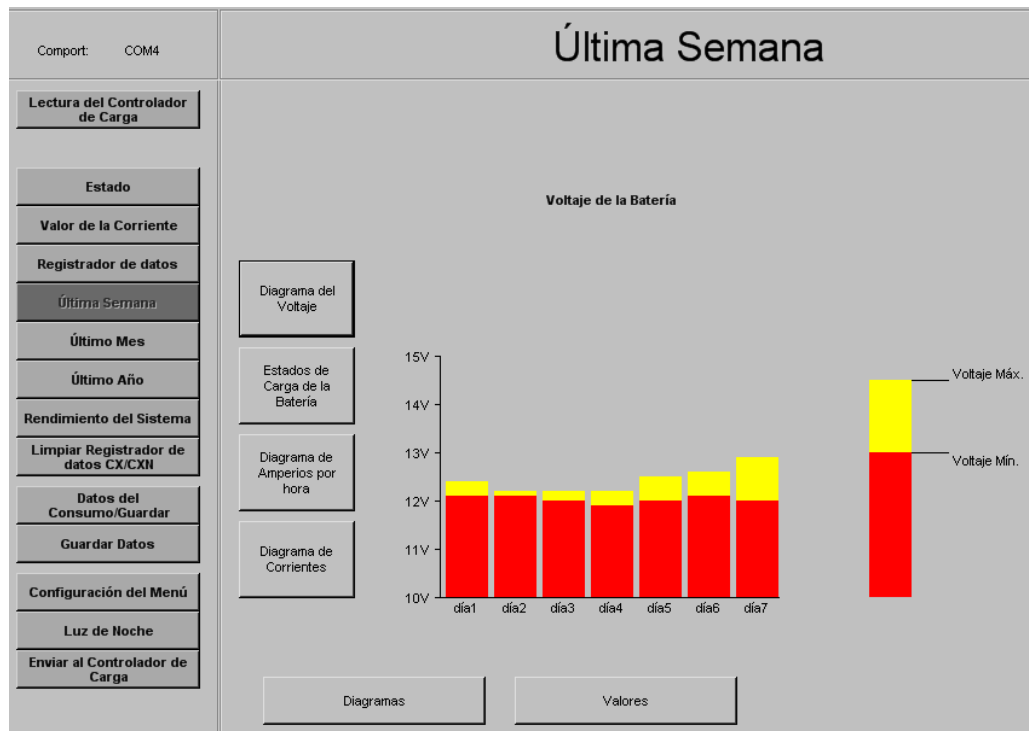


Figura V.2.- Valores de Corriente del sistema.

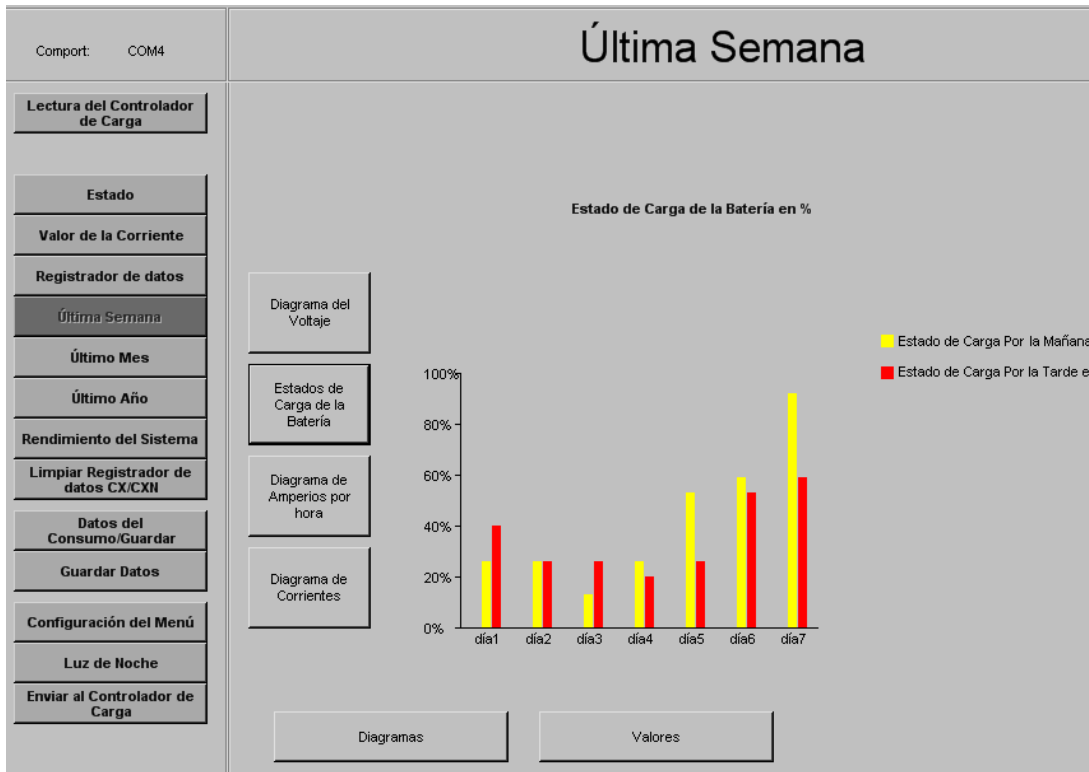
En la (Gráfica V.1) se muestran los valores de Voltaje Máximo y Mínimos del Sistema Autónomo.



