



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

PROPUESTA DE DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO  
ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR Y CON ESTACIÓN DE  
CARGA

T E S I S

QUE PARA OBTENER TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTA:

HELAMÁN BENJAMÍN MORALES VÁZQUEZ  
NEFÍAH ELIA MORALES VÁZQUEZ  
MOISÉS PALACIOS ROMO  
EDUARDO ROSAS ACOSTA

DIRECTOR DE TESIS

M. EN C. EDGAR BALDEMAR AGUADO CRUZ

MÉXICO D.F., CIUDAD UNIVERSITARIA 2015





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **Agradecimientos:**

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por ser nuestra alma mater y brindarnos la formación desde nuestros inicios.

A la **Facultad de Ingeniería** por ser una segunda casa y formarnos como profesionistas.

Al **Programa de Apoyo a la Titulación** por hacer posible la culminación de esta etapa.

A nuestro director de tesis, el **M. en C. Edgar Baldemar Aguado Cruz**, por compartir sus conocimientos y experiencia.

A los miembros del jurado, gracias por los aportes para la finalización de éste trabajo.

A nuestros familiares y amigos gracias por todo su amor, paciencia y apoyo.

## **OBJETIVO:**

Propuesta de diseño de un dispositivo para alumbrado público con estación de carga abastecido utilizando energía solar.

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Los combustibles derivados del petróleo son recursos finitos, por lo cual es de vital importancia incrementar la utilización de las energías renovables y limpias, así como la optimización y desarrollo de nuevos métodos de aprovechamiento. En esta propuesta se plantea el diseño de alumbrado público con estación de carga, el cual no estará interconectado a la red eléctrica, para beneficiar a una sociedad específica, el cual brindará seguridad en las noches y proveerá recarga de emergencia para dispositivos móviles como son los teléfonos celulares y tabletas electrónicas para el público en general. La iluminación será a base de LEDS para tener un óptimo aprovechamiento de la energía.

## **MÉTODOS A UTILIZAR**

Planteamiento del problema, investigación documental para conocer las características de los elementos eléctricos y electrónicos a utilizar, propuesta de diseño eléctrico.

## **RESULTADOS ESPERADOS**

Se espera proponer el diseño del dispositivo para alumbrado público con estación de carga abastecido con energía solar y demostrar la viabilidad del principio de operación.

# ÍNDICE

Objetivo: .....	I
Definición del problema .....	I
Métodos a utilizar .....	I
Resultados esperados.....	I
Índice de Figuras .....	VIII
Índice de Tablas .....	XI
1. ANTECEDENTES Y REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	1
1.1. La energía solar .....	1
1.1.1. Energía eólica.....	1
1.1.2. Energía hidroeléctrica .....	2
1.1.3. Biomasa.....	2
1.1.4. Geotérmica .....	2
1.1.5. Hidrógeno .....	3
1.1.6. Energía solar .....	3
1.2. Análisis de dispositivos de aprovechamiento energético .....	5
1.2.1. Dispositivos de aprovechamiento de energía solar .....	6
1.2.1.1. Procesos de conversión .....	6
1.2.1.2. Energía solar fotovoltaica.....	6
1.2.1.3. Energía solar térmica .....	7
1.2.1.4. Aprovechamientos .....	8
1.2.1.5. Energía solar en México .....	9
1.2.1.6. Solar fotovoltaica.....	9
1.2.1.7. Empresas de energía fotovoltaica en México.....	11
1.2.1.8. Termosolar .....	11

1.2.1.9. Calentadores de agua .....	11
1.2.2. Dispositivos de aprovechamiento de energía eólica .....	11
1.2.2.1. Energía eólica en México .....	13
1.2.3. Dispositivos de aprovechamiento de generación de energía mediante la biomasa .....	15
1.2.3.1. Energía de biomasa en México .....	15
1.2.4. Dispositivos de aprovechamiento de generación de energía geotérmica. ....	16
1.2.4.1. Energía geotérmica en México .....	20
1.2.4.2. Potencial de aprovechamiento .....	21
1.3. Alcance de energías alternativas a las derivadas del petróleo .....	23
1.3.1. Panorama de las energías renovables en el mundo .....	23
1.3.2. Panorama de las energías renovables en México .....	24
1.3.3. Proyección de energías renovables al año 2027 .....	26
1.3.4. Captación de inversión extranjera .....	27
1.4. Evolución del alumbrado público .....	28
1.4.1. El alumbrado público en la historia .....	28
1.4.2. Evolución del alumbrado público en México .....	29
1.5. Evolución de las centrales de carga .....	33
2. PROPUESTA DEL DISEÑO DEL ALUMBRADO PÚBLICO ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR Y ESTACIÓN DE CARGA PARA DISPOSITIVOS MÓVILES .....	38
2.1. Principio de operación .....	38
2.1.1. Carga diurna .....	39
2.1.2. Operación nocturna .....	40
2.1.3. Días nublados .....	40

2.1.4.	Descripción de componentes.....	40
2.1.4.1.	Postes solares.....	40
2.1.4.2.	Paneles solares.....	41
2.1.4.3.	Baterías.....	42
2.1.4.4.	Luminarias solares para alumbrado público.....	43
2.1.4.5.	Controlador solar (regulador).....	44
2.1.4.6.	Sensor fotoeléctrico .....	45
2.1.4.7.	Centro de carga .....	46
2.2.	Diseño del dispositivo.....	46
2.2.1.	Tipos de luminarias solares de alumbrado público .....	47
2.2.1.1.	Luminarias solares autónomas de un panel solar fotovoltaico ....	47
2.2.1.2.	Luminarias solares centralizadas .....	47
2.2.2.	Ventajas de luminarias con paneles fotovoltaicos para alumbrado público autónomas .....	48
2.2.3.	Elementos que conforman la luminaria fotovoltaica.....	49
2.2.4.	Selección de elementos para el sistema solar fotovoltaico.....	50
2.2.5.	Aplicaciones.....	52
3.	CELDA FOTOVOLTAICA.....	53
3.1.	Principio de operación.....	53
3.2.	Características de funcionamiento .....	54
3.3.	Costo.....	57
3.3.1.	Grape Solar, panel solar 100W MODELO: GS-Star-100W.....	57
3.3.2.	Solarcia, panel solar de 100W monocristalino .....	59
3.3.3.	ERDM-Solar, panel solar 100W MODELO: ERDM 100 M5.....	60
3.4.	Mantenimiento.....	63

4.	BATERÍA Y CENTRAL DE CARGA .....	67
4.1.	Principio de operación.....	67
4.1.1.	Batería solar o de ciclo profundo y batería automotriz.....	70
4.1.2.	Diferencias entre las baterías de ciclo profundo y las automotrices (de arranque).....	71
4.1.3.	Baterías de gel.....	72
4.1.4.	Baterías AGM (VRLA) .....	72
4.2.	Características de funcionamiento .....	73
4.2.1.	Ciclos de la batería .....	75
4.2.2.	Capacidad de la batería.....	75
4.2.3.	Estado de carga y descarga de la batería .....	76
4.2.4.	Profundidad de descarga (DOD) .....	77
4.3.	Costo.....	77
4.3.1.	Batería de aplicación solar marca Cale de ciclo profundo AGM de 12VCD 115Ah .....	77
4.3.2.	Batería de aplicación solar marca Trojan 24 gel a 12VCD 85Ah.....	79
4.4.	Mantenimiento.....	80
4.4.1.	Riesgos por el electrolito .....	80
4.4.2.	Riesgos eléctricos.....	80
4.4.3.	Riesgos de incendio .....	81
4.4.4.	Mantenimiento .....	81
4.5.	Central de carga.....	83
4.5.1.	Principio de operación .....	84
4.5.2.	Características de funcionamiento.....	88
4.5.2.1.	Velocidad de carga y duración de la batería .....	89
4.5.3.	Mantenimiento .....	90

4.5.4.	Regulador o controlador de carga .....	91
5.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA Y PROTECCIONES.....	93
5.1.	Dimensionamiento del sistema .....	93
5.1.1.	Estimación del consumo.....	93
5.1.2.	Estimación de la capacidad de la batería .....	95
5.1.3.	Estimación del generador fotovoltaico .....	97
5.1.4.	Estimación del regulador .....	99
5.1.5.	Estimación del cableado.....	101
5.2.	Justificación de los elementos del sistema.....	103
5.2.1.	Panel fotovoltaico .....	103
5.2.2.	Luminaria.....	104
5.2.3.	Batería .....	106
5.2.4.	Controlador de carga .....	107
5.2.5.	Central de carga .....	108
5.2.6.	Gabinetes y techumbre.....	109
5.2.6.1.	Gabinete metálico usos múltiples para uso exterior.....	109
5.2.6.2.	Gabinete para central de carga.....	109
5.2.6.3.	Techo de lámina de acero.....	110
5.2.7.	Poste .....	111
5.3.	Relación de costos.....	113
5.4.	Mantenimiento.....	114
5.4.1.	Mantenimiento preventivo.....	114
5.4.1.1.	Mantenimiento del módulo solar .....	115
5.4.1.2.	Mantenimiento del regulador.....	116
5.4.1.3.	Mantenimiento de las baterías .....	117

5.4.1.4.	Mantenimiento de la luminaria .....	118
5.4.1.5.	Mantenimiento de la central de carga .....	118
5.4.2.	Mantenimiento correctivo.....	118
5.4.3.	Mantenimiento de operación .....	118
6.	CONCLUSIONES .....	120
7.	REFERENCIAS.....	123
8.	GLOSARIO .....	128
9.	ABREVIATURAS .....	132
	ANEXO I.....	A

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.2.1 Mapeo de índice de atracción de la industria solar fotovoltaica en el mundo (índice de atracción por país). (EPIA, 2008).....	9
Figura 1.2.2 Zonas potenciales para el desarrollo de proyectos de energía solar (SENER, 2014).....	10
Figura 1.2.3 Zonas potenciales para el desarrollo de proyectos de energía eólica (W/m <sup>2</sup> es la densidad de potencia del viento, watts por metro cuadrado) (IIE, 2013) .....	14
Figura 1.5.1 Central de carga para dispositivos móviles en Londres (Solarbox London, 2014) .....	34
Figura 1.5.2 Alimentación solar de la central de carga para dispositivos móviles en Londres (Solarbox London, 2014) .....	35
Figura 1.5.3 Diseño interior de la central de carga para dispositivos móviles en Londres (Solarbox London, 2014).....	35
Figura 1.5.4 Central de carga para dispositivos móviles en Nueva York (Street charge, 2014) .....	37
Figura 2.1.1 Componentes del sistema. (Esco-tel, 2014).....	39
Figura 2.1.2 Diferentes tamaños y diseños de postes solares (Esco-tel, 2014).....	41
Figura 2.1.3 Paneles solares (Inversolar, 2015).....	42
Figura 2.1.4 Batería de electrolito inmovilizado (gel) (MK battery, 2015) .....	43
Figura 2.1.5 Luminaria solar. (SAECSA, 2014) .....	44
Figura 2.1.6 Controlador solar. (Steca, 2015) .....	45
Figura 2.1.7 Lámpara y sensor fotoeléctrico. (XingLaiDa, 2015).....	45
Figura 2.1.8 Tipos de conectores en centro de carga. (US electronics, 2012).....	46
Figura 2.2.1 Luminaria solar autónoma de un panel solar fotovoltaico (Solarlux, 2012) .....	47
Figura 2.2.2 Luminaria de LED 15W. (Solarlux, 2012) .....	50
Figura 2.2.3 Recomendaciones de altura en postes para luminarias. (Solarlux, 2012).....	51
Figura 2.2.4 Sistema de alumbrado público con paneles solares. (Solarlux, 2012) .....	52

Figura 3.2.1 Esquema del material semiconductor de la celda fotovoltaica (Méndez, 2008) .....	55
Figura 3.2.2 Esquema del principio de operación de la celda fotovoltaica (Méndez, 2008) .....	55
Figura 3.3.1 Modelo GS-Star-100W (Grape Solar, 2015) .....	59
Figura 3.3.2 Panel solar 100 Watts monocristalino (Solarcia, 2015) .....	60
Figura 3.3.3 Panel solar M5 (EDMR solar, 2014).....	62
Figura 3.4.1 Juego de limpieza especial para paneles solares (WIKIHOW, 2014)...	64
Figura 3.4.2 Mezcla jabón con agua para limpieza (WIKIHOW, 2014).....	64
Figura 3.4.3 Limpieza de panel solar (WIKIHOW, 2014).....	65
Figura 3.4.4 Secado de panel solar (WIKIHOW, 2014) .....	65
Figura 3.4.5 Profesional de limpieza de paneles solares (WIKIHOW, 2014).....	66
Figura 4.1.1 Elementos de una batería (Alonso, 2012) .....	70
Figura 4.3.1 Batería Cale 12 VCD 115Ah (Cale, 2014).....	78
Figura 4.4.1 Riesgo eléctrico (Alonso, 2012).....	81
Figura 4.4.2 No utilizar baterías de ciclo profundo para arranque de vehículos. (Alonso, 2012) .....	83
Figura 4.5.1 Conectores para la carga de dispositivos móviles (US electronics, 2012) .....	84
Figura 4.5.2 Circuito de central de carga 5V con LM7805 (Texas Instrument, 2004) .....	85
Figura 4.5.3 Regulador LM7805 (Texas Instrument, 2004) .....	85
Figura 4.5.4 USB 3.0 conector (TE connectivity, 2014).....	86
Figura 4.5.5 Central de carga 5V (Landívar, 2014) .....	87
Figura 4.5.6 Central de carga universal (Landívar, 2014) .....	88
Figura 4.5.7 Elementos Conector USB (MVP, 2014) .....	89
Figura 4.5.8 Toallas limpiadoras antiestáticas (Perfect choice, 2014).....	91
Figura 5.2.1 Panel solar de la marca Grape Solar (Grape Solar, 2015).....	104
Figura 5.2.2 Lámpara de la marca Nautilus (Solarlux, 2012) .....	105
Figura 5.2.3 Batería de aplicación solar marca Trojan (Trojan, 2013).....	106
Figura 5.2.4 Controlador de carga (Steca, 2014) .....	107

Figura 5.2.5 Central de carga (Hummerguard, 2015).....	108
Figura 5.2.6 Gabinete metálico .....	109
Figura 5.2.7 Gabinete para central de carga .....	110
Figura 5.2.8 Techo para central de carga .....	110
Figura 5.2.9 Diagrama de conexiones.....	112
Figura 5.2.10 Diagrama del sistema.....	112

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2.1 Empresas manufactureras de módulos fotovoltaicos (BNEF, 2014) ..	10
Tabla 1.2.2 Centrales solares fotovoltaicas para la generación de electricidad (SENER, 2013).....	10
Tabla 1.2.3 Centrales eólicas 2013 (CFE/CRE, 2013).....	13
Tabla 1.2.4 Capacidad efectiva de generación geotermoeléctrica nacional, al 31 de diciembre de 2011. (CFE, 2011) .....	21
Tabla 1.3.1 Inversión por país/región 2013 (SENER, 2013) .....	24
Tabla 1.3.2 Potencial de generación estimado al año 2030. (SENER/CRE/CFE, 2014).....	25
Tabla 1.3.3 Permisos de generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables. (CRE, 2014).....	26
Tabla 1.3.4 Proyección de Energías Renovables al 2027. (SENER, 2014) .....	27
Tabla 1.3.5 Captación de inversión extranjera (Pro México, 2014).....	27
Tabla 2.2.1 Tabla parámetros luminaria. (Solarlux, 2012).....	50
Tabla 3.3.1 Especificaciones mecánicas GS-Star-100W (Grape Solar, 2015).....	58
Tabla 3.3.2 Especificaciones eléctricas GS-Star-100W (Grape Solar, 2015).....	58
Tabla 3.3.3 Características eléctricas del EDRM 100 M5 (EDRM solar, 2014).....	61
Tabla 3.3.4 Características mecánicas del EDRM 100 M5 (EDRM solar, 2014)...	62
Tabla 3.3.5 Coeficiente de temperatura del EDRM 100 M5 (EDRM solar, 2014)..	62
Tabla 4.1.1 Diferencias entre las baterías de ciclo profundo y las automotrices (LTH, 2014).....	71
Tabla 4.1.2 Grafica comparativa de capacidad de retención de carga de baterías (LTH, 2014).....	72
Tabla 4.3.1 Parámetros batería Cale 12 VCD 115Ah (Cale, 2014).....	78
Tabla 4.3.2 Especificaciones batería Cale 12 VCD 115Ah (Cale, 2014).....	78
Tabla 4.3.3 Instrucciones de carga batería Cale 12 VDC 115 Ah (Cale, 2014) ....	79
Tabla 4.3.4 Batería de aplicación solar marca Trojan 24 gel a 12VDC 85Ah (Trojan, 2013).....	79
Tabla 4.5.1 Especificaciones para la carga de dispositivos móviles (Apple, 2015)	84
Tabla 5.1.1 Estimación de consumos.....	95

Tabla 5.2.1 Poste (Solarlux, 2012) .....	111
Tabla 5.3.1 Precios de los elementos del sistema fotovoltaico. ....	113
Tabla 5.3.2 Grafica de precios de los elementos del sistema fotovoltaico. ....	114

# **1. ANTECEDENTES Y REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE**

Energía renovable:

Energía utilizable derivada de fuentes renovable, como la solar (energía solar), el viento (eólica), ríos (hidroeléctrica), aguas termales (energía geotérmica), las mareas (energía mareomotriz) y biomasa (biocombustibles). (Whitney, 2014)

## **1.1. La energía solar**

La energía solar forma parte de las energías renovables y es la energía que se obtiene de fuentes naturales las que se consideran inagotables. Son energías limpias y contribuyen a cuidar al planeta contra la creciente contaminación, y la muerte de muchas especies a diferencia de las no renovables como lo son los combustibles fósiles que además de ser contaminantes se agotaran en algún momento.

Ejemplos de energías renovables son: la energía eólica, hidroeléctrica, biomasa (materia orgánica), geotérmica, hidrogeno y energía solar.

### **1.1.1. Energía eólica**

El calentamiento no uniforme de la atmosfera y de la superficie terrestre debido a la radiación solar, resulta en una distribución desigual de presión en la atmósfera, lo que genera el movimiento de masas de aire, es decir el viento. La energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de zonas de alta presión atmosférica hacia otras adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales (gradiente de presión). La tecnología de conversión es por “molinos de viento”. (ANES, 2014)

### **1.1.2. Energía hidroeléctrica**

Es la energía aprovechada del movimiento del agua, la lluvia y el agua de deshielo forma los ríos que desembocan en el mar, en la antigua Grecia utilizaba la energía del agua para moler grano y en la actualidad se utilizan para producir energía eléctrica. Una central hidroeléctrica consiste en tres partes: una central eléctrica en la que se produce la electricidad; una presa que puede abrirse y cerrarse para controlar el paso del agua; y un depósito en que se puede almacenar agua. El agua de detrás de la presa fluye a través de una entrada y hace presión contra las palas de una turbina, lo que hace que éstas se muevan. La turbina hace girar un generador para producir la electricidad. La cantidad de electricidad que se puede generar depende de la carga y el flujo del agua que se mueve a través del sistema.

### **1.1.3. Biomasa**

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica. A partir de procesos químicos se puede aprovechar la energía de la materia orgánica y obtener biogás, bioetanol, biodiesel, etcétera los cuales son aprovechados para múltiples aplicaciones.

### **1.1.4. Geotérmica**

Es la energía proveniente del calor de la tierra donde el magma, es uno de los principales elementos de un sistema geotermal, pero además de eso es necesario para generar un reservorio: un acuífero y un sello. El acuífero es una formación rocosa permeable, es decir, que permite que el agua u otros fluidos las traspasen. El sello, es otra capa de rocas, pero impermeable. Estos tres elementos deben ir montados uno sobre el otro, la fuente de calor, encima el acuífero y sobre ellos, la tapa. Las principales aplicaciones de esta energía son climatizar y obtener agua

caliente sanitaria de manera ecológica en edificios y viviendas. Los recursos geotérmicos de alta temperatura de más de 10 °C se utilizan para generar energía eléctrica.

#### **1.1.5. Hidrógeno**

Aunque el hidrógeno no es una fuente de energía primaria, sino un medio que almacena energía, ya que es necesario producirlo y esto requiere un gasto de energía para producirlo. El hidrógeno es manufacturado a través de alguna fuente primaria de energía y usado como reemplazo de los combustibles fósiles usados para el transporte. El hidrógeno se usa como combustible en celdas de combustible o en motores de combustión interna. Las celdas de combustibles se están utilizando cada vez más en automóviles.