Gráfica V.1.- Comportamiento de Voltaje Máximo y Mínimo del sistema.

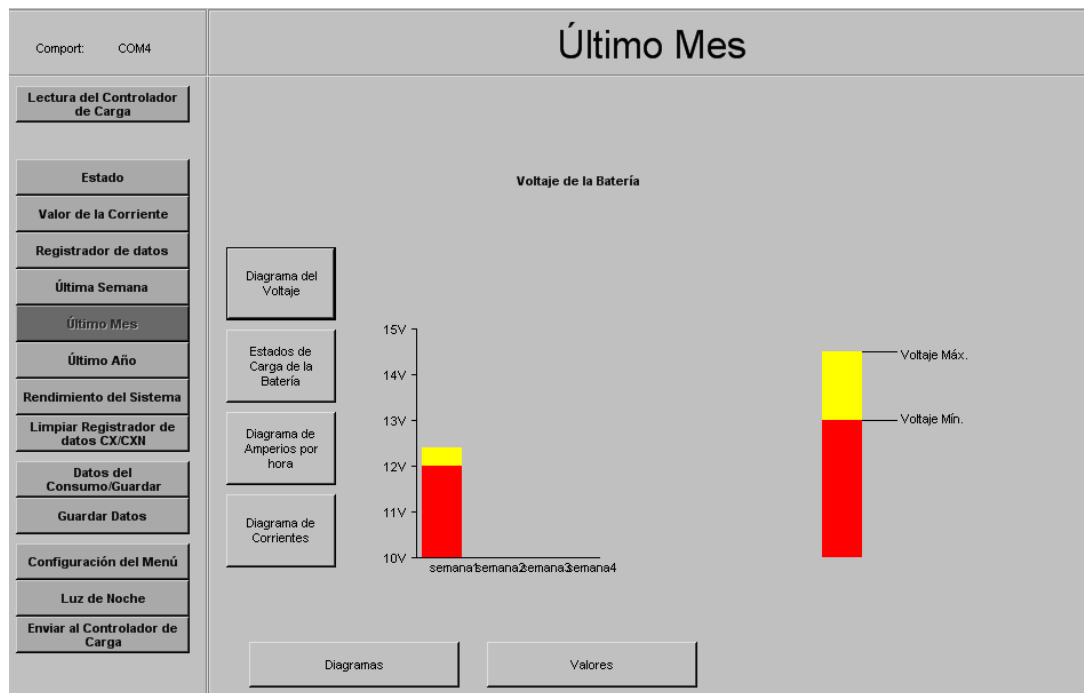


En la (Grafica V.2) se muestran los Estados de carga del Sistema Autónomo.



Gráfica V.2.- Estado de carga de la Batería del sistema.

En la (Grafica V.3) se muestran los valores de Voltaje de la primera semana del Sistema Autónomo.



Gráfica V.3.- Valores de Voltaje de la primera semana.



En la (Grafica V.4) se muestran los valores de comportamiento del Sistema Autónomo.