#### **1.1.6. Energía solar**

La emisión de luz y calor del sol se produce por radiación. La radiación consta de radiación luminosa, infrarroja y ultravioleta. La radiación solar se ha aprovechado por el hombre desde la antigüedad. Existen dos formas principales para aprovechar la energía solar la térmica y la fotovoltaica otra aplicación es aprovechar la energía solar en la construcción de edificios y viviendas los cuales se realizan considerando la dirección que tienen respecto al sol para poder aprovechar al máximo el calor del sol reduciendo costos de calefacción y aire acondicionado, de esta forma aumentando considerablemente la eficiencia de la energía utilizada. También se analizan los materiales de acuerdo a su capacidad térmica específica dependiendo del lugar geográfico en que se encuentra para que de la misma forma se aumente la eficiencia energética y la comodidad de los usuarios. En la agricultura se emplean los invernaderos los cuales aprovechan los efectos de los rayos solares que no salen del lugar y aumentan la temperatura logrando así cultivar hortalizas aun cuando no sea la temporada con el beneficio adicional de estar aislado de posibles plagas.

La energía térmica se aprovecha por medio de colectores solares, existen muchos ejemplos de colectores solares los cuales tienen diferentes finalidades como son la concentración de los rayos solares para calentar, cocinar e incluso hornear alimentos; también se utiliza el calor del sol para calentadores de agua domésticos e industriales; también existen campos de concentradores solares los cuales dirigen el rayo concentrado del sol en un solo punto para calentar un fluido caloportador que a su vez genera electricidad.

La utilización de la energía solar fotovoltaica es la parte principal de esta tesis y es la que emplearemos en el diseño de nuestro alumbrado público, por su autonomía, el bajo consumo que demandan los LEDS para su operación y porque su fuente es inagotable, es importante que destaquemos los diferentes tipos de paneles fotovoltaicos.

Un panel fotovoltaico está formado por varias celdas fotovoltaicas que dependiendo de su configuración nos proporcionan distintos voltajes y potencias de salida.

Las celdas fotovoltaicas son encapsuladas en dos capas de etileno-vinilo-acetato las cuales en la parte frontal son de vidrio y la posterior de un polímero termoplástico, la estructura suele ser de aluminio. La mayoría de las celdas fotovoltaicas son de silicio, monocristalino con un único cristal de silicio, policristalino construidas por un conjunto de cristales de silicio y las de silicio amorfo. Todas estas celdas aprovechan el efecto fotoeléctrico, el cual se mencionará más a detalle en el capítulo 3.

Últimamente se ha empezado a emplear los paneles fotovoltaicos de concentración, los cuales consisten en utilizar lentes, espejos curvados y otros tipos de dispositivos ópticos para concentrar una gran cantidad de radiación solar en una pequeña área de celdas fotovoltaicas haciendo más eficiente la generación de electricidad. En comparación con las tecnologías fotovoltaicas convencionales, los sistemas de concentración permiten un mayor ahorro económico, pues se tiene

un área menor de material fotovoltaico y así se pueden emplear celdas fotovoltaicas más costosas pero también mucho más eficientes.

## **1.2. Análisis de dispositivos de aprovechamiento energético**

La demanda de energía crece aceleradamente, el acceso a las fuentes convencionales de energía es cada vez más difícil y costoso y las preocupaciones ambientales son más fuertes debido a las fuertes evidencias de un calentamiento global y sus consecuencias.

Para sostener el crecimiento económico del país, es necesario satisfacer las necesidades energéticas buscando reducir el impacto ambiental y fomentando la sustentabilidad. La diversificación de fuentes y el uso de tecnologías limpias permitirán alcanzar las metas deseadas en cuanto a desarrollo económico y mitigación de emisiones.

Los proyectos de generación renovable y cogeneración eficiente producen beneficios tales como:

- Aprovechamiento de las fuentes de energía renovable del país.
- Cuidado del medio ambiente y la salud de los habitantes, al no utilizar combustibles fósiles que generan gases dañinos a los seres vivos.
- Desarrollo de la capacidad industrial de México y la creación de empleos.
- Cumplimiento de los compromisos internacionales del país en materia ambiental y de cambio climático.
- Diversificación del parque de generación eléctrica.
- Disminución de la variabilidad de los costos de generación de electricidad.
- Participación social y privada en la inversión económica requerida por el sector eléctrico para satisfacer la demanda nacional.

- Disminución de la dependencia nacional de los hidrocarburos.
- El desarrollo rural en regiones cercanas a fuentes de energías renovables.

### **1.2.1. Dispositivos de aprovechamiento de energía solar**

Nuestro planeta recibe del sol una cantidad de energía anual de aproximadamente 1,6 millones de kWh, de los cuales sólo un 40% es aprovechable, una cifra que representa varios cientos de veces la energía que se consume actualmente en forma mundial; es una fuente de energía descentralizada, limpia e inagotable.

El aprovechamiento energético está entonces condicionado por la intensidad de radiación solar recibida por la tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas del lugar.

Se define energía solar a aquella que mediante conversión a calor o electricidad se aprovecha de la radiación proveniente del sol; otra forma de aprovechamiento asociado considera la posibilidad de hacer uso de la iluminación natural y las condiciones climatológicas de cada emplazamiento en la construcción de edificios mediante lo que se denomina arquitectura bioclimática.

#### **1.2.1.1. Procesos de conversión**

Existen dos alternativas posibles para realizar estas transformaciones: la conversión fototérmica y la conversión fotovoltaica.

#### **1.2.1.2. Energía solar fotovoltaica**

La tecnología fotovoltaica busca convertir directamente la radiación solar en electricidad. Basada en el efecto fotoeléctrico, en el proceso emplea unos dispositivos denominados celdas fotovoltaicas, las cuales son semiconductores sensibles a la luz solar; de manera que cuando se expone a esta, se produce en la celda una circulación de corriente eléctrica entre sus dos caras. El efecto fotoeléctrico se explicará con más detalle en el capítulo 3.

Los componentes de una sistema fotovoltaico dependen del tipo de aplicación que se considera (conectada o no a la red) y de las características de la instalación.

### **1.2.1.3. Energía solar térmica**

Con respecto a la tecnología solar térmica que convierte la energía radiativa en calor, su principal componente es el captador, por el cual circula un fluido que absorbe la energía calórica del sol. De acuerdo a la temperatura de aprovechamiento se puede clasificar el aprovechamiento en de alta, media y baja, siendo sus límites:

- Hasta 100° C: de baja temperatura.
- Desde 100° C y hasta 300° C: de mediana temperatura.
- Mayores a 300° C: de alta temperatura. (INTI, 2008)

Los sistemas solares térmicos de alta temperatura hacen referencia a grandes instalaciones donde el principal elemento es un colector de disco parabólico, o un campo de helióstatos que concentran la radiación solar en una torre central, que puede alcanzar temperaturas superiores a los 4000° C; normalmente se tratan de sistemas con una caldera central de la que se obtiene vapor a alta temperatura para usos térmicos o producción de electricidad.

En cuanto a las aplicaciones de mediana temperatura, normalmente se utilizan colectores parabólicos, los que concentran la radiación solar en un tubo colector encargado de recibir y transmitir el calor, alcanzando valores de temperatura de hasta 300° C.

El principal parámetro que caracteriza la eficiencia de cualquier captador solar es la curva de rendimiento. En general, se define el rendimiento de un captador como la relación entre el flujo energético que llega a la superficie de éste y la energía útil que se transmite al fluido; de esta forma, el rendimiento instantáneo de un captador varía en función de la radiación, la temperatura del agua que entra al

captador, la temperatura ambiente, la temperatura de la placa y los materiales empleados en la construcción.

#### **1.2.1.4. Aprovechamientos**

La tecnología fotovoltaica actualmente ya es competitiva para electrificar emplazamientos alejados de las líneas eléctricas como, por ejemplo, viviendas rurales, bombeo de agua, señalización, alumbrado público, equipos de emergencia, etcétera.

Sus principales ventajas son:

- Evitar un costoso mantenimiento de líneas eléctricas en zonas de difícil acceso.
- Eliminar los costos ecológicos y estéticos de la instalación de líneas en esas condiciones.
- Contribuir a evitar el despoblamiento progresivo de zonas determinadas.
- Es una energía descentralizada que puede ser captada y utilizada en todo el territorio.
- Una vez instalada tiene un costo energético nulo.
- Mantenimiento y riesgo de avería muy bajo
- Tipo de instalación fácilmente modulable, con lo que se puede aumentar o reducir la potencia instalada fácilmente según las necesidades.
- No produce contaminación de ningún tipo durante su funcionamiento.
- Se trata de una tecnología que evoluciona constantemente y tiende a reducir el costo y aumentar el rendimiento.

### 1.2.1.5. Energía solar en México

México se encuentra entre los cinco países más atractivos del mundo para invertir en proyectos de energía solar fotovoltaica, tan sólo detrás de China y Singapur. Véase Figura 1.2.1



**Figura 1.2.1 Mapeo de índice de atracción de la industria solar fotovoltaica en el mundo (índice de atracción por país). (EPIA, 2008)**

Lo anterior debido a que el país forma parte del “cinturón solar” con una radiación mayor a 5kWh por m<sup>2</sup> al día radiación mayor a 5 kWh por m<sup>2</sup> al día y tiene un potencial de generación de 6, 500, 000 GWh al año, lo equivale aproximadamente a 27.7 veces el consumo total de electricidad de México en 2012. Véase Figura 1.2.2

Asimismo, México cuenta con la base manufacturera de módulos fotovoltaicos más grande de América Latina. Véase Tabla 1.2.1

### 1.2.1.6. Solar fotovoltaica

En 2013, la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en operación a gran escala alcanzó los 49 MW (4.8 MW en 2012), de los cuales el 88% es operado a través de permisionarios bajos esquemas de autoabastecimiento y pequeña producción. Véase Tabla 1.2.2 (SENER, 2013)



**Figura 1.2.2 Zonas potenciales para el desarrollo de proyectos de energía solar (SENER, 2014)**

EMPRESA	PAÍS DE ORIGEN	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN (ANUAL)	UBICACIÓN
Jabil	EE. UU.	45 MW	Chihuahua, Chihuahua
Kyocera	Japón	150 MW	Tijuana, Baja California
Sanyo	Japón	75 MW	Monterrey, Nuevo León
ERDM Solar	México	30 MW	San Andrés Tuxtla, Veracruz
Solartec	México	12.5 MW	Irapuato, Guanajuato
Sunpower	EE. UU.	425 MW	Mexicali, Baja California
<b>Total</b>		<b>737.5 MW</b>	

**Tabla 1.2.1 Empresas manufactureras de módulos fotovoltaicos (BNEF, 2014)**

CENTRAL/ PERMISIONARIO	CAPACIDAD (MW)	GENERACIÓN (GWH/AÑO)	UBICACIÓN	SERVICIO
Santa Rosalía y Cerro Prieto	6.0	n.d.	BCS, BC	Público (CFE)
Autoabastecimiento renovable	3.8	9.7	Ags	Privado (AUT)
Celulosa y Papel	0.6	0.9	Gto	Privado (AUT)
Servicios comerciales	38.7	86.0	BCS	Privado (PP)
Proyectos en pequeña y mediana escala	26.6	-	n.d.	Privado (AUT)
<b>Total en operación</b>	<b>75.7</b>	<b>-</b>		
En construcción y por iniciar obras	961.6	1,850.0	BC, BCS, Chih, Coah, Dur, Gto, Jal, SLP, Son, Sin	Privado (AUT/PP)
<b>Total</b>	<b>1,037.3</b>			

**Tabla 1.2.2 Centrales solares fotovoltaicas para la generación de electricidad (SENER, 2013)**

### **1.2.1.7. Empresas de energía fotovoltaica en México**

México tiene una capacidad de producción anual de módulos fotovoltaicos superior a 737 MW por encima de Brasil, Chile y Argentina. Entre las principales empresas desarrolladoras de proyectos fotovoltaicos en el país se encuentran: Abengoa, Gauss Energía, Grupo Dragón, Sonora Energy Group, Enercity Alfa y Eosol Energy. (SENER, 2013)

### **1.2.1.8. Termosolar**

Actualmente, México no cuenta con tecnología termosolar de alta concentración instalada. No obstante, se espera que próximamente se inicie la operación del proyecto “171 CC Agua Prieta II” en Sonora. Este desarrollo contará con dos centrales: una de ciclo combinado de 463 MW y una termosolar de canales parabólicos, con una capacidad de 14 MW. Este proyecto se otorgó a través de una licitación pública a la empresa Abengoa Solar. (SENER, 2013)

### **1.2.1.9. Calentadores de agua**

En 2013, de acuerdo al último reporte del Balance Nacional de Energía, la instalación de calentadores de agua se incrementó en 14 % respecto al año anterior y llegó a un total de 2, 208, 200 m<sup>2</sup>. El principal uso de esta tecnología en el país es el calentamiento de agua para albercas, hoteles, clubes deportivos, casas habitación, hospitales e industrias. (SENER, 2013)

## **1.2.2. Dispositivos de aprovechamiento de energía eólica**

Ante los efectos negativos del cambio climático global y la llegada de la máxima producción mundial de petróleo convencional, la generación de energía eólica se presenta como la energía renovable más vendida en el ámbito internacional por potencia instalada (MW) y por energía generada, al ser una medida óptima para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI); reemplazar los usos energéticos de los combustibles fósiles, en particular del petróleo; crear empleos “verdes”; suministrar energía eléctrica a comunidades rurales y marginadas y

garantizar la seguridad energética de los países ante la volatilidad de los precios del petróleo. De esta manera, la energía eólica ha sido la energía renovable de mayor crecimiento mundial en términos de capacidad eléctrica instalada, con 194.4 giga watts (GW) acumulados en 2010, y cerca de 62% de la inversión global en energías renovables durante el mismo año. (Comisión para el dialogo de los pueblos indígenas en México, 2013)

Para fines de claridad es importante destacar que hay dos factores fundamentales para determinar la viabilidad de un parque eólico: el aprovechamiento y emplazamiento, y los costos totales de una planta eólica.

En términos generales el aprovechamiento de la energía eólica depende de la orografía y de la velocidad y dirección del viento, y para que la energía eólica se establezca en una localización concreta, mediante parques eólicos, el lugar de instalación debe cumplir con dos requisitos principales, primero es necesario evaluar el terreno y segundo la medición del viento.

Los requisitos fundamentales para un emplazamiento son: (Comisión para el dialogo de los pueblos indígenas en México, 2013)

1. Más de 2 000 horas de producción eólica equivalente a potencia máxima (horas equivalentes).
2. Respeto a la avifauna del entorno, estableciendo si es preciso un paso para aves migratorias entre grupos de aerogeneradores.
3. Lejanía de más de un kilómetro de núcleos urbanos para evitar la contaminación acústica de los parques eólicos.
4. La energía eólica debe estar instalada en suelo no urbanizable, generalmente.
5. No interferencia con señales electromagnéticas del entorno, ya que las señales de televisión, radio o telefonía se pueden ver perjudicadas si no se instalan dispositivos que lo eviten.

### 1.2.2.1. Energía eólica en México

La capacidad instalada de energía eólica en operación alcanzó los 1,638 MW en 2013, de los cuales sólo el 5.3% es operado por la CFE, mientras que el resto por particulares bajo esquemas de autoabastecimiento, pequeña producción y producción independiente.

México cuenta con 40,268 MW<sup>10</sup> de potencial de energía eólica, del cual, actualmente sólo se aprovecha el 4.1 % de dicha capacidad. Véase Tabla 1.2.3 (SENER, 2013)

CENTRAL	CAPACIDAD (MW)	GENERACIÓN* (GWH/AÑO)	UBICACIÓN	TIPO DE SERVICIO
La Venta, Yumil Ik, Guerrero Negro	86.7	170.00*	Oax, QR, BCS	Público (CFE)
La venta III, Oaxaca I,II,II,IV	510.9	1,677.2	Oax	Privado (PIE)
IIE	5.0	21.9	Oax	Privado (PP)
Varios proyectos	1,035.5	3,866.5	BC, Chis, Jal, NL, Oax	Privado (AUT)
Proyectos en pequeña y mediana escala	0.0	-	n.d.	Privado (AUT)
<b>Total en operación</b>	<b>1,638.0</b>	<b>5,735.6</b>		
En construcción y por iniciar obras	3,331.8	11,389.0	BC, Chis, Coah, NL, Pue, Oax, SLP, Son, Tamps y Ver	Privado (AUT, EXP, PP y PIE)
<b>Total</b>	<b>4,969.7</b>	<b>17,124.6</b>		

**Tabla 1.2.3 Centrales eólicas 2013 (CFE/CRE, 2013)**

Las regiones con la mayor capacidad de generación de energía eólica son:

El Istmo de Tehuantepec (Oaxaca) es donde se encuentran ubicados la mayoría de los parques eólicos del país, cuenta con 1,525 MW en operación. Además, el estado cuenta con 9 proyectos en construcción que suman un total de 1,183 MW. Debido a las excelentes condiciones del viento en esta zona es una de las más privilegiadas en México y en el mundo. (SENER, 2013)

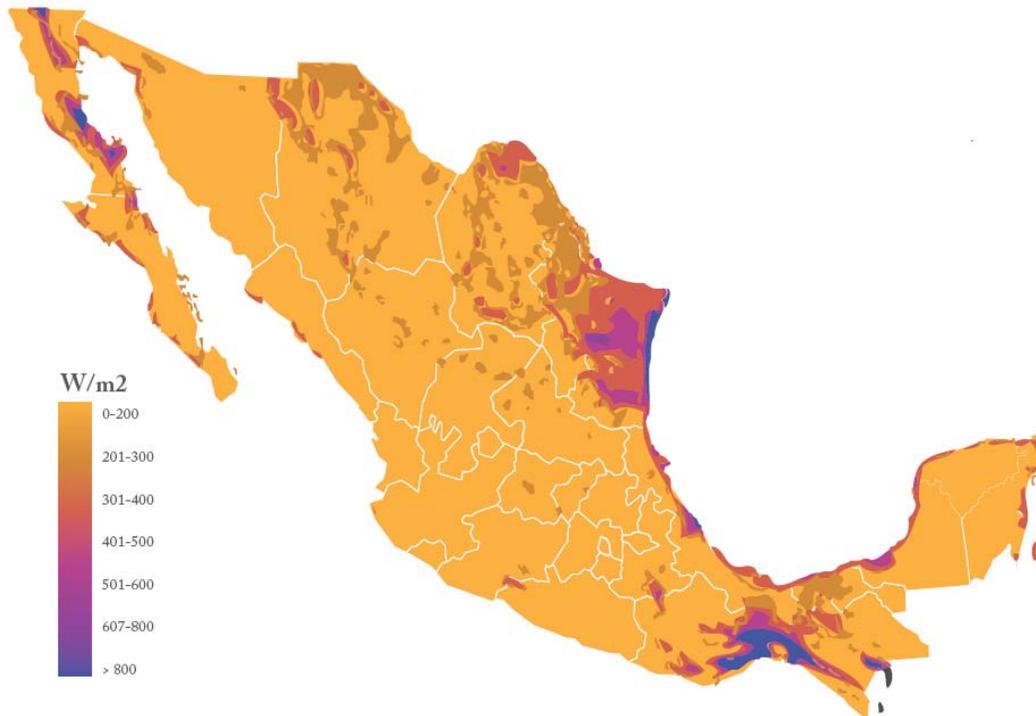
La Rumorosa (Baja California) tiene un potencial eólico de más de 5,000 MW.

Actualmente, existen cuatro proyectos en operación y construcción que suman una capacidad instalada de 539 MW. (SENER, 2013)

La costa del Golfo de México actualmente cuenta con proyectos en operación y en construcción por un total de 1,079 MW en los estados de Tamaulipas y Veracruz. (SENER, 2013)

En la región norte y centro, Nuevo León cuenta con 324 MW que se tiene previsto entren en operación a más tardar en 2015. San Luis Potosí tiene una central eólica y Coahuila dos proyectos en construcción que suman una capacidad de 501 MW. (SENER, 2013)

Otra de las zonas con potencial eólico es la Península de Yucatán, ya que cuenta con excelentes corrientes de viento en la costa de Quintana Roo y en la isla de Cozumel. Véase Figura 1.2.3



**Figura 1.2.3 Zonas potenciales para el desarrollo de proyectos de energía eólica ( $W/m^2$  es la densidad de potencia del viento, watts por metro cuadrado) (IIE, 2013)**

### **1.2.3. Dispositivos de aprovechamiento de generación de energía mediante la biomasa**

Esta tecnología emplea la materia orgánica susceptible de utilizarse como energía (desechos sólidos municipales, residuos agropecuarios y de los bosques). El aprovechamiento de este recurso puede realizarse vía combustión directa o por conversión de biomasa en diferentes combustibles (dependiendo de la técnica empleada: biodigestión anaerobia, pirolisis, gasificación o fermentación).

El Instituto de Investigaciones Eléctricas estima que la producción de residuos sólidos municipales en el país es de 90 mil toneladas diarias, con lo que se podría obtener una capacidad para generar electricidad de aproximadamente 150 MW. Esta alternativa es rentable en ciudades grandes y medianas.

Hasta diciembre de 2002, existían dos permisos autorizados por la CRE para generar electricidad con base en el aprovechamiento de biogás producido por la fermentación anaerobia de lodos en dos plantas de tratamiento de aguas. Ambos proyectos localizados en municipios colindantes con la ciudad de Monterrey, están actualmente en operación y cuentan con una capacidad instalada de 10.8 MW y pueden generar hasta 54 GWh/año. Adicionalmente existen 44 permisos autorizados para generar energía eléctrica en sistemas híbridos (combustóleo – bagazo de caña), con una capacidad instalada total de 391 MW. (SENER, 2004)

En el 2003 se puso en marcha el primer proyecto de generación de energía eléctrica a partir del biogás generado por la fermentación anaerobia de residuos sólidos orgánicos municipales en Salinas Victoria, Nuevo León. El proyecto cuenta con una capacidad instalada de 7.0 MW, y un permiso de generación de 58.2 GW/año. (SENER, 2004)

#### **1.2.3.1. Energía de biomasa en México**

El potencial de la bioenergía en México se estima entre 2,635 y 3,771 petajoules al año. En el sector agroindustrial de la caña de azúcar, se ha calculado un

potencial de generación de electricidad, a partir del bagazo de caña, superior a 3, 000, 000 de MWh al año.

Del potencial estimado, entre 27% y 54% proviene de los combustibles de madera, 26% de los agro-combustibles y 0.6% de los subproductos de origen municipal. Se estiman además 73 millones de toneladas de residuos agrícolas y forestales con potencial energético, y aprovechando los residuos sólidos municipales de las 10 principales ciudades para la generación de electricidad a partir de su transformación térmica, se podría instalar una capacidad de 803 MW y generar 4,507 MWh/año.

Por otro lado se estima que las comunidades rurales aisladas del país, satisfacen la mayor parte de sus necesidades energéticas con biomasa, principalmente con leña la cual provee cerca del 75% de la energía de los hogares.

El proyecto de Bioenergía de la empresa Sistemas de Energía Internacional S.A. de C.V., en Monterrey, N.L., es el primero en el país que aprovecha el biogás liberado por un relleno sanitario para entregar energía eléctrica a la red, con una capacidad de 12.7 MW. El proyecto está registrado en la junta ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio de las Naciones Unidas. Se estima que el proyecto reducirá 1.6 millones de toneladas equivalentes de bióxido de carbono. (SENER, 2009)

#### **1.2.4. Dispositivos de aprovechamiento de generación de energía geotérmica.**

La energía geotérmica es la proveniente del núcleo de la Tierra en forma de calor, que se desplaza hacia arriba en el magma que fluye a través de fisuras en rocas y que alcanza niveles cercanos a la superficie, donde existen condiciones geológicas favorables para su acumulación. Este tipo de yacimiento está asociado a fenómenos volcánicos y sísmicos, cuyo origen común son los movimientos profundos que ocurren continuamente entre los límites de las placas.

La corteza terrestre no está formada por una sola estructura, sino que consta de varias partes llamadas placas tectónicas, las cuales están en constante movimiento a velocidades de unos cuantos centímetros por año. El origen de los sistemas geotérmicos está relacionado con el movimiento de las placas oceánicas y continentales, las cuales, al chocar o separarse, constituyen regiones geológicamente activas, lo que implica la colisión e introducción de una placa por debajo de otra, incrementando las temperaturas, y formando magma que puede llegar a la superficie para crear volcanes, o permitiendo que el magma del manto llegue cerca de la superficie cuando las placas presentan movimientos divergentes.

En la actualidad se han identificado cinco tipos de sistemas geotérmicos, los cuales se explican a continuación:

1. **Sistemas hidrotermales.** Se caracterizan porque se alimentan con agua de la superficie de la tierra en forma de lluvia, hielo o nieve, la cual se infiltra lentamente en la corteza terrestre a través de poros y fracturas, penetrando a varios kilómetros de profundidad en donde es calentada por la roca, alcanzando en algunas ocasiones temperaturas de hasta 400 °C. En la actualidad estos sistemas son los únicos que se explotan comercialmente para la generación eléctrica.
2. **Sistemas de roca seca caliente.** Se caracterizan por ser sistemas con alto contenido energético pero con poca o nula cantidad de agua. No se explotan comercialmente en la actualidad, pero se encuentra en desarrollo la tecnología que permita su aprovechamiento. El Instituto Norteamericano de Medición Geológica, a través de la Encuesta Geológica Estadounidense (U.S. Geological Survey) ha estimado que la energía almacenada en los yacimientos de roca seca caliente que se encuentran dentro de los 10 kilómetros superiores de la corteza terrestre, equivale a más de 500 veces la energía acumulada en todos los yacimientos de gas y de petróleo del mundo, lo que refleja el potencial del recurso.

3. **Sistemas geopresurizados.** Se caracterizan por ser sistemas que contienen agua y metano disuelto a alta presión (del orden de 700 bares de presión) y mediana temperatura (aproximadamente 150 grados Celsius). No se explotan comercialmente en la actualidad.
4. **Sistemas marinos.** Se caracterizan por su alta entalpía (magnitud termodinámica) y localización en el fondo del mar. No se explotan comercialmente en la actualidad. Se han efectuado estudios preliminares en el Golfo de California con algunas inmersiones en un submarino, logrando observar a 2600 metros de profundidad chimeneas naturales descargando chorros de agua a 350 °C.
5. **Sistemas magmáticos.** Se caracterizan por ser sistemas de roca fundida existentes en aparatos volcánicos activos o a gran profundidad, en zonas de debilidad cortical. No se explotan comercialmente en la actualidad, y algunos ejemplos de estos sistemas son el Volcán de Colima (México) y el Volcán Mauna Kea (Hawái). El atractivo más importante de este tipo de sistemas son las altísimas temperaturas disponibles (800 °C), lo cual cobra especial relevancia si consideramos que la eficiencia de las máquinas térmicas es proporcional a la temperatura máxima de su ciclo termodinámico. Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con la tecnología y los materiales adecuados para resistir la corrosión y las altas temperaturas que permitan aprovechar la enorme cantidad de energía almacenada en las cámaras magmáticas de los volcanes activos.

Se tiene registro del aprovechamiento de la energía geotérmica en diversas actividades industriales como son: calefacción (Islandia, Estados Unidos de América, Nueva Zelanda), procesado de alimentos (Estados Unidos de América y Filipinas), lavado y secado de lana (China y Nueva Zelanda), fermentación (Japón), industria papelera (Australia, China y Nueva Zelanda), producción de ácido sulfúrico (Nueva Zelanda), manufactura de cemento (Islandia y China), o teñido de telas (Japón).

Los registros de 1999 indican que el uso de recursos geotérmicos de baja entalpía a nivel mundial fue de 16,209 MWT. El 37% de estos recursos se empleó en el calentamiento de espacios, 22% en balneología, 14% en bombas de calor, 12% en invernaderos, 7% en acuacultura, 6% en aplicaciones industriales y 2% en agricultura y otras aplicaciones.

La generación de electricidad por medio de la energía geotérmica y la estimación del potencial aprovechable están íntimamente ligados con las condiciones naturales del yacimiento geotérmico utilizado para ese fin. La presión de entrada a las turbinas de vapor está determinada por la presión y la temperatura del yacimiento.

De manera indirecta y gracias a estimaciones e investigaciones realizadas en otros países para desarrollar el aprovechamiento de otro tipo de yacimientos, como es el de fracturamiento en roca seca caliente profunda, el Massachusetts Institute of Technology considera que Estados Unidos de América podría obtener 100,000 MW con esta tecnología, y que en México podría existir más de 20,000 MW de potencial geotérmico.

Al desarrollar e investigar las ventilas hidrotermales en el Golfo de California, su aprovechamiento podría significar más de 10,000 MW. Sin embargo, en la actualidad todavía no se ha desarrollado la tecnología que permitirá su aprovechamiento, por lo que se requiere continuar con esta línea de investigación y desarrollo de tecnología.

El primer reporte de la instalación y operación de una planta geotermoeléctrica data de principios de los años treinta, en el campo geotérmico de Larderello, Italia, mientras que en el continente americano la primera planta se instaló el 20 de noviembre de 1959, en el campo Pathé, en México, con una capacidad de 3.5 MW y operó hasta 1973, año en el que fue desmantelada.

Otro aspecto característico de las plantas geotermoeléctricas es su factor de planta de entre 80 y 90%, el cual es superior al compararlo con el factor de planta

de 65% de las plantas térmicas convencionales. Adicionalmente la operación de dichas plantas requiere pequeñas cantidades de agua de enfriamiento, que no se considera que compita con el desarrollo de otras actividades regionales que requieran agua en sus procesos.

En el plano de cuidado al ambiente, las plantas geotermoeléctricas generan aproximadamente un sexto del CO<sub>2</sub>, comparado con las instalaciones que queman gas natural; asimismo, prácticamente no producen óxidos de nitrógeno o de azufre, por lo que se considera una fuente de energía limpia. Se estima que cada 1,000 MW generados con geotermia evitan la emisión anual a la atmósfera de aproximadamente 860 toneladas de diversas partículas contaminantes y de 3.5 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. (SENER, 2009)

#### **1.2.4.1. Energía geotérmica en México**

De acuerdo con datos de la CFE, al 31 de diciembre de 2011 se encontraban en operación 38 unidades de generación geotermoeléctrica, con el mayor aprovechamiento localizado cerca de Mexicali, Baja California, en la central de Cerro Prieto con 645 MW. Ésta representaba 72% de la capacidad geotermoeléctrica en operación, mientras que el 28% restante estaba integrado por los Azufres, Michoacán (191.6 MW), Humeros, Puebla (40 MW) y Tres Vírgenes, Baja California Sur (10 MW). Véase Tabla 1.2.4

Nombre de la central	Número de unidades	Fecha de entrada en operación	Capacidad efectiva instalada (MW)	Ubicación
Cerro Prieto I	5	1973	105.0	Baja California
Cerro Prieto II	2	1984	220.0	Baja California
Cerro Prieto III	2	1985	220.0	Baja California
Cerro Prieto IV	4	2000	100.0	Baja California
Los Azufres	15	1982	191.6	Michoacán
Los Humeros	8	1991	40.0	Puebla
Tres Vírgenes	2	2000	10.0	Baja California Sur
<b>Total</b>	<b>38</b>		<b>886.6</b>	

**Tabla 1.2.4 Capacidad efectiva de generación geotermoeléctrica nacional, al 31 de diciembre de 2011. (CFE, 2011)**

#### 1.2.4.2. Potencial de aprovechamiento

De acuerdo con estudios preliminares, en el país existen reservas de aprovechamiento geotérmico equivalentes a 10,644 MWe distribuidas de la siguiente manera:

- **Reservas probadas.** Son aquellas reservas de yacimientos conocidas que, de acuerdo con el análisis de geología e ingeniería, se estima con “razonable certeza”, recuperables comercialmente en las condiciones económicas y métodos de operación actuales; en este caso el potencial estimado es de 1,144 MWe e incluye a Cerro Prieto, Baja California, Los Azufres, Michoacán, Los Humeros, Puebla y Cerritos Colorados, Jalisco.
- **Reservas probables.** Son aquellas donde el análisis geológico y de ingeniería de yacimientos, incorporado a un análisis probabilístico (Montecarlo) del método volumétrico, indica que hay una probabilidad de, al menos, 50% de que las cantidades por recuperar sean iguales o mayores

que la suma de las reservas probadas y reservas probables; en este caso, el potencial estimado para estas reservas es de 2,077 MWe distribuido en las siguientes localidades: La Primavera, San Marcos y Los Hervores en el estado de Jalisco; zonas cercanas a Los Humeros en Puebla; Araró, Ixtlán y San Agustín, en Michoacán; y San Bartolomé y Puruaguita en Guanajuato.

- **Reservas posibles.** Son aquellas que por sus volúmenes, situación geológica y de diseño son de recuperación comercial menos segura que las reservas probables. De acuerdo con esta definición, cuando son utilizados métodos probabilísticos la suma de las reservas probadas, probables y posibles, tendrá al menos una probabilidad del 10% de que las cantidades realmente recuperadas sean iguales o mayores. Para este tipo de reservas el potencial estimado es de 7,423 MWe.

De acuerdo con el estudio elaborado por la consultora PWC para el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, en donde participaron los principales actores del sector por parte de instituciones públicas, privadas y la academia, se partió de la base de un potencial de geotermia de 10,000 MW a nivel nacional, a partir de la información y tecnologías vigentes. Además, se consensó que existe un objetivo alcanzable de 2,200 MW geotermoeléctricos que pudieran ser desarrollados en el país hacia el 2020 dados los escenarios de precios de gas natural vigentes y la evolución esperada de la tecnología. A partir de este potencial, se cuantificó que se podría tener un impacto en el PIB estimado en 95.4 miles de millones de pesos, 117.3 miles de millones de pesos de inversión con un 65% de contenido local e ingresos tributarios por 8 mil millones de pesos. Dicha capacidad permitiría también reducir hasta en un 13% las importaciones diarias de gas natural hacia el 2020 con energía firme, capturar un 14% de las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> estimadas para el mismo periodo y generar hasta 36,700 empleos directos e indirectos en los sectores involucrados de la industria nacional. Otros de los impactos esperados de dicha penetración serían el desarrollo de la industria local con gran potencial de exportaciones de

alto nivel agregado y el desarrollo consecuente de las regiones donde se ubica dicho recurso renovable en el país. Dependiendo de su uso la energía geotérmica puede no ser renovable.

### **1.3. Alcance de energías alternativas a las derivadas del petróleo**

A través de la historia, el ser humano ha ido incrementando la dependencia energética, en la actualidad no podríamos imaginar la vida sin energía ya que está presente en la iluminación, calefacción, refrigeración, comunicación, transporte, etcétera, por lo que las actividades que realizamos cotidianamente están ligadas al uso de la energía.

Cuando nos referimos a las energías alternativas son aquellas que a diferencia de las energías derivadas del petróleo usan como fuente de generación recursos renovables y son una fuente prácticamente inagotable en relación al tiempo de vida del hombre en el planeta y se producen de manera continua, tienen su origen en los procesos ambientales y atmosféricos naturales, como lo son: el sol, viento, el movimiento de las olas en la superficie del mar y los océanos, la descomposición de la materia orgánica, el calor del interior de la tierra, todas estas son fuentes de energías alternativas.

Por otra parte, la creciente y constante contaminación del medio ambiente, ha generado que durante los últimos años sus recursos se estén viendo afectados severamente y manera considerable peligran su continuidad, además del daño a los animales porque se destruye su hábitat y las muertes de esta especie, como podemos ver esta problemática amenaza la conservación de la tierra y de igual manera a los seres humanos.

#### **1.3.1. Panorama de las energías renovables en el mundo**

Para finales de 2013, las energías renovables representaron 22.1% del total de generación de energía eléctrica en el mundo. En el mismo periodo las inversiones mundiales en el sector fueron de 214,400 millones de dólares, lo que significó un

decremento con respecto al año anterior de 14% (250,000 mdd). Véase Tabla 1.3.1 (SENER, 2013)

<b>Inversión por país/región 2013</b>			
<b>País</b>	<b>Millones de USD</b>	<b>de</b>	<b>Crecimiento 2012-2013</b>
<b>China</b>	56,300		-6%
<b>Estados Unidos</b>	35,800		-10%
<b>India</b>	6,100		-15%
<b>Brasil</b>	3,100		-54%
<b>Europa</b>	48,400		-44%
<b>Asia y Oceanía (excepto India y China)</b>	43,300		47%
<b>América (excepto Estados Unidos y Brasil)</b>	12,400		26%
<b>África y Medio Oriente</b>	9,000		-14%
<b>Total</b>	<b>214,400</b>		<b>-0.6%</b>

**Tabla 1.3.1 Inversión por país/región 2013 (SENER, 2013)**

### **1.3.2. Panorama de las energías renovables en México**

Hasta 2013 México contaba con una capacidad efectiva instalada para la generación de energía de 64,690 MW, de los cuáles 14,891 provinieron de fuentes renovables de energía (solar, eólica, hidráulica, geotérmica y biomasa), lo que representa el 23% del total de la capacidad instalada, de acuerdo con estimaciones de Pro México con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Véase Tabla 1.3.2

**Capacidad y potencial para generación de energía a través de fuentes renovables en México, 2013 (Megawatts)**

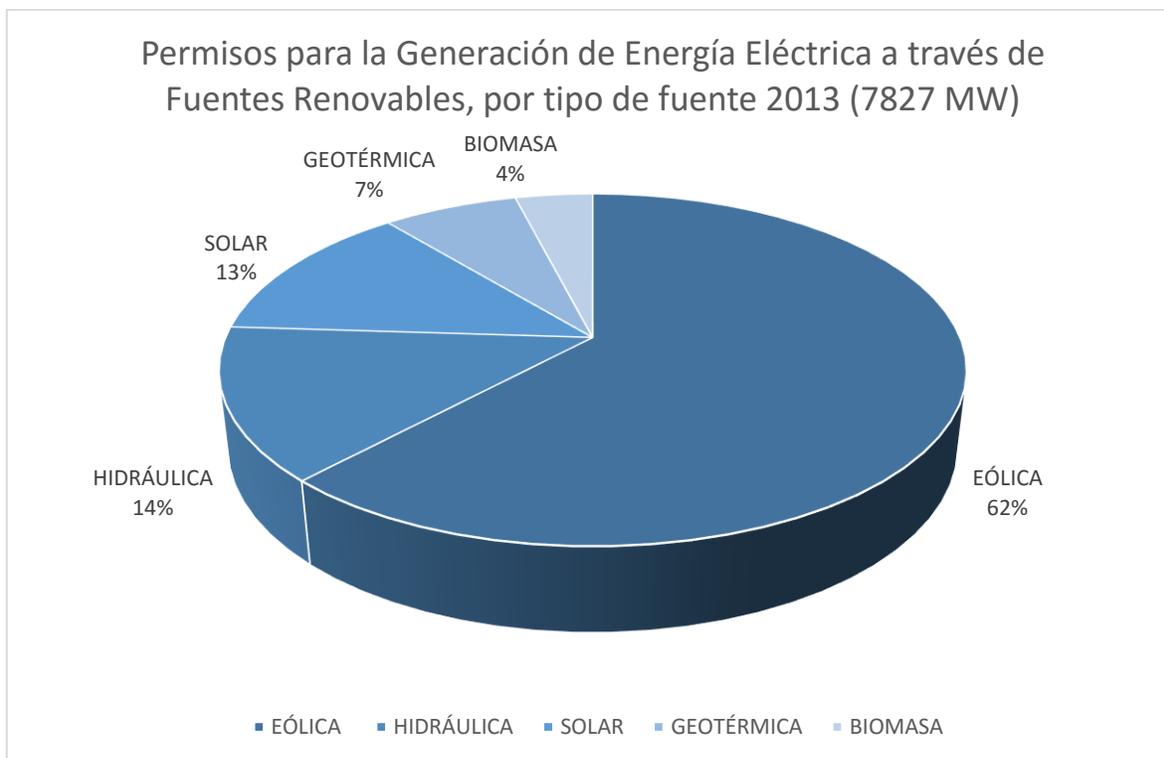
<b>Energía</b>	<b>Potencial</b>	<b>Capacidad instalada</b>
Hidráulica	53,000	11,694
Eólica	40,268	1,638
Geotérmico	10,664	823
Biomasa	83,500-119,498	661
Solar	24,300*	76
<b>Total</b>	<b>211,732 - 247,730</b>	<b>14,891</b>

\*Potencial estimado al año 2030.

**Tabla 1.3.2 Potencial de generación estimado al año 2030. (SENER/CRE/CFE, 2014)**

Actualmente el país cuenta con 246 centrales de operación y construcción para la generación de energía eléctrica por medio de energías renovables, por su parte Oaxaca y Veracruz son los estados con mayor número de proyectos eólicos y de biomasa, respectivamente.

La CRE ha otorgado hasta la fecha 234 permisos para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables de energía, dando un total de 7,827 MW de capacidad instalada (23% del total de capacidad autorizada a los permisionarios de la CRE), de los cuales el 31% ya está en operación y el restante está proyectado que entre en operación en los próximos años. Véase Tabla 1.3.3 (CRE, 2014)



**Tabla 1.3.3 Permisos de generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables. (CRE, 2014)**

México tiene fortalezas dentro del sector energético ya que cuenta con una ubicación geográfica inmejorable y abundantes recursos naturales, además de que ofrece un gran potencial para la fabricación de equipos, dados los bajos costos industriales y la mano de obra altamente calificada.