Comport: COM4		Última Semana							
Lectura del Controlador de Carga		Día 1 es el último:							
Estado		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	
Valor de la Corriente									
Registrador de datos									
Última Semana									
Último Mes									
Último Año									
Rendimiento del Sistema									
Limpia Registrador de datos CX/CXII									
Datos del Consumo/Guardar									
Guardar Datos									
Configuración del Menú									
Luz de Noche									
Enviar al Controlador de Carga									
		Voltaje Máx. de la Batería	12.4	12.2	12.2	12.2	12.5	12.6	12.9
		Voltaje Mín. de la Batería	12.1	12.1	12.0	11.9	12.0	12.1	12.0
		Estado de Carga de la Batería Mañana(%)	26	26	13	26	53	59	92
		Estado de Carga de la Batería Tarde(%)	40	26	26	20	26	53	59
		Amperios por hora PV	0	0	0	0	0	0	0
		Amperios por hora de Consumo	0	0	0	0	0	0	1
		Exceso de Amperios por hora PV	0	0	0	0	0	0	0
		Máx. Corriente PV en %(Cor. Nom de %)	1.8	0	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
		Máx. Corriente Consumo(Cor. Nom de %)	0	0	0	0	3.6	7.1	21.4
		Batería Completamente Cargada							
		Desconexiones de la Batería							
		Sobrecorriente PV							
		Sobrecorriente del Consumo							
		Sobrevoltaje de la Batería							
		Sobretemperatura PV							
		Sobretemperatura del Consumo							

Gráfica V.4.- Valores de comportamiento del sistema

En la (Figura V.3) se muestran los valores de Rendimiento del Sistema Autónomo.

Comport: COM4		Rendimiento del Sistema	
Lectura del Controlador de Carga		<p>Generador PV</p> <p>Puede el generador PV respaldar siempre el sistema o se da a veces pérdida de energía?</p> <p> Alta reserva de energía PV</p> <p>El uso de energía PV es menor al 30%</p>	
Estado		<p>Batería</p> <p>Podra manejarse la batería de manera que se garantice una larga duración?</p> <p> No hay riesgo de sulfatación</p> <p>El uso de la batería es correcto</p>	
Valor de la Corriente		<p>Seguridad del Abastecimiento</p> <p>És el almacenamiento de energía (de la batería) lo bastante grande como para tener un buena seguridad de abastecimiento?</p> <p> Promedio del estado de carga de la batería: mayor al 85% La seguridad de abastecimiento del sistema es muy buena.</p>	
Registrador de datos			
Última Semana			
Último Mes			
Último Año			
Rendimiento del Sistema			
Limpia Registrador de datos CX/CXII			
Datos del Consumo/Guardar			
Guardar Datos			
Configuración del Menú			
Luz de Noche			
Enviar al Controlador de Carga			
		Datos de Promedio	

Figura V.3.- Valores de Rendimiento del Sistema.



CONCLUSIONES

- Los sistemas autónomos pueden ser de gran aplicación para México y los países Latinoamericanos debido a la gran cantidad de irradiación que estos reciben, los Países del Norte de América y de Europa, tienen una estación de invierno muy prolongada, por lo que actualmente no existe la tecnología Fotovoltaica, para generar la producción de energía en esos índices de irradiación, que dan los periodos de invierno y esto repercute en la carga de la Batería, que es el componente fundamental de almacenamiento para alimentar la carga del sistema.
- En el presente trabajo se realizó el cien por ciento del señalamiento electrónico y el dimensionamiento del sistema, determinando que para tener un buen rendimiento del sistema la producción de los módulos fotovoltaicos debe de estar por encima de la carga a suministrar. Considerando en los Paneles Fotovoltaicos el factor del Seguidor del Punto de Máxima Potencia ó Maximun Power Point Tracker (MPPT) y que en las Baterías de Ácido Plomo no se tengan ciclos de descarga a menos del 40% para conservar su memoria de recuperación.
- La aplicación de este tipo de señalamientos en vialidades o áreas urbanas de ciudades o Municipios pueden ser de gran aplicación para cubrir necesidades de información basadas en la aplicación tecnológica.
- El desarrollo tecnológico y la innovación tecnológica son de suma importancia para nuestro país y Latinoamérica, porque nos ayuda a cortar brechas tecnológicas con los países desarrollados y no solamente depender estos países en materia tecnológica, más bien crear nuestras propias soluciones de nuestros sectores energéticos en desarrollo.



RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

- Realizar el Diseño Estructural e Industrial del Señalamiento para ser instalado en cualquier vialidad o zona urbana de la ciudad de México.
- Programar las matrices con mensajes dinámicos y que estos mensajes pueden ser comunicados a través de una señal infrarroja, Ethernet o Wifi.
- Hacer un estudio de mercado, para ver el señalamiento no solo desde el punto de vista técnico e identificar la necesidad que llega a cubrir.
- Una vez teniendo el Diseño Estructural del señalamiento, sería necesario realizar una hoja de proceso para identificar proveedores, tiempos y costos para realizar una producción en serie.



GLOSARIO

Símbolos Matemáticos

[] Matriz rectangular o cuadrada

 \int Integral

Simbología

 λ = Longitud de onda k = Constante de Boltzman. η = Eficiencia. q = Carga del electrón.

Constantes y Equivalencias

Constante	Símbolo	Valor	SI	CGS
Carga del electrón	q	1.60218	10^{-19} C	4.8×10^{-10}
Electrón-Volt	eV	1.60218	10^{-19} J	4.8×10^{-10} erg
Velocidad de la luz en el vacío	c	2.997925	10^8 m/s	10^{10} cm/s
	h	6.62609	10^{-34} J s	10^{-27} erg s
Constante de Planck	$\hbar = \frac{h}{2\pi}$	1.05458	10^{-34} J s	10^{-27} erg s
Número de Avogadro	N_A	6.02205	10^{23} partículas/mol	-
Masa en reposo del electrón	m_0	9.10954	10^{-31} kg	10^{-28} g
Masa en reposo del protón	m_p	1.67261	10^{-27} kg	10^{-24} g
Radio de Bohr	a_0	5.29177	10^{-11} m	10^{-9} cm
Constante de Boltzmann	k	1.38066	10^{-23} J/K	10^{-16} erg/K
Permitividad del Vacío	ϵ_0	8.85418	10^{-12} F/m [C^2/Nm^2]	1

1 W = 1 J/s = 1.34 hp = 3.41 Btu/h = 0.738 pie lb/s

1 kWh/m² = 1 sol-h/m² = 3.6 MJ-h/m² = 0.0116 Langley = 860 cal/m²1 kW/m² = 100 mW/cm²1 eV = 1.6022x10⁻¹⁹ J = 23.06 Kcal/mol = 1.518x10⁻²² Btu = 4.4x10⁻²³ Wh1 bar = 10⁵ N/m² = 10⁵ Pa = 14.5 lb/pulg² = 1 atm = 760 mm Hg = 760 Torr1 kg = 10³ g = 6.024x10²⁶ uma1 año = 8760 h = 5.259x10⁵ min = 3.157x10⁷ s1 cm = 10⁻² m = 10⁴ μm = 10⁷ nm = 10⁸ Å = 0.3937 pulg1 m² = 10⁴ cm² = 10.76 pie² = 1549 pulg²Longitud de onda asociada con un fotón de energía 1 eV: 1.24x10⁻⁴ cm.Número de onda asociado con un fotón de 1eV: 8066 cm⁻¹.