El éxito de México en el desarrollo de sectores como el automotriz y eléctrico-electrónico, aporta una plataforma de metodología especializada en infraestructura, que favorece el desarrollo del sector de energías renovables en México y permite la optimización de las cadenas de suministro, programas de apoyo comunes y ventajas sinérgicas.

### **1.3.3. Proyección de energías renovables al año 2027**

Se estima que para 2027 la capacidad instalada para la generación de electricidad a partir de energías renovables se incremente en 21,089 MW, de los cuales, se

estima que las fuentes de energía eólica e hidráulica tendrán la mayor participación, con 52% y 25%, respectivamente. Este pronóstico incluye las modalidades de servicio público, autoabastecimiento y generación distribuida. Véase Tabla 1.3.4 (SENER, 2014)

Proyección de capacidad adicional instalada 2013-2027 (Megawatts)

	Servicio público	Autoabastecimiento	Generación distribuida	Total	Participación
Eólica	3,519	7,066	395	10,980	52.5%
Hidráulica	4,713	476	150	5,339	25.5%
Solar	50	2,228	1,274	3,552	17.0%
- Fotovoltaica	36	2,199	1,273	3,508	16.8%
- Termosolar	14	29	1	44	0.2%
Biomasa	-	422	345	767	3.7%
Geotérmico	180	40	57	277	1.3%
<b>Total</b>	<b>8,462</b>	<b>10,232</b>	<b>2,221</b>	<b>20,915</b>	<b>100%</b>

Tabla 1.3.4 Proyección de Energías Renovables al 2027. (SENER, 2014)

### 1.3.4. Captación de inversión extranjera

Entre 2003 y 2013, México recibió aproximadamente 11,099 millones de dólares de inversión en la industria de energías renovables, la cual se concentró en los estados de Oaxaca y Baja California. Los principales países inversionistas fueron España, Estados Unidos y Alemania. Véase Tabla 1.3.5

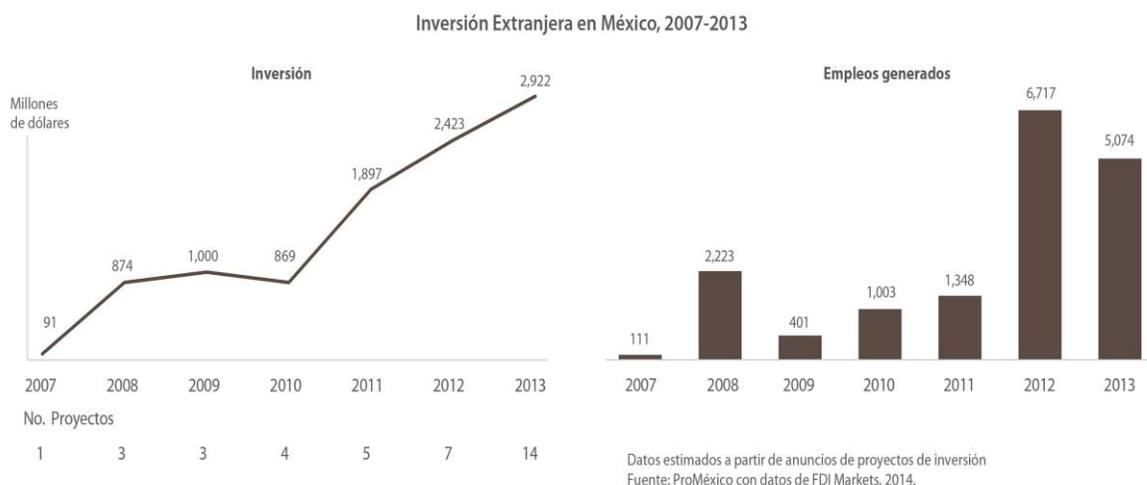


Tabla 1.3.5 Captación de inversión extranjera (Pro México, 2014)

## **1.4. Evolución del alumbrado público**

### **1.4.1. El alumbrado público en la historia**

El fuego fue la primera forma de iluminación artificial, y poco después ésta se transformó en antorchas que más adelante alumbraban las calles y plazas en la época medieval.

El alumbrado público, nació en el siglo XVI, como elemento de seguridad y defensa, para garantizar la vida y los intereses de las personas en las ciudades más populares. En Francia Luis XI dictó medidas en las que pedía a los vecinos usar armas, hacer rondas y encender antorchas o lámparas en las ventanas de sus casas. Sin embargo el peligro era tan grave que no se conservó el servicio de rondas. (Arizpe, 1900)

Para 1558 el parlamento francés decreto que se encendieran luces en las esquinas de las calles, y si fuera necesario aun en el centro, con esto se da por decreto el alumbrado público. Sin embargo se dejaba a cargo de los vecinos el cuidado y la conservación de las luces lo que resultaba en un abandono.

En 1663 había personas que acompañaban con una luz al transeúnte, y se le pagaba una cuota por cierta cantidad de tiempo.

Para 1667 se colocaron faroles de vidrio con velas de sebo y en lugar de postes y se colocaban en el eje de las calles por medio de cuerdas.

En 1709 Luis XIV ordenó que el alumbrado estuviera a cargo de las autoridades y el tesoro público.

En 1769 se sustituyó el alumbrado de velas por el de lámparas de reverbero ya que el alumbrado era débil, sucio y con interrupciones. En 1787 se les adiciono el tubo-chimenea de vidrio y quemador de doble corriente de aire. Gracias a esta mejoras de 1780 a 1834 fue el triunfo del alumbrado de aceite.

En Londres gracias a que se encontraba situada en un rico banco de carbón de piedra, propicio la naciente industria del alumbrado de gas. En pocos años el gas daba vuelta al mundo como el mejor sistema de iluminación, y grandes ciudades como Berlín y París también tenían compañías importantes que distribuían esta tecnología.

Con la aparición del alumbrado eléctrico, la industria del gas comenzó su declive. Para 1875 las lámparas eran de tipo arco eléctrico. Para 1881 ya había 4000 lámparas y en 1890 ya se encontraban instaladas cerca de 130,000 lámparas.

A finales del siglo XIX se buscó solucionar el problema de la emisión intensa de luz y el calor emitido, desarrollando lámparas incandescentes, éstas eran baratas y brillantes, después se desarrolló la lámpara fluorescente, que fue sustituida por la lámpara de vapor de mercurio de alta presión que tenía como inconveniente la pérdida de intensidad luminosa rápidamente, y un poco después ésta fue sustituida por la lámpara de vapor de sodio.

Actualmente se está cambiando a la iluminación LED, debido al ahorro y la eficiencia que brinda el obtener la misma luminosidad pero con un gasto menor de potencia.

#### **1.4.2. Evolución del alumbrado público en México**

El alumbrado de los antiguos mexicanos se obtenía principalmente del pino resinoso, se colocaba en braseros ante los altares de sus dioses, en los palacios y en sus hogares, durante la noche hombres encendían las luminarias conformadas por grandes braseros con fuego, estas eran colocadas en los techos de las bocacalles, y se mantenían encendidas durante toda la noche.

Durante la conquista desapareció el alumbrado durante más de dos siglos, hasta que el gobierno colonial a finales del siglo XVIII preocupado por la inseguridad, ordenó a los vecinos a colgar un farol en las ventanas y balcones de sus casas.

En 1777 D. Pedro Cortés, un hombre progresista iniciador del alumbrado público propuso al Virrey, Conde de Bucareli, el inicio del proyecto de iluminar las calles con luces producidas con mechas de algodón, torcidas y puestas en las esquinas. Más tarde él perfeccionó su idea inspirado en la Ciudad de Cádiz, proponiendo el uso de velas de sebo prieto, éstas estaban colocadas en faroles de vidrio y con una separación de cerca de 21 metros de distancia. (Galindo, 1901)

En 1783 el Virrey D. Matías de Gálvez publicó una orden la cual obligaba a los vecinos a colocar faroles con velas de sebo frente a sus casas, también prohibió el aumento del precio de los materiales y aumento la fabricación de los faroles para facilitar la realización del proyecto. Para 1787 había resultados poco favorables aun cuando se impuso como castigo el desalojo a quién no lo hiciera. Debido a esto el ayuntamiento instaló 50 luces en toda la ciudad. (Galindo, 1901)

Fue en 1789 cuando el Virrey D. Juan Vicente de Güemes Pacheco de Padilla, segundo Conde de Revillagigedo, quién fuera el fundador del alumbrado público en México, estableció la instalación de 1,128 faroles de vidrio, con lámparas de hoja de lata y de mecha impregnada en aceite de nabo, usadas en postes de madera y con una separación de cerca de 42 metros de distancia.

Debido a la mala calidad de la luz ya que ésta era débil y sucia así como al estar expuesta a accidente e interrupciones y a que la ciudad requería de más luces en 1848 se propuso el empleo de lámparas especiales que usaban como combustible líquido de trementina, éstas ofrecían una luz más limpia, más blanca y más intensa. Para finales de 1849 había 450 lámparas de trementina instaladas, sustituyendo a las anteriores lámparas de aceite que se destinaron a calles menos céntricas. En 1853 la ciudad contaba con 1,653 faroles; 475 lámparas de trementina y 1,160 de aceite. Para 1855 había mil lámparas de trementina. (Galindo, 1901)

En 1866 se cambiaron los pies de gallo de las calles céntricas por faroles en el centro de las calles que repartían mejor la luz.

En 1869 aparecieron las primeras luces de gas hidrógeno que desplazaron a las de trementina, así pues las luces de gas fueron instaladas en donde había luces de trementina, y a su vez las luces de trementina fueron instaladas donde había luces de aceite y las de aceite en lugares apartados.

En noviembre de 1872 se inauguró el alumbrado de gas en la alameda, que contaba con 200 faroles, distribuidos simétricamente, a media noche se apagaban 160 luces y las 40 luces restantes eran las luces de seguridad que se apagaban hasta el amanecer.

En septiembre de 1881 se creó el Ayuntamiento de la Inspección del alumbrado público organismo encargado de cuidar el cumplimiento de los contratos y servicios de alumbrado. Para ese entonces la ciudad contaba ya con 40 focos de luz eléctrica que sustituyó a las lámparas de gas, las cuales estaban en muy mal estado. (Carranza, 1991)

En 1886 aparecieron las lámparas alimentadas por solarina, que ofrecían la ventaja de brindar luz más blanca y un encendido más rápido y fácil. Para 1890 había 1,169 lámparas de solarina, 461 lámparas de trementina, 408 luces de gas hidrógeno, 298 focos de 2,000 bujías y 135 focos eléctricos de 1,200 bujías. Para estos momentos ya no había alumbrado de aceite. (Carranza, 1991)

En ese entonces la luz eléctrica y de gas era proporcionado por la Compañía Mexicana de Gas y Luz Eléctrica, la empresa fue muy lento en sus labores, la ciudad estaba en progreso y demandaba más alumbrado y no pudo satisfacer la demanda, por lo que en 1896 se hizo una convocatoria que ganó la casa Siemens y Halske, de Berlín quienes al estilo de su ciudad comenzaron la instalación que en su mayor parte fue subterránea, colocaron lámparas y candelabros elegantes en el centro de la ciudad. En 1898 había 480 focos de 2,000 bujías y 120 de 1,200 bujías y algunas lámparas incandescentes en las calles principales. En 1899 tomó el nombre de Compañía Mexicana de Electricidad y construyeron la estación central en Nonoalco y dos subestaciones. (Carranza, 1991)

Para 1901 existían 500 focos de 2,000 bujías, 271 focos de extensión de 1,200 bujías, 107 focos de 1,200 bujías y 101 focos incandescentes de 50 bujías.

En 1902 se constituye la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza que instalan la planta hidroeléctrica de Necaxa, Puebla con 6 unidades y una capacidad instalada de 31,500MW y comenzó a transmitir la electricidad en 1905. A partir de eso poco a poco se comenzaron a sustituir los sistemas anteriores por lámparas eléctricas.

Para finales de 1910 las inversiones en alumbrado se detuvieron que trajeron como consecuencia en 1921 apagones.

En 1928 se contaba con 8,881 lámparas alimentadas en serie.

Para 1937 bajo el mandato del general Lázaro Cárdenas se crea la Comisión Federal de Electricidad que trabajó en provincia.

Para 1952 se contaban con 35 mil lámparas incandescentes y para 1964 ya había 151,887 luminarias de las cuales 81,390 eran fluorescentes y mercuriales y 35,507 incandescentes. Las luces incandescentes comenzaron a ser remplazadas por mercuriales.

Durante el mandato del licenciado Adolfo López Mateos se nacionalizó la industria eléctrica.

En 1978 Se cambió la iluminación mercurial por la de sistema de vapor de sodio de alta presión ya que esta proveía las ventajas de tener un menor consumo de energía eléctrica y proporcionan mayor cantidad de lúmenes.

Para el 2014 el alumbrado público en la ciudad de México consta de 345,420 luminarias en vialidades primarias y 157 superpostes con 20 lámparas cada uno distribuidos en plazas comerciales, paraderos, etcétera.

## **1.5. Evolución de las centrales de carga**

Los dispositivos móviles actuales se han convertido en una gran necesidad, las personas pueden pasar horas en el uso de internet, hablando con la gente, revisando correo, utilizando redes sociales, compartiendo fotos, etcétera. Como consecuencia del gran uso, estos dispositivos consumen muy rápidamente la batería, sobre todo cuando se utiliza el internet, así que la batería no llega al final del día por lo que muchas veces es necesario realizar una recarga sobre todo cuando necesitamos hacer una llamada urgente.

Las baterías de los dispositivos móviles no son suficientes por lo tanto se han buscado diversas soluciones para contrarrestar esta necesidad. Algunas de las soluciones han sido instalar centrales de carga, las primeras centrales de carga ofrecían la recarga por una cantidad de dinero, actualmente se están instalando dichas estaciones de carga para uso público gratuito.

Debido a que los dispositivos móviles son valiosos, se propuso que las centrales de carga debían ofrecer recargar dichos dispositivos dentro de cajas de alta seguridad, posteriormente empezaron a utilizarse pantallas que contiene comerciales los cuales ayudan a ser más rentables estas máquinas.

También comenzaron a instalarse centrales de carga en hoteles, bares, restaurantes, cafeterías, etcétera, que ofrecían recargas gratuitas a los clientes.

Las máquinas de carga automatizada ofrecen al público la posibilidad de recargar un dispositivo móvil, por lo general éstas máquinas recargan más rápido, éstas recargas tarda alrededor de 10 minutos.

En el 2006 comenzaron a aparecer las primeras estaciones de carga pública para dispositivos móviles, posteriormente, pensando en las necesidades actuales y con el aumento y necesidad de utilizar cada vez más las energías renovables y limpias, se comenzaron a diseñar estaciones de carga abastecidas con energía solar.

Algunos ejemplos de estaciones de carga gratuitas abastecidas con energía solar son: las cabinas telefónicas de Londres convertidas en centrales de carga de dispositivos móviles y las centrales de carga de Nueva York que se encuentran en la calle.

En octubre de 2014 se comenzó a realizar un proyecto para readaptar las ya clásicas cabinas telefónicas londinenses las cuales habían sido desplazadas por los dispositivos móviles, debido a esto se buscaron soluciones para que sigan siendo útiles, se han transformado dichas cabinas en centros de recarga para dispositivos móviles, que permitan a los usuarios disponer de una carga extra de forma gratuita. Véase Figura 1.5.1



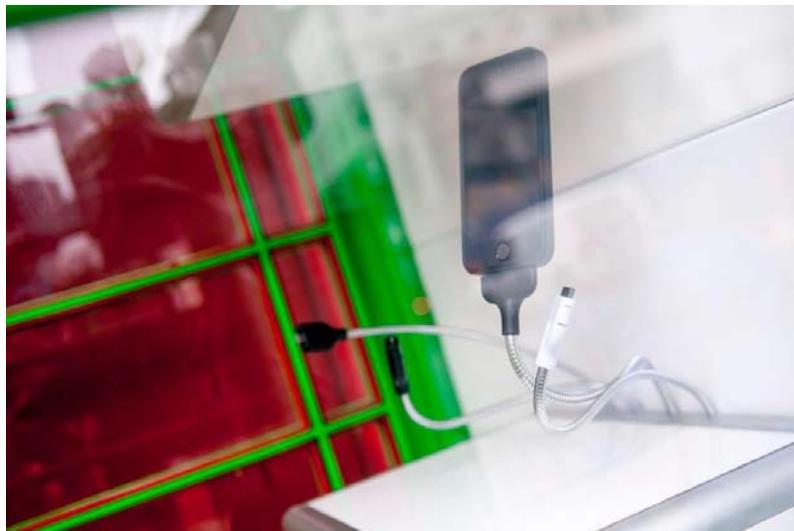
**Figura 1.5.1 Central de carga para dispositivos móviles en Londres (Solarbox London, 2014)**

La idea es transformar las cabinas como puntos de recarga para dispositivos móviles, empleando paneles solares de 86 cm en el techo de la cabina, de esta forma se respeta el medio ambiente, por ello que las cabinas han cambiado del color rojo al verde, que ayudará a los usuarios a reconocerlas. Véase Figura 1.5.2

La cabina posee en su interior una variedad de estaciones de carga de diferentes modelos de dispositivos móviles, la estación de carga es capaz de recargar 100 móviles al día y permite un 20 por ciento de batería en 10 minutos. Mientras esperan a la recarga en un monitor los usuarios ven publicidad por medio de la cual se financiará el mantenimiento. Véase Figura 1.5.3



**Figura 1.5.2 Alimentación solar de la central de carga para dispositivos móviles en Londres (Solarbox London, 2014)**



**Figura 1.5.3 Diseño interior de la central de carga para dispositivos móviles en Londres (Solarbox London, 2014)**

Actualmente en Londres existe solo una cabina instalada y como inicio se piensan instalar 6 cabinas, en abril de 2015 se piensa aumentar la instalación de las otras 5 cabinas.

Se reporta que cerca de 6 personas por hora utilizan la cabina.

Después de que Nueva York sufriera de un apagón de energía eléctrica como consecuencia del huracán Sandy, uno de los problemas fue que no se podían comunicar debido a que sus teléfonos se encontraban descargados, para prevenir que en un futuro vuelva a ocurrir, se ha realizado un esfuerzo por instalar 25 estaciones de carga públicas para dispositivos móviles. (Street charge, 2014)

Estas bases son alimentadas por 3 paneles solares de 20 W, inclinados a 15 grados al sur para mejor optimización. Contiene baterías que son cargadas en solo 4 horas, las baterías son de litio de 168 Wh para el uso nocturno y de días nublados, tienen 2 años de vida y pueden ser fácilmente remplazadas. Cada estación de carga contiene seis terminales USB y micro USB que cargan los dispositivos como si estuvieran conectados a la pared. Tienen un peso de 371 Kg.

Las estaciones de carga pretenden proveer también un ambiente de relajación es por ello que se instalaron en parques públicos, espacios comerciales recreativos, universidades, etcétera. Están hechos de materiales resistentes al clima. Véase Figura 1.5.4



**Figura 1.5.4 Central de carga para dispositivos móviles en Nueva York  
(Street charge, 2014)**

## **2. PROPUESTA DEL DISEÑO DEL ALUMBRADO PÚBLICO ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR Y ESTACIÓN DE CARGA PARA DISPOSITIVOS MÓVILES**

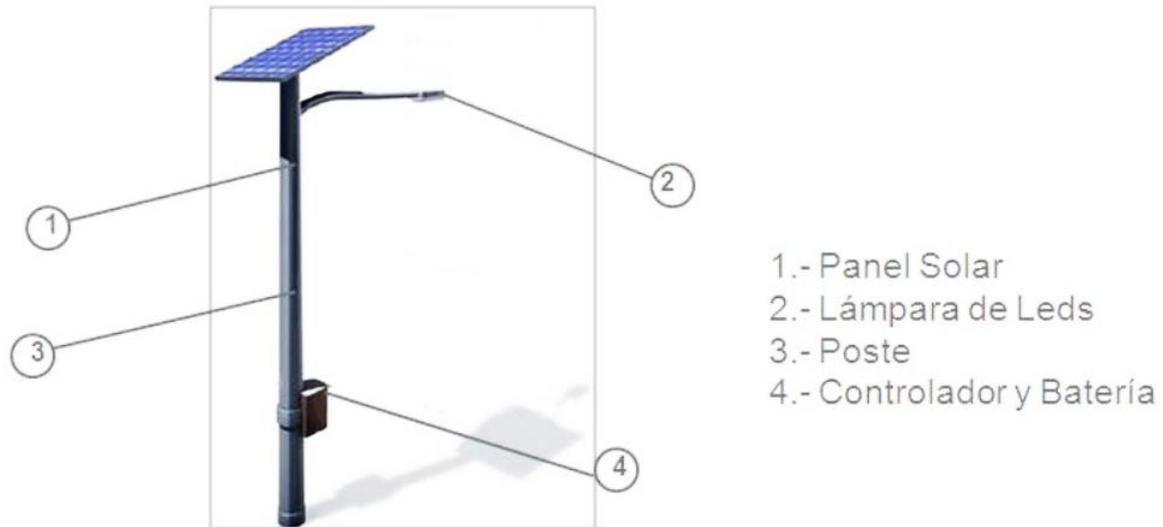
### **2.1. Principio de operación**

Las líneas de telefonía celular en México totalizaron 101 millones 339,000 suscripciones en el primer trimestre del año, casi un 7% más en comparación al trimestre inmediato anterior, el último de 2012, cuando entonces sólo se perfilaba la existencia de 100 millones de líneas. (The Competitive Intelligence Unit CIU, 2013)

Lo anterior implica un crecimiento de suscripciones de 6.5% entre el último trimestre de 2012 y el primero del 2013.