Temperatura asociada a la energía de 1eV: 11605 K

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] Del Fuego a la Energía Nuclear, Comisión Federal de Electricidad, Central Laguna Verde, Septiembre del 2004.
- [2] Smil, V., Energy in World History. Westview Press (1994).
- [3] Eduardo A. Rincón Mejía, Estado del arte de la Energía solar en México, Cuadernos FICA, México, 1999.
- [4] Yearbook of renewable energies, 1992
- [5] Solar Power Markets Boom, reporte escrito por Chirstoper Flavin y Molly O'Meara, publicado en la edición de septiembre de 1998 del World Watch Magazine.
- [6] Ver documento www.sener.gob.mx/webSener/res/0/Programa%20Sectorial%20de%20Energía%202007-2012.pdf
- [7] Ver documento: www.worldenergy.org/20.asp La Industria Energética revela su modelo para abordar el cambio climático”, World Energy Council 2007.
- [8]<http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/estadisticas/Paginas/Indicadoresdegeneración.aspx>
- [9] Galindo I. y Cifuentes G., (1996), Irradiación solar global en la República Mexicana, Valores horarios medios, PUE-UNAM, México.
- [10] http://solarcooking.wikia.com/wiki/Solar_radiation
- [11] Greg P. Smestad, Optoelectronics of solar cells, Library of congress, 2002, Bellingham Washington USA.
- [12] <http://www.estacionespacial.com/>
- [13] Arturo Morales-Acevedo, “Diseño Óptimo y Realización de Celdas Solares de Silicio para Producción Industrial – Estado del Arte de la Investigación en México”, Revista mexicana de Física 50 (5), 431-442 (2004).
- [14] Tecnología fotovoltaica aplicada al bombeo de agua. Aarón Sánchez Juárez (2005).
- [15] Resolución RES/176/2007 Comisión Reguladora de Energía, Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de Junio de 2007, Primera Sección.
- [16] Antonio Luque, Steven Hegedus, HandBook of Photovoltaic Science and Engineering, British Library, 2003.
- [17] Colectivo, *Sistemas de Energía Fotovoltaica y el Código Eléctrico Nacional de Los Estados Unidos: Prácticas Recomendadas*; Universidad Politécnica de Madrid.
- [18] G. Salas, D. Pachon, I. Anton; “Test, rating and specifications of PV concentrator components and systems”; 2002 C-Rating project Book 1 NNE-1999-00588



- [19] M. A. Green, K. Emery, D. L. King, Y. Hishikawa, and W. Warta: "Solar cells efficiency tables (Version 29"; Prog. Photovol: Res. Appl. 2007; 15:35-40
- [20] Czochralski; ZF: Zona flotante;; Cast: Fundición; a-Si: silicio amorfo; Película delgada; CZ: n-Si: silicio nanocristalino m-: monocristal; p-: policristal; TF.
- [21] Universidad Politécnica de Madrid, Instituto de Energía Solar, Laboratorio de Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos, Madrid España, Marzo 2002.
- [22] Aarón Sánchez Juárez, Asociación Nacional de Energía Solar, Tecnología Fotovoltaica, Reseña del Fenómeno y Estado Actual de la Tecnología en Sistemas Fotovoltaicos Iluminación y Bombeo, México, D.F., Junio 2009.
- [23] Rogelio Mendoza Pérez, Desarrollo de celdas solares prototipo de CdTe con CdS procesado por baño químico, tesis doctoral, México, D.F. Octubre 2007.
- [24] Comisión Nacional para el uso Eficiente de la Energía (CONUEE), Edición Internet, www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_606_fotovoltaica?page=3, 2010.
- [25] Software Study of Photovoltaic System "PVsyst", Institute for the sciences of the Environment, Switzerland, University of Geneva, versión 5.06, 2010.
- [26] Lemoine Villacaña, Ernesto, "El alumbrado público en la ciudad de México durante la segunda mitad del siglo XVIII.", Archivo General de la Nación, México, Tomo IV, Núm. 4, 1963.
- [27] Rango de valores para México obtenidos de listas de precios de compañías mexicanas que pertenecen a la Asociación Mexicana de Proveedores de Energías Renovables.
- [28] Obtenidos de listas de precios de proveedores internacionales en la red electrónica: www.solarbuzz.com
- [29] Estimaciones realizadas suponiendo un incremento en el mercado del 35% anual: David E. Carlson; "The Prospect for Low-cost Photovoltaic Electricity"; BPSolar october 16, 2007.
- [30] Sistemas Fotovoltaicos Interconectados con la RED, Instituto de Investigaciones Eléctricas, México 2010.
- [31] Backer, Morton y Jacobson, Lyle, Contabilidad de costos un enfoque administrativo y de gerencia McGraw Hill.



ARTICULOS PUBLICADOS EN CONGRESOS NACIONALES

- **Manuel Benjamín Parra Castillo**, Guillermo Urriolagoitia Calderón, Luis Héctor Hernández Gómez, Carlos Torres Torres, *Encapsulado de celdas solares con resina poliéster*, 4 Congreso Científico y Tecnológico, 31 de agosto al 4 de septiembre 2009, universidad nacional autónoma de México Facultad de estudios superiores Cuautitlán Laboratorio de investigación en energías renovables.

ARTICULOS PUBLICADOS EN CONGRESOS INTERNACIONALES

- **Manuel Benjamín Parra Castillo**, Guillermo Urriolagoitia Calderón, Luis Héctor Hernández-Gómez, David Torres Franco, *Diseño de un Señalamiento Electrónico de LED's Alimentado por Celdas Solares*, 6^{TO} Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente Cienfuegos. 21 al 23 de Abril de 2010.
- David Torres Franco, Guillermo Urriolagoitia Calderón, **Manuel Benjamín Parra Castillo**, *Diseño de un motor Hibrido para un automóvil que operará como taxi en la Ciudad de México*, II Convención Internacional de la Ingeniería en Cuba, Varadero Matanzas, 3 al 5 Junio de 2010.
- **Manuel Benjamín Parra Castillo**, Guillermo Urriolagoitia Calderón, Luis Héctor Hernández Gómez, David Torres Franco, *Cálculo de un Sistema Fotovoltaico tipo isla para un Señalamiento Electrónico de led Diseñado para el Instituto Politécnico Nacional con cede en la Ciudad de México*, VII Simposio Internacional de la E.S.Q.I.E, 7 al 9 de Junio del 2010.
- David Torres-Franco, Guillermo Urriolagoitia-Calderón, Luis Héctor Hernández-Gómez, **Manuel Benjamín Parra-Castillo**, *Implementación de celdas solares a un vehículo híbrido eléctrico*, VII Simposio Internacional de la E.S.Q.I.E, 7 al 9 de Junio del 2010.
- David Torres-Franco, Guillermo Urriolagoitia-Calderón, Luis Héctor Hernández-Gómez, **Manuel Benjamín Parra-Castillo**, *Evaluación del rendimiento de un vehículo eléctrico para la Ciudad de México*, Congreso Mundial Ingeniería 2010 Argentina, Buenos Aires, 17 al 20 de Octubre del 2010.

**ESTANCIA DE DE INVESTIGACIÓN LABORATORIOS IES**

Madrid, España, a 20 de Diciembre del 2010.

**Instituto de Energía Solar de la
Universidad Politécnica de Madrid**

El Ing. Manuel Benjamín Parra Castillo estudiante de la Maestría en Ciencia en Ingeniería Mecánica de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Politécnico Nacional , realizo la visita al Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid, del 25 de Octubre al 5 Noviembre, visitando los siguientes Laboratorios.

- Laboratorio de Tecnología de Células Solares
- Laboratorio de Caracterización de Células Solares
- Laboratorio de Módulos e Instalaciones Fotovoltaicas
- Laboratorio de Simulación de Células Solares

ATENTAMENTE

Ing. Manuel Benjamín Parra Castillo
Instituto Politécnico Nacional



Instituto de Energía Solar
Universidad Politécnica de Madrid

**ESTANCIA DE DE INVEstigACIÓN UNIVERSIDAD DE JAÉN****Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática**

Jaén, 25 de Junio del 2010

ING. MANUEL BENJAMÍN PARRA CASTILLO
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Zacatenco,
Del. Gustavo A. Madero, C.P. 07738, México D.F.

PROFESOR DR.
JORGE AGUILERA TEJERO
Campus Las Lagunillas
A3-435 Edificio Tecnológico
2307 Jaén
Teléfono + 34 953212803
aguilera@ujaen.es
www.ujaen.es/investiga/solar/

INVITACIÓN

Estimado Manuel.

De acuerdo a las comunicaciones anteriores con su Director de Maestría, Dr. Guillermo Urriolagoitia Calderón, me complace invitarle a pasar una estancia de investigación de cuatro meses, a partir del 1 de Septiembre al 17 de Diciembre del 2010, en el Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática, del Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía Solar y Automática (IDEA) de la Universidad de Jaén (España). Su investigación se centrará en el Diseño Avanzado de Sistema Fotovoltaicos. Como Director del Grupo IDEA y miembro del Departamento contará con mi supervisión durante toda su estancia.

Atentamente,

Un saludo

DR. JORGE AGUILERA TEJERO