Con este antecedente y pensando en solventar la necesidad de la recarga de los dispositivos móviles (celular, laptop, reproductor portátil, etcétera.) utilizando como medio de carga la energía solar.

El funcionamiento es totalmente autónomo, a modo de pequeñas centrales fotovoltaicas. Los paneles solares captan durante el día la energía solar, transformándola en energía eléctrica y es enviada al sistema de almacenamiento (baterías) a través de un controlador de carga para que finalmente, cuando sea necesario, mediante un control automatizado se pongan en funcionamiento las luminarias con la energía que se encuentra en el sistema de almacenamiento y proporcionando energía en el centro de carga disponible para realizar una recarga de los dispositivos móviles. Véase Figura 2.1.1



**Figura 2.1.1 Componentes del sistema. (Esco-tel, 2014)**

### **2.1.1. Carga diurna**

En el amanecer, el voltaje que genera el arreglo fotovoltaico se eleva desde cero hasta el punto en que excede el voltaje de las baterías, y se inicia el flujo de la corriente solar de los módulos fotovoltaicos hacia el sistema. El controlador permite el paso de toda la corriente que puedan generar los módulos solares.

Conforme avanza la mañana la corriente solar del arreglo fotovoltaico se eleva hasta un máximo. La corriente generada se dirige a recargar las baterías de la descarga de la noche anterior. El banco de baterías está siendo cargado hasta que llega a determinado voltaje. A este voltaje el control empiezan a modular la corriente a las baterías en pulsos (PWM) para mantener un voltaje constante por algunas horas. Conforme las baterías terminan de recargarse, los pulsos se van haciendo más cortos. Finalmente, el control cambia a un estado de flotación disminuyendo a un voltaje menor. Por medio de esta carga en etapas se llega a la capacidad máxima del banco de baterías sin que se tenga una gasificación excesiva o que la batería no resulte cargada completamente.

### **2.1.2. Operación nocturna**

Conforme la insolación disminuye, llegará un momento en que el controlador detecte la ausencia de luz solar y active la lámpara. En el ocaso, cuando el voltaje del arreglo solar es inferior al voltaje de las baterías, los controles apagan sus componentes de potencia evitando de esta manera que el banco de baterías se descargue a través del arreglo solar en la noche (los módulos solares se convierten en una carga eléctrica cuando no hay insolación). Durante la noche, la lámpara se alimenta directamente del banco de baterías ya que no existe generación solar y por lo tanto se descargan, aproximadamente un 12% al finalizar la noche. Al siguiente día, la operación descrita se repite y el arreglo solar recarga al banco de baterías de la descarga de la noche anterior.

### **2.1.3. Días nublados**

En esta condición, la corriente que entregan los módulos solares es muy pequeña, 20 % de la corriente máxima aproximadamente por lo que no pueden reponer la descarga del banco de la noche anterior y el banco de baterías paulatinamente se descarga. El sistema está diseñado para soportar un periodo de dos días consecutivos sin insolación. Pasado el periodo de nublados, el arreglo solar tiene la capacidad suficiente para recuperar al banco de baterías.

### **2.1.4. Descripción de componentes**

#### **2.1.4.1. Postes solares**

El poste es la estructura sobre la cual se soporta la o las luminarias solares, generalmente son metálicos y van anclados al piso con un bloque de concreto. Son muy resistentes a condiciones climáticas adversas y tienen una larga duración.

Todo el sistema fotovoltaico va incluido en el poste, razón por la cual son comúnmente llamados "postes solares" o "postes fotovoltaicos" Véase Figura 2.1.2



**Figura 2.1.2 Diferentes tamaños y diseños de postes solares (Esco-tel, 2014)**

#### **2.1.4.2. Paneles solares**

Los paneles solares están formados por numerosas celdas solares. Las celdas solares son pequeñas células hechas de silicio cristalino o arseniuro de galio, es decir, las celdas son cristales de silicio o cristales de arseniuro de galio que son materiales semiconductores (es decir, materiales que pueden comportarse como conductores de electricidad o como aislantes, depende del estado en que se encuentren). Estos materiales se mezclan con otros como por ejemplo el fósforo o el boro para darles al silicio o al arseniuro de galio una carga positiva o negativa. Solamente si estas celdas tienen carga positiva y negativa pueden generar electricidad, a esto se le llama efecto fotovoltaico. Una parte de la celda solar se construye con un material semiconductor al que le sobran electrones (carga negativa, semiconductor del tipo P) y otra parte se hace con un material semiconductor que le faltan electrones (con carga positiva o huecos en sus átomos, semiconductor tipo N). Cuando esas celdas cristalinas cargadas positiva y negativamente se exponen a la luz del sol directamente producen corriente. La energía del sol mueve los electrones de la parte de la celda que le sobran electrones hacia la parte de la celda que le faltan electrones (donde hay huecos),

éste movimiento de electrones es la corriente eléctrica, que es utilizada para cargar la batería, se explicara con más detalle en el capítulo 3. Véase Figura 2.1.3 (Inversolar, 2015)



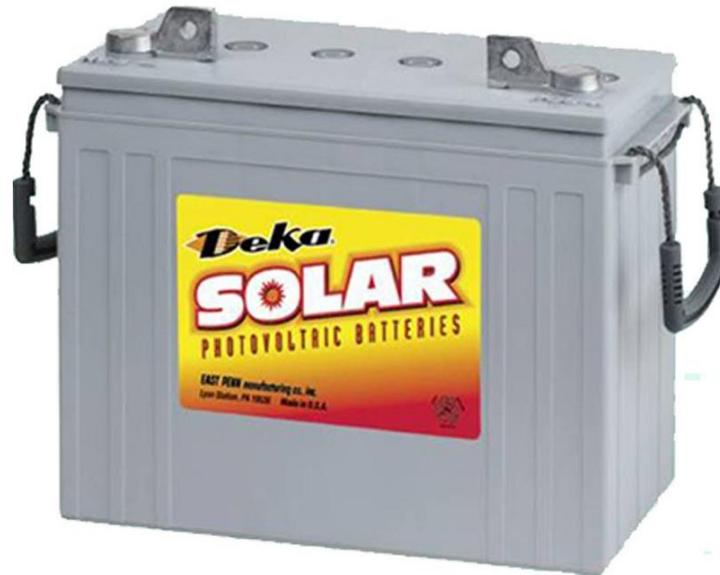
**Figura 2.1.3 Paneles solares (Inversolar, 2015)**

#### **2.1.4.3. Baterías**

Las baterías almacenan la energía proveniente de los paneles solares para que pueda ser usada durante la noche o en días nublados, su tamaño es determinado por los períodos de nublados esperados.

Las baterías pueden ser de plomo ácido en dos versiones: electrolito líquido (abiertas y cerradas) y de electrolito inmovilizado (gel) para aplicaciones que requieran muy bajo mantenimiento.

El tiempo de vida de una batería depende de la profundidad de régimen carga-descarga (ciclado), es por ello que el tamaño del banco de baterías es determinante en su vida útil. Véase Figura 2.1.4 (Inversolar, 2015)



**Figura 2.1.4 Bateria de electrolito inmovilizado (gel) (MK battery, 2015)**

#### **2.1.4.4. Luminarias solares para alumbrado público**

Es cada vez más generalizado el uso de esta tecnología para resolver la necesidad de iluminación urbana, tanto en áreas remotas con frecuentes apagones o suspensiones del servicio eléctrico o lugares sin ningún acceso a la red de electricidad urbana.

Inclusive en ciudades y pueblos donde se dispone de corriente eléctrica suministrada por la red, un sistema autónomo de generación de energía a partir de la luz solar es una manera ecológica y muy eficiente de iluminación incluso para casas habitación, fraccionamientos con un concepto ecológico y finalmente luminarias solares para alumbrado público.

Inicialmente el costo de un sistema de iluminación usando celdas solares fotovoltaicas para obtención de energía eléctrica, representa una inversión adicional cuando se pretende instalar en su etapa inicial, sin embargo, el sistema al ser autónomo en cuanto a la generación de energía eléctrica y al estar alimentado por una fuente inagotable de luz como es el sol, con el tiempo se paga solo y en muchas ocasiones el ahorro no es solo en el costo de la energía

eléctrica consumida, sino también en mantenimiento, confiabilidad y duración de las lámparas. Véase Figura 2.1.5



**Figura 2.1.5 Luminaria solar. (SAECSA, 2014)**

A este tipo de lámpara se le conoce con diferentes nombres, siendo los más comunes: Luminarias solares, postes solares, lámparas solares, faroles solares y reflectores solares.

Su funcionamiento básico es relativamente sencillo, las luminarias solares cuentan con un panel fotovoltaico integrado en la parte superior, un regulador administrador de corriente eléctrica para alimentar el último componente que es un panel de LEDS o diodos emisores de luz.

#### **2.1.4.5. Controlador solar (regulador)**

El regulador o controlador de carga fotovoltaico para lámparas de LED con atenuador dinámico inteligente, permite controlar la carga de las baterías y la descarga nocturna hacia las lámparas de LED, administrando de manera inteligente el porcentaje de atenuación de los LED, dependiendo del horario de

atenuación y de la energía restante en las baterías, para cumplir de forma completa el horario de servicio nocturno. Véase Figura 2.1.6 (ASSIC, 2014)



**Figura 2.1.6 Controlador solar. (Steca, 2015)**

#### **2.1.4.6. Sensor fotoeléctrico**

El relé fotoeléctrico, también conocido como fotocélula, es un dispositivo de control que tiene la función de encender y apagar una lámpara o circuito de iluminación, de acuerdo con el nivel de iluminación del ambiente, esto permite que la lámpara se encienda automáticamente cuando el ambiente tenga un bajo nivel de luz (al atardecer o día nublado) y apaga automáticamente cuando el ambiente tiene un suficiente nivel de luz (durante un día soleado). Véase Figura 2.1.7



**Figura 2.1.7 Lámpara y sensor fotoeléctrico. (XingLaiDa, 2015)**

### 2.1.4.7. Centro de carga

Con un centro de carga diseñado para conectar diferentes dispositivos, cuenta con conector USB hembra en caso de contar con cable USB para cargar tu dispositivo, uno diseñado especialmente para iPhone o iPod y un cable con múltiples contactos para cargar una gran cantidad de modelos de teléfonos celulares o dispositivos electrónicos. Cuenta con la función de limitación de corriente, voltaje y temperatura además de la función de la prevención de corto circuito. Véase Figura 2.1.8



**Figura 2.1.8 Tipos de conectores en centro de carga. (US electronics, 2012)**

## 2.2. Diseño del dispositivo

Las luminarias solares para alumbrado público son aquellas fuentes de luz, misma que es generada por paneles fotovoltaicos que generalmente están montados sobre la estructura de iluminación (dicha estructura habitualmente es un poste, mismo que usaremos en nuestra propuesta), por otra parte la energía recibida por los paneles fotovoltaicos se almacena en una batería recargable y esta a su vez alimenta una lámpara fluorescente o con tecnología LED durante la noche. En su mayoría los paneles solares se encienden y apagan automáticamente al detectar la luz y esta operación la realizan mediante un sensor.

Para el caso de las luminarias solares para alumbrado público su diseño es propio para trabajar durante la noche y muchas de ellas pueden estar encendidas por más de una noche si las condiciones climatológicas afectan que el sol salga a plenitud.

### **2.2.1. Tipos de luminarias solares de alumbrado público**

Los tipos de luminarias solares de alumbrado público son:

#### **2.2.1.1. Luminarias solares autónomas de un panel solar fotovoltaico**

Las luminarias solares para alumbrado público autónomas están constituidas por paneles fotovoltaicos montados en la estructura. Cada farola tiene sus propios paneles fotovoltaicos y es independiente a las demás luces.



**Figura 2.2.1 Luminaria solar autónoma de un panel solar fotovoltaico  
(Solarlux, 2012)**

#### **2.2.1.2. Luminarias solares centralizadas**

Las luminarias solares para alumbrado público también pueden trabajar de manera centralizada, para este tipo los paneles fotovoltaicos para un grupo de luminarias solares se montan por separado y si tenemos un grupo determinado de luminarias estas están conectadas a esta fuente de energía central.

## **2.2.2. Ventajas de luminarias con paneles fotovoltaicos para alumbrado público autónomas**

Algunas ventajas de las luminarias solares son:

- Utilizan la forma de energía más limpia que existe, el sol.
- Puede iluminar áreas remotas donde no hay energía eléctrica disponible.
- Son 100% autónomas.
- Pueden trabajar durante años sin costo de energía.
- Los LEDS de una luminaria solar tienen una vida útil de 50,000 horas.
- Están integradas con sensores de luz para encendido y apagado al oscurecer y al amanecer respectivamente.
- Son inmunes a fallas de energía eléctrica o "apagones" comunes en las lámparas convencionales conectadas a la red de energía eléctrica.
- Son independientes de la red eléctrica. Por lo tanto, los costos de funcionamiento se reducen al mínimo.
- Requieren mucho menos mantenimiento en comparación con las luminarias convencionales.
- Los cables exteriores se eliminan, el riesgo de accidentes se reduce al mínimo.
- Es una fuente de electricidad no contaminante.
- Las piezas del sistema solar para iluminación pública se pueden llevar fácilmente a zonas remotas.
- El sistema de luminaria solar fotovoltaica para alumbrado público, funciona de manera completamente autónoma sin uso de la red eléctrica.

- En el poste se encuentran todos los componentes electrónicos: la luminaria, los módulos solares, baterías de descarga profunda y controles automáticos.
- Tiene como única fuente la energía del sol.
- Los módulos fotovoltaicos transforman la luz en energía eléctrica, y esta a su vez se almacena en baterías para ser usada por la noche o en días nublados.
- Una luminaria solar se instala rápidamente, lo único que se necesita es una base de concreto y un lugar bien soleado. (Esco-tel, 2014)

### **2.2.3. Elementos que conforman la luminaria fotovoltaica**

En poste están concentrados los componentes electrónicos y son los siguientes:  
(Solarlux, 2012)

- **Luminaria.** Representa en sí un completo sistema de iluminación. Una luminaria consiste de un cuerpo o caja y el sistema óptico compuesto por un reflector y en alguno de los casos espejos o difusores para controlar el deslumbramiento.
- **Módulos fotovoltaicos.** Transforman la luz solar en energía eléctrica y esta a su vez se almacena en baterías para ser usada durante la noche o días nublados o con poca luz.
- **Poste.** El poste es la estructura en la cual se soporta las luminarias solares, habitualmente son metálicos y se anclan al piso con concreto, presentan una alta resistencia a las condiciones climáticas adversas y son de larga duración. Como el sistema fotovoltaico va incluido en el poste comúnmente suelen llamarse postes solares por su practicidad.

## 2.2.4. Selección de elementos para el sistema solar fotovoltaico

- **Luminaria**

Para este sistema tomaremos una luminaria de 15W marca Nautilus, en la sección 5.2.2 se justificará su uso. Véase Figura 2.2.1

Las características para la luminaria son las siguientes Véase Tabla 2.2.1

CARACTERÍSTICAS	
Potencia	15W
Flujo luminoso nominal	4500 lm
Voltaje	12 VDC
Color de Luz	Blanco Frío 7000K
Ángulo de Apertura de LED	2 paneles a 30° para lograr apertura de 180°
Tipo o Clase	IP 65 Resistente a la intemperie
Entrada para poste	45mm
Color	Negro

Tabla 2.2.1 Tabla parámetros luminaria. (Solarlux, 2012)

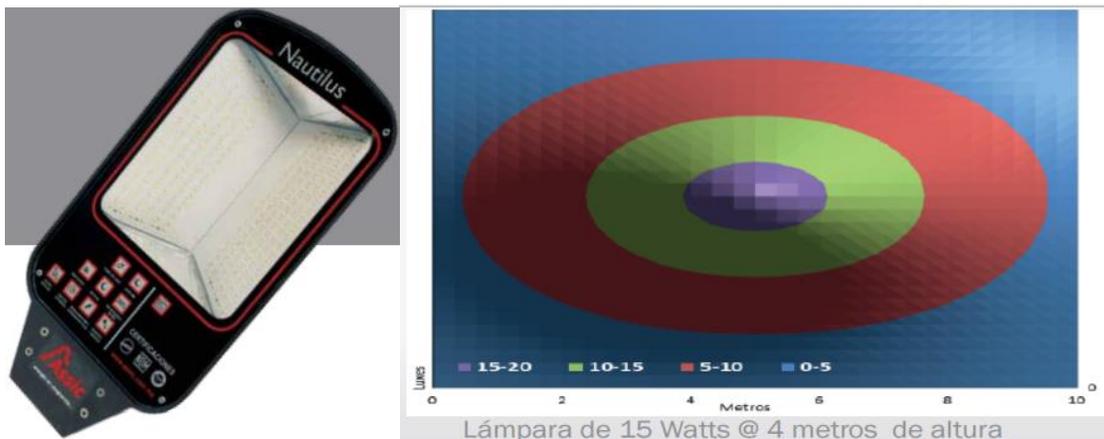


Figura 2.2.2 Luminaria de LED 15W. (Solarlux, 2012)

- **Poste**

Poste crónico circular de 4 m de altura, calibre 11, placa de 3/8 pulgadas con dos brazos para soporte de paneles fotovoltaicos.

Al momento de colocar la luminaria a mayor altura, obviamente la intensidad de luz disminuye. Por esta razón cada fabricante de luminarias extiende tablas comprobadas por ellos mismos, en relación de la luminosidad (lux) que dichas luminarias dan a diferentes metros de altura.

A mayor altura, mayor potencia y por ende la luminiscencia del alumbrado a instalar, debe ser superior. Véase Figura 2.2.3



**Figura 2.2.3 Recomendaciones de altura en postes para luminarias.  
(Solarlux, 2012)**

- **Equipo Fotovoltaico de 12hr**

Panel fotovoltaico de 100 W, controlador, banco de carga, gabinete IP65, kit de conexiones y componentes misceláneos para la completa instalación. Véase Figura 2.2.4



**Figura 2.2.4 Sistema de alumbrado público con paneles solares. (Solarlux, 2012)**

### **2.2.5. Aplicaciones**

Este sistema podemos darle diferentes aplicaciones, pero las que mejor se adaptan son en plazas comerciales, parques y jardines, hoteles, fraccionamientos, incluso en casas de campo.

### **3. CELDA FOTOVOLTAICA**

La celda fotovoltaica es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica en electricidad. Éste proceso se logra por el efecto fotoeléctrico que se consigue con materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando los electrones libres son capturados, se produce una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

Las celdas fotovoltaicas más utilizadas son las formadas por la unión p-n y construidas con silicio monocristalino, aunque existen diversos procedimientos y tipos de materiales para su construcción. (Méndez, 2008)

#### **3.1. Principio de operación**

Los materiales usados en las celdas fotovoltaicas son los semiconductores, en estos materiales los electrones de valencia están más ligados al núcleo pero basta una pequeña cantidad de energía para que se comporten como conductores.

Cuando la luz solar incide sobre el material semiconductor, se rompen los enlaces entre el núcleo y los electrones de valencia quedan libres para circular por el semiconductor. (Méndez, 2008)

Al lugar que deja el electrón al desplazarse se le llama hueco y tiene carga eléctrica positiva, los electrones libres y los huecos creados por la radiación tienden a recombinarse perdiendo su actividad. Por ello se crea un campo eléctrico uniendo dos regiones de silicio tratadas químicamente llamada unión p-n en el interior del semiconductor. (Méndez, 2008)

El silicio es el material más utilizado en la fabricación de las celdas solares.

En un semiconductor de silicio tipo n se sustituyen algunos átomos de silicio por átomos de fósforo, que tiene cinco electrones de valencia y como se necesitan cuatro un electrón queda libre.

Para conseguir un semiconductor tipo p como en el n se sustituyen átomos de silicio por átomos de boro que tiene tres electrones.

Para conseguir una unión p-n se pone en contacto una superficie de semiconductor tipo n con la de un semiconductor tipo p, los electrones libres del material tipo n tienden a ocupar los huecos del material tipo p y viceversa, creándose un campo eléctrico que se hace más grande a medida que los electrones y los huecos continúan difundándose hacia los lados opuestos.

El proceso continúa hasta que ya no se pueden intercambiar más electrones y huecos, consiguiendo un campo eléctrico permanente.

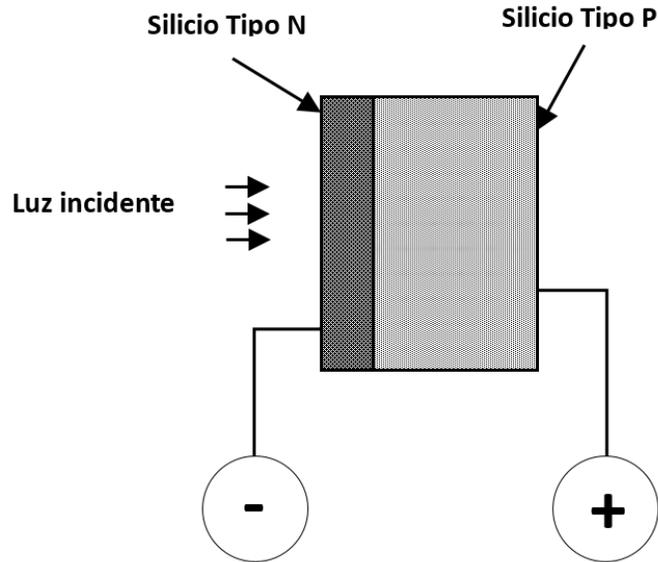
Para que se produzca el efecto fotovoltaico, es necesario que los fotones tengan una energía mayor que un valor mínimo determinado, que se denomina ancho de banda prohibida  $E_g$ , se expresa en electrón-volts y su valor es  $1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$

### **3.2. Características de funcionamiento**

Una celda fotovoltaica es un dispositivo formado por una lámina de material semiconductor, cuyo grosor varía entre los 0.25 mm y los 0.35 mm generalmente de forma cuadrada, con una superficie aproximada de  $100 \text{ cm}^2$ .

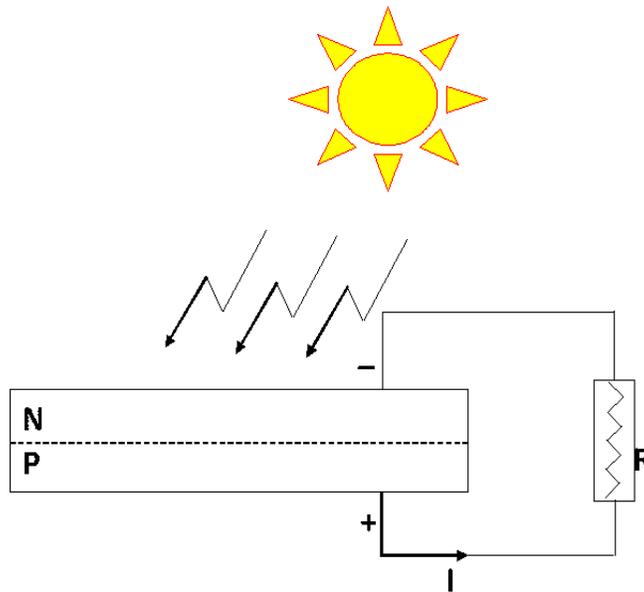
Cada celda fotovoltaica se compone de una delgada capa de material tipo n y otra de mayor espesor de material tipo p. Ambas capas separadas son eléctricamente neutras pero al juntarlas se genera un campo eléctrico en la unión p-n. Véase Figura 3.2.1

Cuando la luz incide sobre la celda los fotones rompen el par electrón-hueco. El campo eléctrico de la unión los separa para evitar que se recombinen, llevando los electrones a la zona n y los huecos a la zona p. Mediante un conductor externo, se conecta la capa negativa a la zona positiva, generando así el flujo de electrones de la zona p a la zona n.



**Figura 3.2.1 Esquema del material semiconductor de la celda fotovoltaica (Méndez, 2008)**

La superficie de la zona n es la cara que se ilumina. Mientras la luz siga incidiendo habrá corriente eléctrica, y su intensidad es proporcional a la cantidad de luz que reciba la celda. Véase Figura 3.2.2



**Figura 3.2.2 Esquema del principio de operación de la celda fotovoltaica (Méndez, 2008)**

Hay distintos aspectos que afectan a todos los materiales semiconductores: cristalinidad, coeficiente de absorción, costo y complejidad de fabricación.

Las partes más importantes de la celda solar son las capas del semiconductor, debido a que en ellas es donde se liberan los electrones y se produce la corriente eléctrica. Para hacer distintas celdas solares se utilizan diferentes materiales cada uno tiene ventajas y desventajas, por ejemplo: (Méndez, 2008)

- **Monocristalino.** Presenta una estructura completamente ordenada, lo que lo hace buen conductor, es difícil fabricarlo, se obtiene de silicio puro y dopado con boro, se reconoce por su monocromía azulada oscura y metálica. Tiene un rendimiento entre el 15 al 18 %.
- **Policristalino.** Presenta una estructura ordenada por regiones separadas, los enlaces irregulares de las fronteras cristalinas disminuyen el rendimiento de la celda, se obtiene de igual forma que la del silicio monocristalino pero con menos fases de cristalización, su superficie está estructurada en cristales con distintos tonos de azules y grises metálicos. Tiene un rendimiento entre el 12 al 14 %.
- **Amorfo.** Presenta un alto grado de desorden, contiene un gran número de defectos estructurales y de enlaces, su proceso de fabricación es más simple que en los anteriores y de menor costo, se deposita en forma de lámina delgada sobre vidrio o plástico, son eficientes bajo iluminación artificial, tiene un color marrón homogéneo. Su rendimiento es menor al 10%.
- **Celda de película delgada.** Una de las celdas más desarrolladas de este tipo es la de sulfuro de cadmio ( $Cd S$ ) y sulfuro cuproso ( $Cu_2 S$ ), están formadas por la unión de dos materiales, se necesita poco material activo, su proceso de fabricación es sencillo, los materiales utilizados están poco estudiados, la tecnología para su obtención está poco desarrollada. Tiene un rendimiento del 5% aproximadamente.

- **Celda de Arseniuro de Galio (Ga As).** Tiene buenos rendimientos con pequeños espesores, mantiene sus características a elevadas temperaturas, presenta tolerancia a radiaciones ionizantes, presenta un costo de producción elevado, su material es raro y poco abundante. Tiene un rendimiento del 27 %.

### 3.3. Costo

En el mercado existen diferentes tipos de paneles solares, a continuación describiremos tres de ellos:

#### 3.3.1. Grape Solar, panel solar 100W MODELO: GS-Star-100W

Las características de este panel son:

- Células solares de alta eficiencia (aprox. 16,8%) con material de silicio de calidad para una alta eficiencia en la conversión de módulos, y estabilidad y fiabilidad a largo plazo de la potencia de salida.
- Riguroso control de calidad para cumplir con las normas internacionales más estrictas.
- Alta transmitancia, vidrio templado con bajo nivel de hierro, con mayor dureza y resistencia a los impactos.
- Diseño único del marco con buena fuerza mecánica para una resistencia a la carga de nieve y viento mayor de 244 kg/m<sup>2</sup> (50 libras/pie cuadrado) y fácil instalación.
- Avanzado material de encapsulación con laminación multicapa que brinda un rendimiento mejorado y larga vida de las células.
- Excepcional rendimiento eléctrico en ambientes de alta temperatura y luz tenue.

A continuación se encuentran las especificaciones mecánicas véase Tabla 3.3.1

**Especificaciones Mecánicas**

Característica	Detalles
Tamaño de la Célula	156 mm x 104 mm (6,14" x 4,40")
Dimensión del Módulo (largo x ancho x espesor)	1020 mm x 670 mm x 40 mm (40,16" x 26,37" x 1,57")
No. de Células	36
Peso	8,9 kg (19,66 libras)
Longitud de Cable	900 mm (35,4") para el polo positivo (+) y negativo (-)
Tipo de Conector	MC4
Caja de Conexiones	IP65
No. de Orificios en el Marco	4 orificios de instalación

**Tabla 3.3.1 Especificaciones mecánicas GS-Star-100W (Grape Solar, 2015)**

A continuación se encuentran las especificaciones eléctricas véase Tabla 3.3.2

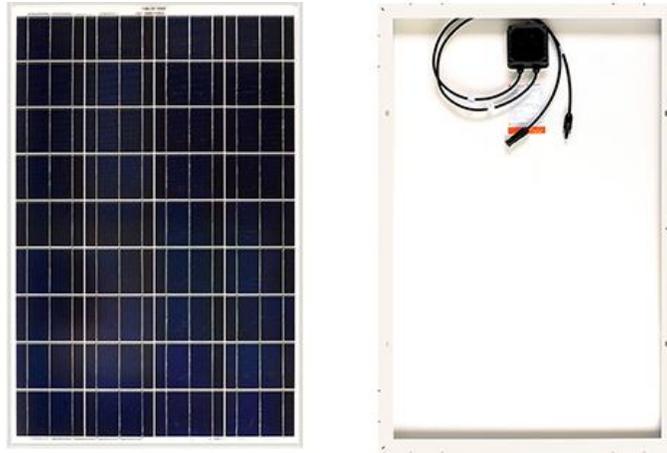
**Especificaciones Eléctricas**(STC\* = 25 °C, 1000W/m<sup>2</sup> Irradiancia, y AM=1,5)

Modelo	GS-Star-100W
Tensión Máxima del Sistema (IEC/UL)	600 V
Potencia Máxima P <sub>max</sub>	100 W (0%, +6%)
Tipo de Célula	Polisilicio
Tensión en el Punto de Máxima Potencia V <sub>mpp</sub>	18,0 V
Corriente en el Punto de Máxima Potencia I <sub>mpp</sub>	5,56 A
Tensión en Circuito Abierto V <sub>oc</sub>	21,9 V
Corriente de Cortocircuito I <sub>sc</sub>	6,13 A
Eficiencia del Módulo (%)	13,88 %
Coefficiente de Temperatura de V <sub>oc</sub>	(-0,32% /°C)
Coefficiente de Temperatura de I <sub>sc</sub>	(0,04% /°C)
Coefficiente de Temperatura de P <sub>max</sub>	(-0,45% /°C)

\*Condiciones de Prueba Estándar

**Tabla 3.3.2 Especificaciones eléctricas GS-Star-100W (Grape Solar, 2015)**

A continuación se muestra como es el panel véase la Figura 3.3.1



**Figura 3.3.1 Modelo GS-Star-100W (Grape Solar, 2015)**

Costo: US \$213.79 dólares americanos

### **3.3.2. Solarcia, panel solar de 100W monocristalino**

Las características de éste panel solar son:

- Contiene 36 celdas de Silicio monocristalino de 12.5mm x 12.5mm, 4 x 9.
- Encapsulado en EVA, (Etil-Vinil-Acetato).
- Junction box JB2A con un metro de cable 4mm TÜV, 12AWG, con conectores MC4.
- Diodo de 6A-10A.
- Cristal templado frontal de 4-6mm.
- Cristal de 4mm posterior.
- Marco de Aluminio de 3.2mm.
- Dimensiones de largo 1200mm x ancho 550mm x espesor 38mm.
- Un año de garantía en defectos de fabricación y funcionamiento.

- Todos los componentes cuentan con certificaciones de las normas internacionales de calidad TÜV, UL y EWM para instalaciones fotovoltaicas.
- Hecho en México.

A continuación se muestra como es el panel véase la Figura 3.3.2



**Figura 3.3.2 Panel solar 100 Watts monocristalino (Solarcia, 2015)**

Costo: US \$205.84 dólares americanos.

### **3.3.3. ERDM-Solar, panel solar 100W MODELO: ERDM 100 M5**

Los paneles “M5” son fabricados con 36 celdas monocristalinas con potencia total de 100 Wp. Estos paneles son laminados con celdas de 125 mm y están diseñados para sistemas aislados o de interconexión a la red.

Celdas de alta calidad son encapsuladas en EVA Estructurado, cubierto por vidrio templado y bajo nivel de hierro. La parte trasera del panel está protegida por TEDLAR como fondo base, el cual es resistente a la radiación UV. El laminado va montado en un marco de aluminio anodizado para asegurar la máxima protección. Las cajas y conectores son MC4.

La combinación de componentes de alta calidad y el proceso de producción automatizado empleado por ERDM-SOLAR asegura una calidad superior. Un mínimo de mano de obra no automatizada durante las etapas de producción de materiales delicados garantiza una constancia en su funcionamiento.

El panel solar modelo EDRM 100 M5 contiene:

- Estructura reforzada.
- Garantía modulo reforzado.
- Proyecto de ley de alta calidad.
- Ideal para los sistemas montados en tierra.

A continuación se muestran las especificaciones eléctricas del panel EDRM 100 M5 véase la Tabla 3.3.3

<b>Características Eléctricas</b>	
<b>Voltaje en Circuito Abierto (Voc)</b>	22.83 V
<b>Voltaje de Operación Optimo (Vmp)</b>	18.67 V
<b>Corriente de Cortocircuito (Isc)</b>	5.68 A
<b>Corriente de Operación Óptima (Imp)</b>	5.36 A
<b>Potencia Máxima en STC (Pmax)</b>	100 W
<b>Temperatura de Operación (°C)</b>	-40 a 90
<b>Máximo Voltaje del Sistema</b>	1000 V
<b>Máximo Valor del Fusible</b>	10 A
<b>Tolerancia de Potencia</b>	+/-3 %
<b>Eficiencia</b>	15.30 %

**Tabla 3.3.3 Características eléctricas del EDRM 100 M5 (EDRM solar, 2014)**

A continuación se muestran las especificaciones mecánicas del panel EDRM 100 M5 véase la Tabla 3.3.4

Características Mecánicas	
<b>Celda solar</b>	Monocristalina
<b>No. de celdas</b>	36 (4 x 9 )
<b>Dimensiones</b>	1186mm x 551mm x 35mm
<b>Peso aprox.</b>	9 Kg
<b>Cristal frontal</b>	Cristal Templado Estructurado de 3.2 mm
<b>Marco</b>	Aluminio Anodizado
<b>Caja de conexión</b>	MC4 Junction Box para PV Module IP65

**Tabla 3.3.4 Características mecánicas del EDRM 100 M5 (EDRM solar, 2014)**

A continuación se muestra el coeficiente de temperatura del panel EDRM 100 M5 véase la Tabla 3.3.5

Coeficiente de Temperatura	
<b>Coeficiente de temperatura de potencia (Pmax)</b>	-0.46 %/k
<b>Coeficiente de temperatura de voltaje (Voc)</b>	-0.34 %/k
<b>Coeficiente de temperatura de corriente (Isc)</b>	0.020 %/k

**Tabla 3.3.5 Coeficiente de temperatura del EDRM 100 M5 (EDRM solar, 2014)**

A continuación se muestra como es el panel véase la Figura 3.3.3



**Figura 3.3.3 Panel solar M5 (EDMR solar, 2014)**

Costo US \$ 99.91 dólares americanos

Se eligió el Panel Fotovoltaico Grape Solar GS-Star-100W por su eficiencia de 16,8% rendimiento eléctrico en ambientes de alta temperatura y luz tenue.

### **3.4. Mantenimiento**

Una celda fotovoltaica debe tener un mantenimiento constante y adecuado o tendrá problemas rápidamente. El mantenimiento es muy sencillo y depende principalmente de la suciedad que cubra el vidrio del panel solar fotovoltaico pues la suciedad puede alterar el rendimiento de un panel solar en un 15% y reducir su vida útil, debido a que los sistemas de paneles solares necesitan absorber energía del sol, el componente más vital del proceso de cuidado de paneles solares es mantenerlos limpios.

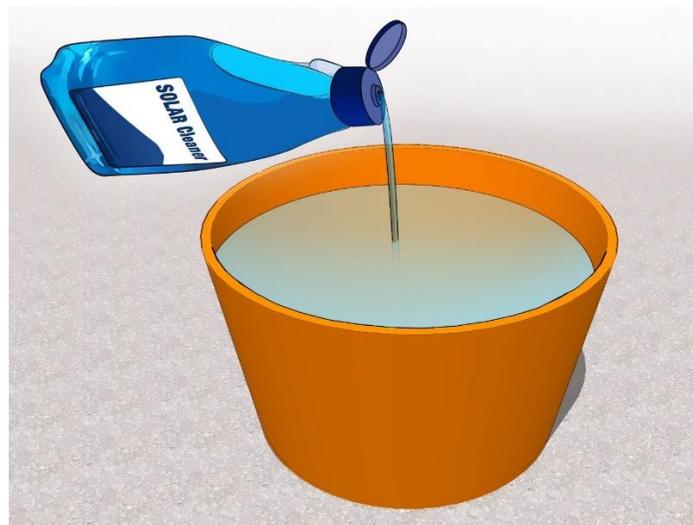
Para evitar la degradación del rendimiento de la instalación o el deterioro debemos realizar el siguiente mantenimiento cada 3 meses:

1. Verificar que no haya terminales flojas ni rotas, que las conexiones estén bien apretadas y que los conductores se hallen en buenas condiciones. En caso de detectar anomalías reemplazar el elemento dañado y cerciorarse de que funcione adecuadamente.
2. Verificar que la estructura de soporte esté en buenas condiciones. En caso de que esta no se encuentre protegida contra el intemperie (es decir, que no sea de aluminio, acero inoxidable o galvanizado), dar tratamiento con pintura antióxido.
3. Comprar un juego de limpieza especial para paneles solares. Este contiene una botella de jabón líquido, un limpiador, un cepillo pequeño y una extensión para el mango del cepillo. Véase Figura 3.4.1



**Figura 3.4.1 Juego de limpieza especial para paneles solares (Wikihow, 2014)**

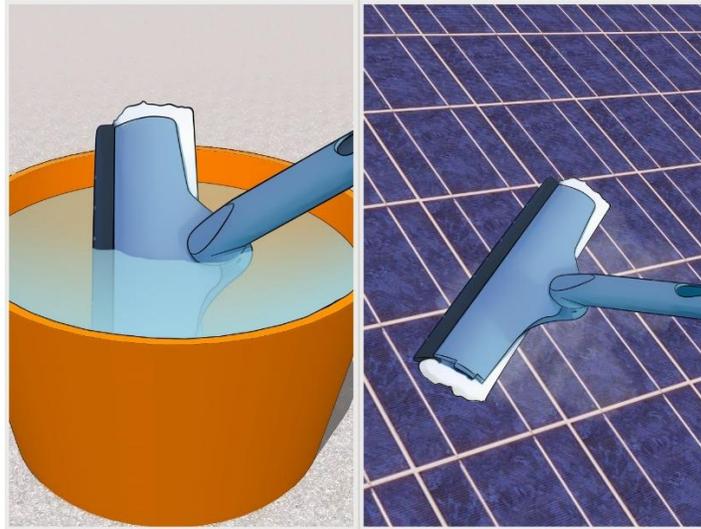
4. Mezclar el jabón con el agua en un balde. A una cubeta de 20 litros de agua se le agregan 20 ml de jabón líquido especial para limpieza de paneles solares, y se mezcla hasta obtener un líquido homogéneo. Véase Figura 3.4.2



**Figura 3.4.2 Mezcla jabón con agua para limpieza (Wikihow, 2014)**

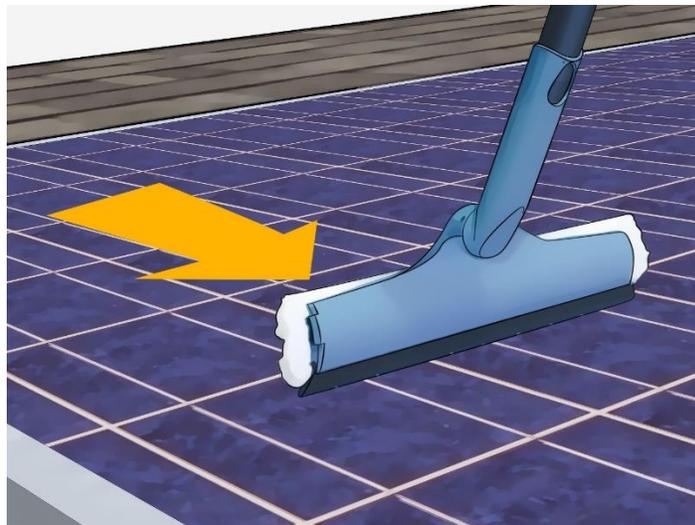
5. Sumergir el cepillo en la mezcla de jabón con agua y se frota suavemente sobre los paneles solares, si los paneles están divididos en disposiciones más pequeñas, se debe realizar con un cepillo pequeño, para los paneles

más grandes se debe usar un cepillo con mango largo para alcanzar los que se encuentran al centro. Véase Figura 3.4.3



**Figura 3.4.3 Limpieza de panel solar (Wikihow, 2014)**

6. Limpiar los paneles solares cuando todavía estén mojados con la goma que está adherido a la parte trasera del cepillo ya que si se deja secar el jabón en los paneles, se bloqueará la cantidad de luz solar que se puede absorber, haciéndolos ineficientes. Véase Figura 3.4.4



**Figura 3.4.4 Secado de panel solar (Wikihow, 2014)**

En ocasiones es difícil alcanzar los paneles y a veces hay manchas difíciles de limpiar como el excremento de las aves, es por ello que se debe contratar a un limpiador profesional de paneles solares para no arriesgarse a dañarlos. Véase Figura 3.4.5



**Figura 3.4.5 Profesional de limpieza de paneles solares (Wikihow, 2014)**

Nunca trate de limpiar suciedades en la cubierta frontal del panel solar fotovoltaico con objetos cortantes o punzantes que puedan dañarlo.

## **4. BATERÍA Y CENTRAL DE CARGA**

La tecnología ha experimentado grandes adelantos en muchos de sus campos y la tecnología de las baterías es una de ellas, uno de los cambios más significativos es la reducción de sus dimensiones y peso, pero con la misma capacidad de almacenar energía. A pesar de la introducción en el mercado de distintos tipos de baterías en los últimos años (Níquel-Cadmio, Níquel- Hidruro Metálico, iones de Litio, etcétera) las baterías de plomo siguen siendo las mayormente utilizadas, contando con más de cien años de uso.

### **4.1. Principio de operación**

Para los sistemas fotovoltaicos autónomos las baterías o acumuladores que son utilizados tienen como principal función el almacenamiento de energía (esto para los sistemas que no se conectan a la red eléctrica) ya que durante el día nuestros paneles solares se encuentran generando energía, misma que es almacenada en las baterías y durante la noche se consume esta energía debido a la operación de las cargas. Por otra parte también se pueden utilizar para estabilizadores de voltaje o corriente y para suministrar picos de corriente (arranque de motores).

La gran mayoría de las baterías usadas para este propósito son de Plomo-ácido (Pb-a), las cuales se adaptan bien a la operación de los sistemas fotovoltaicos pero haciendo los mantenimientos correspondientes. Además de encontrar baterías de Plomo-Calcio (Pb-Ca) y Plomo Antimonio (Pb-Sb). Las primeras requieren un menor mantenimiento y tienen menor auto-descarga, mientras que las segundas se deterioran menos con el uso diario y presentan menores prestaciones para niveles bajos de carga. (Alonso, 2012)

Las baterías son células electroquímicas en las que las reacciones que se producen en los electrodos son reversibles y por esta razón pueden ser utilizados para almacenar energía y posteriormente liberarla cuando son conectados a un circuito de carga que demanda energía. Dichas células electroquímicas están compuestas principalmente por placas, materia activa y electrolito.

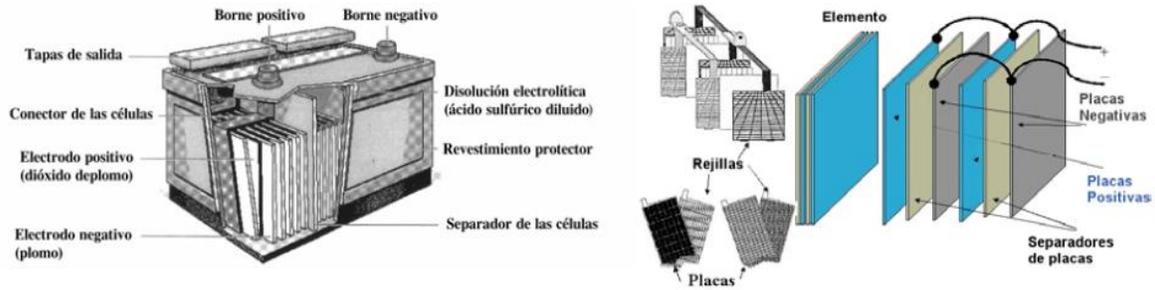
Los elementos más importantes que conforman una batería son los siguientes:

- **La célula.** Es el elemento básico electroquímico de una batería, consiste en un conjunto de placas positivas y negativas separadas por aislantes, que se encuentra cubierta por una solución de electrolito, todo dentro de una caja o contenedor. En una batería típica de plomo-ácido (Pb-a) cada célula tiene un voltaje nominal de alrededor de 2V, que se pueden conectar en serie para tener un voltaje de 12V (6 elementos en serie) o lo doble para 24V. (LTH, 2014).
- **Material activo.** Son los materiales que forman las placas positivas y negativas, que son los reactivos de la célula. La cantidad de materia activa es proporcional a la capacidad (Ah) que la batería puede suministrar. En las baterías de Pb-a, los materiales activos son el  $\text{PbO}_2$  (Dióxido de Plomo) en la placa positiva y Pb en la placa negativa, los cuales reaccionan con el ácido sulfúrico del electrolito durante la operación de la batería para producir agua y sulfato de plomo durante la descarga y viceversa durante el proceso de carga.
- **Electrolito.** Es un medio conductor que permite el flujo de corriente mediante transferencia iónica, o la transferencia de electrones entre las placas de la batería. Para las baterías de Pb-a, el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico, ya sea en forma líquida o como gel.
- **Rejilla.** Sirve como soporte de la materia activa y para las baterías de Pb-a está formada por una aleación de plomo. El antimonio o calcio se suelen utilizar como elementos de aleación para fortalecer la rejilla y definen las diferentes características de la batería. Dependiendo de la forma de la rejilla se diferencian baterías tubulares y planas.
- **Placas.** Consisten en una rejilla con material activo llamado electrodo. Generalmente en cada célula hay un número de placas conectadas en paralelo a un bus situado en la parte superior de las placas, tanto positiva

como negativa. La profundidad del régimen carga-descarga (ciclado) de una batería depende del grosor de las placas. Por ejemplo en las baterías de arranque (usadas en los automóviles) se suelen utilizar varias placas finas, dando lugar a una gran superficie de reacción para suministro de altas corrientes en poco tiempo, pero esto trae consigo que no sean resistentes a descargas profundas y prolongadas. Por otra parte, las placas gruesas permiten descargas profundas por largo periodos ya que se mantiene la adhesión de la materia activa a la rejilla por lo que tenemos una vida mayor duración.

- **Separadores.** Esta hecho por un material poroso (plástico o de goma) y aislante que separa las placas positiva y negativa esto para evitar el corto circuito de las mismas y permitiendo el flujo del electrolito y los iones entre ellas. También pueden ser envolventes evitando el corto circuito debido a la posible disposición de materia activa en el fondo del contenedor.
- **Elemento.** Definido como un conjunto de placas positivas, negativas y separadores, montados junto con los buses que interconecta las placas positivas y negativas.
- **Bornes.** Son los puntos de conexión eléctrica externa (positiva y negativa).
- **Tapones.** Durante la carga de la batería se producen gases que salen al exterior por los tapones.
- **Carcasa o contenedor.** Fabricados generalmente de plástico o goma dura y contienen todos los elementos de la batería. Existen contenedores transparentes para facilitar el control visual del nivel del electrolito.

A continuación se muestran los elementos de una batería. Véase Figura 4.1.1



**Figura 4.1.1 Elementos de una batería (Alonso, 2012)**

#### **4.1.1. Batería solar o de ciclo profundo y batería automotriz**

Las baterías de ciclo profundo están diseñadas para soportar un gran número de descargas profundas y ser recargadas sin afectar su desempeño, a diferencia de las baterías automotrices, que al ser sometidas a condiciones de descargas profundas, pierden más rápidamente su capacidad. Por otra parte se nombra ciclo a la carga y descarga de una batería, no importando el porcentaje de descarga que esta haya sufrido. Estas baterías son utilizadas principalmente, para proveer energía eléctrica a equipos que carecen de generación propia y estos pueden ser para: pequeños vehículos eléctricos, motores, luces, equipos de navegación o comunicación, sistemas de energía solar, por mencionar algunos. (LTH, 2014).

Los electrodos de una batería de aplicación solar o de ciclo profundo tienen una aleación de antimonio, esta nos permite adherir una mayor cantidad de material activo, por tal motivo estas baterías poseen celdas con mayor cantidad de material activo ya que tienen mayor duración y profundidad de descarga. Cabe mencionar que el incremento del material activo aumenta el costo y el peso de la batería, por ejemplo una batería de uso solar de 6V con un volumen muy similar a la de 12V para uso automotriz, pesa alrededor de 30 Kg. La presencia del antimonio incrementa las pérdidas de auto-descarga, por lo que si una batería de aplicación solar permanece en almacenamiento debe ser cargada frecuentemente.

#### 4.1.2. Diferencias entre las baterías de ciclo profundo y las automotrices (de arranque)

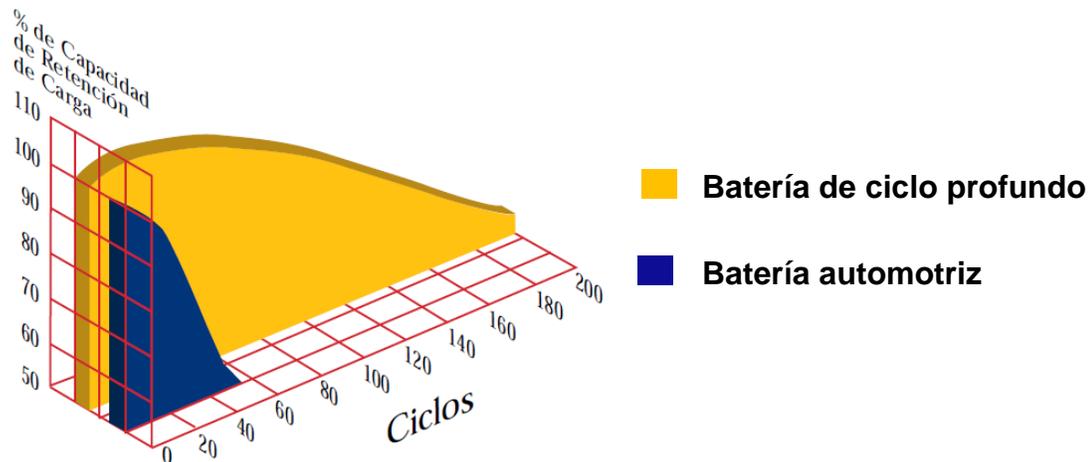
Además de las características de diseño, las demandas energéticas de ambas baterías también son diferentes, ya que las de ciclo profundo suministran cantidades relativamente bajas de corriente por largos períodos de tiempo, por otra parte la batería automotriz suministra grandes cantidades de corriente por solo unos segundos, posteriormente, un alternador se encarga de recargarla y de entregar la energía al sistema eléctrico del vehículo en marcha. Una batería automotriz descargada de manera profunda, puede perder su capacidad de uso a solo 50 ciclos o menos, mientras que una batería de ciclo profundo continúa con óptimo desempeño aún después de 300 ciclos.

En la siguiente tabla se muestran algunas diferencias entre las baterías de ciclo profundo y las automotrices. Véase Tabla 4.1.1

BATERIAS DE CICLO PROFUNDO	BATERIAS AUTOMOTRICES
Están fabricadas con aleaciones de Antimonio (Sb)	Están fabricadas con aleaciones de Calcio (Ca)
Están diseñadas para recibir descargas profundas de hasta el 70% de su capacidad	Están diseñadas para recibir descargas del 10-15% de su capacidad
Están diseñados para proporcionar pequeñas cantidades de corriente durante varias horas	Están diseñadas para proporcionar grandes cantidades de corriente en pocos segundos

**Tabla 4.1.1 Diferencias entre las baterías de ciclo profundo y las automotrices (LTH, 2014)**

En la gráfica se muestra en porcentaje la capacidad de retención de carga de las baterías. Véase Tabla 4.1.2



**Tabla 4.1.2 Grafica comparativa de capacidad de retención de carga de baterías (LTH, 2014)**

#### 4.1.3. Baterías de gel

Las baterías de gel contienen electrolitos en forma de gel (obtenidos mediante la adición de gel de sílice) esto hace que el electrolito (solución ácida de agua destilada y ácido sulfúrico) tenga una consistencia de sólido gelatinoso. La ventaja principal de este tipo de baterías es que no liberan ácido, incluso si la colocáramos al revés o si el contenedor se encuentra roto.

Por otra parte, las desventajas en su uso es que tienen que ser recargadas a bajas corrientes y voltajes, esto con el fin de evitar la creación de burbujas dentro del electrólito en forma de gel ya que podría dañar la batería, por esta razón es muy importante evitar el uso de cargadores rápidos para el mantenimiento de estas baterías. (Alonso, 2012)

#### 4.1.4. Baterías AGM (VRLA)

Este tipo de baterías contienen un electrolito sólido AGM (Absorbed Glass Mat, que es una fibra de vidrio fina impregnada de una solución de agua y ácido sulfúrico) entre los electrodos. Casi todas las baterías AGM son también de tipo VRLA (Valve Regulated Lead Acid o Pb-ácido regulada por válvula), esto quiere decir que la batería tiene una pequeña válvula que mantiene una ligera presión

con respecto al ambiente externo. Como esta batería no requiere ventilación al exterior durante el proceso de carga, por tanto el contenedor es hermético. La válvula constituye un dispositivo de seguridad en caso de corto-circuito o sobrecarga. Esta hermeticidad evita el derrame del electrolito, lo que disminuye el riesgo en su uso y como no requiere mantenimiento son idóneas para los sistemas fotovoltaicos ya que la supervisión es escasa. El tipo de electrolito usado en esta batería permite su uso a bajas temperaturas con mayor eficiencia que las que tienen electrolito líquido. Las auto descargas semanales se darán aproximadamente de 1.1% a 25°C y aumenta a un 3% cuando la temperatura se eleva a 40°C. Las podemos encontrar en tensiones de 6 y 12V. (LTH, 2014).

#### **4.2. Características de funcionamiento**

El régimen de carga o descarga define la intensidad de la corriente eléctrica utilizada en el proceso, dicho régimen se expresa en forma normalizada en relación a la *capacidad en amperios-hora*. De manera práctica, si tenemos una batería de 100 Ah, la descarga completa con una corriente de 20A dura 5 horas, lo que indica un régimen de I (C5). Los regímenes que generalmente se usan para las aplicaciones fotovoltaicas están en el rango de corrientes que corresponden a descargas de 10 a 100 horas, I (C10) a I (C100).

La temperatura disminuye la capacidad de la batería ya que si la temperatura es menor de igual forma la capacidad, esto es porque mayor es la viscosidad del ácido y más lentos los procesos de difusión iónica. La resistividad del electrolito aumenta de forma significativa al disminuir la temperatura. Para temperaturas debajo de los 0°C, dependiendo del régimen y de la profundidad de descarga, el electrolito puede llegar a congelarse. En zonas frías se utiliza ácido más concentrado, para asegurar que el electrolito no alcance el punto de congelación.

Durante la carga, la corriente entra en la batería en la dirección opuesta a la descarga restableciendo los materiales activos en las placas, lo que conlleva un aumento de la tensión, de la densidad del electrolito y del estado de carga.

El desprendimiento de gases, generalmente llamado gaseo, depende de la tensión de sobrecarga, temperatura, tipo de aleación e impurezas. El consumo de agua resultante del gaseo da lugar a una disminución del nivel del electrolito y a un aumento de la concentración del mismo, por lo que es necesario un frecuente mantenimiento para reponer el agua consumida y evitar que las placas se queden descubiertas, ya que en este caso se producen daños irreversibles. Eléctricamente este fenómeno se traduce en un aumento de la resistencia interna como consecuencia de la mayor dificultad del proceso. Por otra parte una cantidad adecuada de sobrecarga genera la homogeneización del electrolito debido a la agitación que producen las burbujas del gaseo y se opone a la tendencia a la estratificación del electrolito. La elevación de la temperatura en la carga, combinada con elevados regímenes de corriente, trae consigo la corrosión de la rejilla positiva que puede llevar al desprendimiento del material activo y el excesivo gaseo puede arrastrar partículas de las placas, por tanto la vida útil de la batería se verá disminuida. El fenómeno de la corrosión se presenta con mayor frecuencia en las zonas cálidas, por tal motivo la densidad del electrolito es más baja (entre 1.2 y 1.22 g/cm<sup>3</sup>) para baterías totalmente cargadas. La elevada movilidad iónica debido a la mayor temperatura de estas zonas compensa el efecto de esta baja densidad sobre la resistencia. (Alonso, 2012).

El envejecimiento de una batería trae consigo el aumento de la resistencia interna, por lo que la tensión máxima de carga debería ir aumentando para mantener el mismo régimen de carga o para un mismo voltaje nos tardaría más tiempo en cargarse.

Después de una descarga, la subsiguiente carga de una batería se caracteriza por una elevada tensión de carga y por un gaseo más o menos pronunciado.

Las baterías en los sistemas fotovoltaicos operan en ciclos de cargas y descargas, intercambiando energía con el resto del sistema. Una batería puede estar sometida a ciertos números de ciclos al día, cuya cantidad o profundidad de carga extraída en cada ciclo es relativa a la capacidad nominal de la batería y depende de las condiciones de generación, que son función de la radiación y de la

demanda de energía. El ciclado de una batería de ciclo profundo es mayor del 80%.

#### **4.2.1. Ciclos de la batería**

Un ciclo es una descarga y carga de una batería. La descarga es el proceso en el que la batería suministra una corriente durante determinado tiempo (régimen de descarga). En la carga la batería recibe o acepta una determinada corriente durante un tiempo determinado (régimen de carga). Se considera un ciclo como una descarga seguida de una carga. La descarga puede ser muy pequeña o muy profunda (en nuestra aplicación profunda), la profundidad de descarga afecta a la vida útil de la batería, el número de ciclos carga/descarga de una batería desciende con la profundidad de descarga. Generalmente una batería ha finalizado su vida útil cuando ha perdido un 20% de su capacidad inicial. Además del número de ciclos, las condiciones de operación afectan el tiempo de vida útil de una batería. (LTH, 2014).

#### **4.2.2. Capacidad de la batería**

Es la capacidad que tiene una batería para almacenar o suministrar energía eléctrica y se expresa en Ah Amperios/hora. Esto es, si tenemos una batería de 100 Ah de capacidad nominal, esta puede suministrar 100A durante 1 hora, o 50A durante 2 horas, o 25A durante 4 horas, esto dependiendo la temperatura de uso, los fabricantes recomiendan que estas operen entre los 20 y 30°C. Esta capacidad se especifica a un determinado régimen de descarga y depende de factores de diseño (cantidad de material activo, dimensiones de las placas y densidad del electrolito) y operacionales (régimen de descarga, profundidad de descarga, voltajes de corte, temperatura y ciclos de operación).

Como se ha hecho mención la temperatura es un factor que disminuye la capacidad de la batería, durante la descarga las bajas temperaturas propician que el electrolito no penetre a profundidad en el material activo de las placas y los

voltajes de corte se alcanzan antes. Por otra parte, las temperaturas elevadas aumentan la capacidad, sin embargo reducen la vida útil de la batería.

La capacidad también se ve afectada por el régimen de descarga. Cuando una batería es descargada a altas corrientes, las reacciones químicas se llevan a cabo en las capas del material activo en contacto inmediato con el electrolito entre los poros de las placas, cuando se descarga una batería lentamente se obtiene una mayor capacidad que cuando se realiza a elevados regímenes de corriente. El régimen de descarga se especifica con la capacidad, pero no se especifica en amperios, sino en horas necesarias para la plena descarga hasta un determinado voltaje de corte. (Alonso, 2012).

Por ejemplo, si tenemos una batería con capacidad de 180Ah a un régimen C10, esto es que si la batería fuese descargada durante 10 horas a una corriente constante de 18A ( $180/10=18A$ ).

En las aplicaciones fotovoltaicas los tiempos de descarga están alrededor de 10-300 horas, por ejemplo la descarga de una batería de un sistema FV autónomo diseñado para 7 días de autonomía por 12 horas/día= 84 horas (lo que significa que la batería se descargue al 80% de la profundidad de la descarga (DOD), esto para las baterías de ciclo profundo. De tal forma el tiempo para que una batería se considere que esté totalmente descargada se puede calcular como el producto del número de días de autonomía por el tiempo de operación del consumo dividido entre la máxima profundidad de descarga.

#### **4.2.3. Estado de carga y descarga de la batería**

Una batería totalmente cargada se dice que está al 100% del estado de carga (SOC, State of Charge). El estado de carga se define como la cantidad de energía disponible en la batería, expresada como un porcentaje de la energía almacenada en una batería totalmente cargada. La descarga de una batería da lugar a un decremento del estado de carga y viceversa, por ejemplo si tenemos una batería descargada al 75% está al 25% del estado de carga.

#### **4.2.4. Profundidad de descarga (DOD)**

La profundidad de descarga (DOD, Depth of Discharge) de una batería se define como el porcentaje de la capacidad que ha sido extraída de la batería comparada con la capacidad a plena carga, por definición el *estado de carga (SOC)* y la *profundidad de descarga (DOD)* suman el 100%. La profundidad de descarga disponible es el máximo porcentaje de la capacidad a plena carga que se puede utilizar. La DOD disponible es el límite máximo de descarga, generalmente relacionada por el voltaje de corte y el régimen de descarga. Para los sistemas FV autónomos, el voltaje de desconexión de la carga indica el límite de DOD disponible a un determinado régimen de descarga. Para las baterías de ciclo profundo la DOD disponible puede llegar al 80%. La DOD disponible está relacionada con la autonomía, por lo que es la capacidad necesaria para suministrar energía al consumo durante un número de días sin energía del generador FV. Por lo que un sistema de poco DOD disponible trae consigo un menor periodo de autonomía.

El número de días de autonomía es el principal factor que determina el tamaño de batería y por tanto la profundidad diaria de descarga. A mayor número de días de autonomía, mayor capacidad y por tanto será menor el porcentaje utilizado cada día para un ciclo diario. La mayoría de sistemas FV se diseñan con al menos 4 días de autonomía, esto para que pueda soportar caídas estacionales no previstas debido a periodos de baja irradiancia. (LTH, 2014).

### **4.3. Costo**

Para nuestro sistema propondremos dos tipos de baterías, que analizaremos más adelante los costos y el mantenimiento de cada una de ellas para conocer cuál es la que mejor se adapta a las necesidades del sistema.

#### **4.3.1. Batería de aplicación solar marca Cale de ciclo profundo AGM de 12VCD 115Ah**

En la siguiente figura se muestra la batería Cale. Véase Figura 4.3.1



**Figura 4.3.1 Batería Cale 12 VCD 115Ah (Cale, 2014)**

En la siguiente tabla se muestra los parámetros del controlador de carga. Véase Tabla 4.3.1

#### Parámetros del controlador de carga

Fijación del punto de regularización (VR)	14.5 V +/- .2 El voltaje máximo que el controlador permite a la batería
Histéresis de Regularización (VHR)	13.5 V Voltaje cuando la corriente es replicada
Desconexión de bajo voltaje	12.0 V Voltaje en el cual la descarga es desconectada para prevenir sobrecarga
Histéresis de desconexión de bajo voltaje (LVDH)	1.5 V Es el lapso entre el LVD y el voltaje al cual la descarga es reconectada

**Tabla 4.3.1 Parámetros batería Cale 12 VCD 115Ah (Cale, 2014)**

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones. Véase Tabla 4.3.2

#### Especificaciones

Voltaje normal	12 V
Largo	330.2 mm
Ancho	172 mm
Altura	217.8 mm
Altura total	240.3 mm
Peso	27.3 Kg
Capacidad	115 AH a 100 horas de descarga

**Tabla 4.3.2 Especificaciones batería Cale 12 VCD 115Ah (Cale, 2014)**

En la siguiente tabla se muestra las instrucciones de carga. Tabla 4.3.3

## Instrucciones de carga

Voltaje de flotación	13.5 V @ 80° F
Voltaje de igualación	15.5 V @ 80° F
Compensación por temp.	Por cada grado debajo de 27°C agregar .033 (.018) V a la inversa, por cada grado superior a 27°C quitar .033 (.018)V.

**Tabla 4.3.3 Instrucciones de carga batería Cale 12 VDC 115 Ah (Cale, 2014)**

La batería de aplicación solar marca Cale de ciclo profundo AGM de 12 VCD 115 Ah, tiene un precio de **US \$ 127.00** dólares americanos.

### 4.3.2. Batería de aplicación solar marca Trojan 24 gel a 12VCD 85Ah.

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones de la batería solar Trojan 24 gel a 12VDC 85 Ah. Véase Tabla 4.3.4



## 24-GEL DATA SHEET

<b>MODEL:</b>	24-GEL
<b>VOLTAGE:</b>	12
<b>DIMENSIONS:</b>	Inches (mm)
<b>BATTERY:</b>	VRLA GEL
<b>COLOR:</b>	Maroon (case) Grey (cover)
<b>MATERIAL:</b>	Polypropylene
<b>WATERING SYSTEM:</b>	N/A



### PRODUCT SPECIFICATIONS

BCI GROUP SIZE	TYPE	CAPACITY <sup>A</sup> Minutes @25 Amps	CAPACITY <sup>B</sup> Amp-Hours (AH)					ENERGY (kWh)	TERMINAL Type <sup>E</sup>	DIMENSIONS <sup>C</sup> Inches (mm)			WEIGHT lbs. (kg)
			5-Hr Rate	10-Hr Rate	20-Hr Rate	100-Hr Rate	100-Hr Rate			Length	Width	Height <sup>D</sup>	
<b>12VOLT DEEP CYCLE GEL BATTERY</b>													
24	24-GEL	147	66	72	77	85	1.02	6	10.92 (277)	6.61 (168)	9.26 (235)	52 (24)	

- A. The number of minutes a battery can deliver when discharged at a constant rate at 80°F (27°C) and maintain a voltage above 1.75 V/cell. Capacities are based on peak performance.  
 B. The amount of amp-hours (AH) a battery can deliver when discharged at a constant rate at 77°F (25°C) for Gel Lines and maintain a voltage above 1.75 V/cell. Capacities are based on peak performance.  
 C. Dimensions are based on nominal size. Dimensions may vary depending on type of handle or terminal.  
 D. Dimensions taken from bottom of the battery to the highest point on the battery. Heights may vary depending on type of terminal.  
 E. Terminal images are representative only.  
 Trojan's battery testing procedures adhere to both BCI and IEC test standards.

**Tabla 4.3.4 Batería de aplicación solar marca Trojan 24 gel a 12VDC 85Ah (Trojan, 2013)**

Batería de aplicación solar marca Trojan 24 Gel a 12VCD 85Ah, tiene un precio de **US \$ 195.00** dólares americanos.

Para mayor información con respecto a la batería solar Trojan 24 gel a 12VDC 85 Ah. Véase Anexo I

Se eligió la batería de aplicación solar marca Trojan 24 gel a 12 VDC 85 Ah.

#### **4.4. Mantenimiento**

Tanto por las características eléctricas y químicas una batería representa un riesgo al momento de su manipulación, por ello antes de que conozcamos las acciones que se llevan a cabo en el mantenimiento, comentaremos los riesgos, así como algunas recomendaciones que se deben de tener para la prevención de accidentes, ya que la seguridad es un factor primordial en cualquier instalación.

##### **4.4.1. Riesgos por el electrolito**

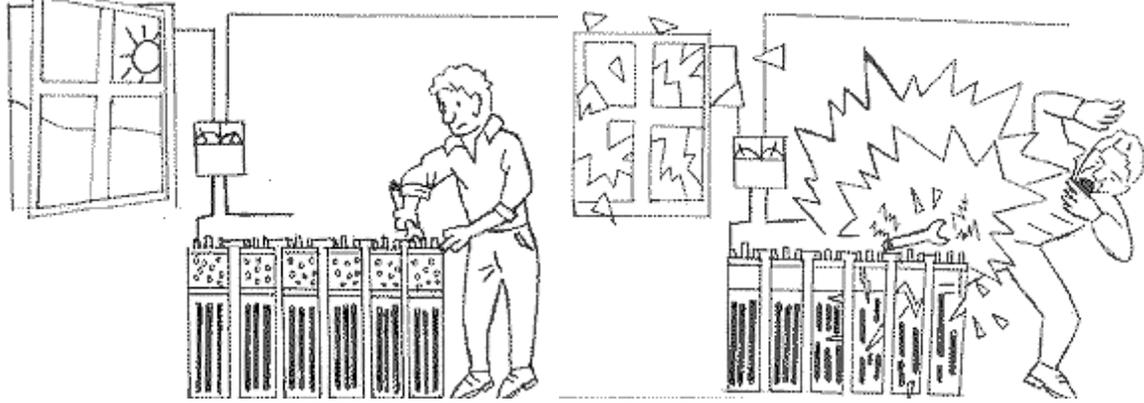
El electrolito usado comúnmente en las baterías de ciclo profundo de plomo-ácido es ácido diluido, el cual puede causar irritación e incluso quemaduras al contacto con los ojos y la piel.

Si por alguna razón el electrolito hace contacto con los ojos se deben enjuagar inmediatamente con agua abundante por más de un minuto, con los párpados abiertos, si por otra parte el contacto es con la piel, lavar abundante agua en la zona afectada, en estos casos la acción neutralizadora del agua nos da la oportunidad para acudir a recibir atención médica.

##### **4.4.2. Riesgos eléctricos**

Las baterías pueden presentar riesgos de cortocircuito, es por ello que para manipularlas tenemos que seguir las siguientes reglas; quitarse anillos, relojes, cadenas u otros objetos metálicos que pudieran entrar en contacto accidentalmente con los bornes de la batería, si hacemos uso de pinzas, estas que sean con mangos aislados eléctricamente.

El contacto accidental con los bornes de la batería de una herramienta metálica puede provocar una chispa que haría explotar el hidrógeno que desprenden las baterías durante el proceso de carga. Véase Figura 4.4.1



**Figura 4.4.1 Riesgo eléctrico (Alonso, 2012)**

#### **4.4.3. Riesgos de incendio**

Las baterías en general presentan riesgos de explosión y por consiguiente de incendio, debido a que generan gas hidrógeno, por lo que las recomendaciones son las siguientes:

- El lugar donde estará instalada la batería deberá tener buena ventilación para evitar la acumulación de gases explosivos y además se encuentren protegidas de los rayos solares.
- Mantener el área de la batería fuera del alcance de llamas, chispas y cualquier otra fuente que pueda provocar incendio.
- No fumar en el área donde se encuentre ubicada la batería ya que el desprendimiento de alguna chispa puede provocar un incendio.

#### **4.4.4. Mantenimiento**

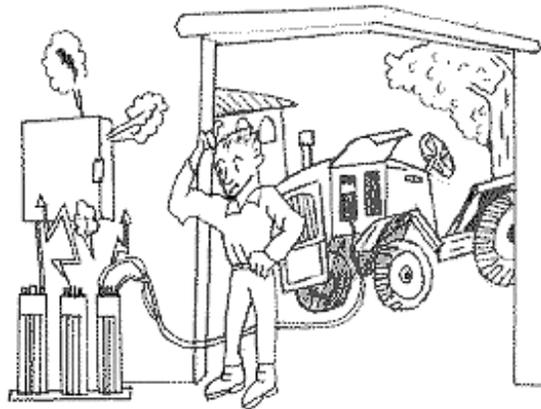
El mantenimiento de una batería comprende las siguientes acciones:

1. **Limpiar la parte superior de las baterías.** El polvo y otros restos terminan por hacerse ligeramente conductores y dejan pasar la corriente, lo que causa una descarga lenta, a veces de manera significativa.
2. **Comprobar el nivel del electrolito después de una carga.** Frecuentemente las baterías utilizan mayor cantidad de electrolito cuando se cargan totalmente con frecuencia, esto se debe a la emanación de gases que se generan a carga plena. El electrolito debe estar hasta por 1cm por encima de las placas. Normalmente cuentan con indicadores para los niveles mínimos y máximos, esto para las baterías que no son libres de mantenimiento. Por ello si se realiza mantenimiento a los paneles es indispensable realizarlo a las baterías.
3. **Limpiar y reapretar las terminales.** Estas son generalmente de plomo, este es un material blando y es preciso apretar las fijaciones ocasionalmente, así como cubrir las terminales con una grasa antioxidante o arandelas antisulfatantes para evitar la corrosión.
4. **Realizar mediciones con el densímetro.** El densímetro es un instrumento que sirve para medir la densidad del ácido del electrolito que en el proceso de descarga reacciona con las placas, ya que con esto podemos conocer el estado de la batería. Tenemos que realizar la medición en cada una de las celdas y si alguna de ellas presenta un valor distinto entre sí, es porque su funcionamiento no está siendo el adecuado y esto puede ocasionar que absorba energía de las demás celdas y esto disminuirá la vida útil de la batería.
5. **Cargas de Igualación.** Según las especificaciones del fabricante, pero para los modelos seleccionadas y usualmente es a un voltaje que ronda los 15V y se les mantiene así por 3 o 4 horas aproximadamente. Esto nos permite equilibrar las celdas compensando la sulfatación del electrolito. Es muy importante señalar que como en este proceso hay una producción importante de hidrógeno, no debemos abrir los tapones de la batería ya que

se corre el riesgo de que se derrame el electrolito (esto no aplica para las baterías de gel que son libres de mantenimiento).

Por lo tanto la frecuencia de mantenimiento de las baterías usadas en aplicaciones fotovoltaicas varía según su utilización, pero el intervalo no debe ser superior a 1 año, pero lo recomendable es cada 3 meses.

Un punto muy importante que debemos tomar en cuenta, es que las baterías de ciclo profundo para aplicaciones fotovoltaicas, además de ser calculadas para este uso, no están diseñadas para cubrir consumos de alta demanda de corriente en poco tiempo y, por lo tanto no deben ser utilizados para poner en marcha motores de vehículos. Véase Figura 4.4.2



**Figura 4.4.2 No utilizar baterías de ciclo profundo para arranque de vehículos. (Alonso, 2012)**

#### **4.5. Central de carga**

En el mercado existen distintos tipos de centrales de carga y conectores de los dispositivos móviles, aunque la mayoría de ellos en los últimos años se han estandarizado a micro USB, con excepción de algunos que siguen usando entradas propias. A pesar de ello siguen existiendo diferentes entradas para cargadores como se muestran en la Figura 4.5.1.



**Figura 4.5.1 Conectores para la carga de dispositivos móviles (US electronics, 2012)**

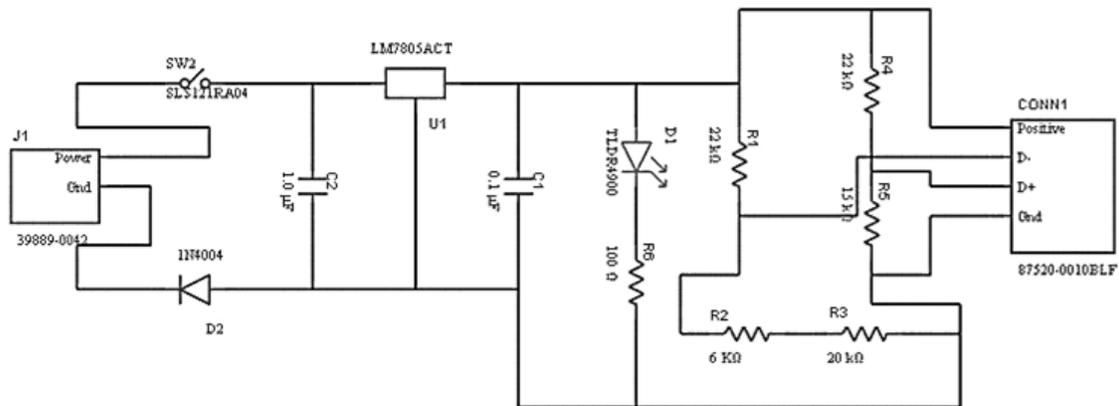
#### **4.5.1. Principio de operación**

Entre los diversos tipos de dispositivos móviles existen diversas centrales de carga, la mayoría de ellas tienen como especificaciones de voltaje de salida 5V y corriente de 1A, y una potencia de 5W, sin embargo existen en el mercado otros dispositivos que requieren centrales de carga con diferentes especificaciones como se muestran en la Tabla 4.5.1

Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]
5	0.6	3
5	1	5
5.1	2.1	10
5.2	2.4	12
5.3	2	10

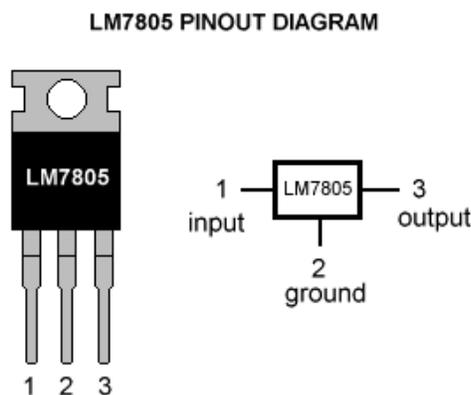
**Tabla 4.5.1 Especificaciones para la carga de dispositivos móviles (Apple, 2015)**

La electricidad que se transmite en un USB tiene una tensión de 5V y lo que varía es la corriente según el tipo de USB y la corriente de salida de la central de carga nos da la velocidad de carga. En el mercado existen distintos tipos de cargadores universales su principio de operación está basado en el dispositivo LM7805 según se muestra en la Figura 4.5.2



**Figura 4.5.2 Circuito de central de carga 5V con LM7805 (Texas Instrument, 2004)**

Este circuito está hecho con un regulador de voltaje LM7805 como se muestra en la Figura 4.5.3 este dispositivo regula el voltaje de entrada que debe estar entre 7V y 25V y entrega un voltaje a la salida de 5V.



**Figura 4.5.3 Regulador LM7805 (Texas Instrument, 2004)**

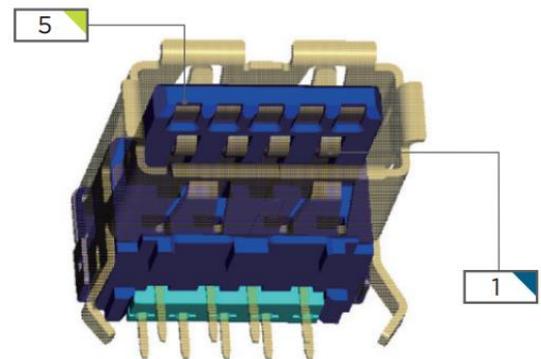
También se encuentra en el circuito un diodo de protección para permitir el uso de diferentes conectores.

En algunos dispositivos móviles de la actualidad no se comenzaran a cargar con el USB a menos que reciba un voltaje en las entradas de datos D+ de 2V y D- de 2.7V, por lo tanto se utilizan divisores de tensión para obtener estos voltajes, como se ve en la Figura 4.5.2 la resistencia R1, R2, y R3 alimentan la línea D- y para obtener este voltaje se tomaron para R1 una resistencia de 22KΩ y para obtener el otro valor de la resistencia de 26KΩ obtenido entre las resistencias R2 y R3. Para obtener el valor de 2.7V en D- utilizaremos los valores de resistencia 22KΩ y 15KΩ.

Otra parte importante de las centrales de carga es que el USB debe estar conectado de manera correcta

Existen diversas especificaciones de puertos USB en el mercado entre ellos se encuentran los de alta velocidad de USB 2.0 y los de superalta velocidad USB 3.0, las diferencias entre estos es la velocidad de transferencia para el primero de 480Mbit/s y para el segundo de 600Mbits/s así como la intensidad de corriente ya que para el 2.0 tiene 500mA y para el 3.0 900mA, lo que permite a parte de aumentar la velocidad de transferencia, también se incrementa la intensidad de corriente, que sirve para abastecer los dispositivos móviles en menos tiempo, el puerto 3.0 funciona con 5 líneas se utilizan dos líneas para enviar y dos para recibir y la quinta para suministrar corriente. Véase Figura 4.5.4

Pin #	Signal Name	Description
1	VBUS	Power
2	D-	USB 2.0 differential pair
3	D+	
4	GND	Ground for power return
5	StdA_SSRX-	SuperSpeed receiver
6	StdA_SSRX+	Differential pair
7	GND_DRAIN	Ground for signal return
8	StdA_SSTX-	SuperSpeed transmitter
9	StdA_SSRX+	Differential pair



**Figura 4.5.4 USB 3.0 conector (TE connectivity, 2014)**





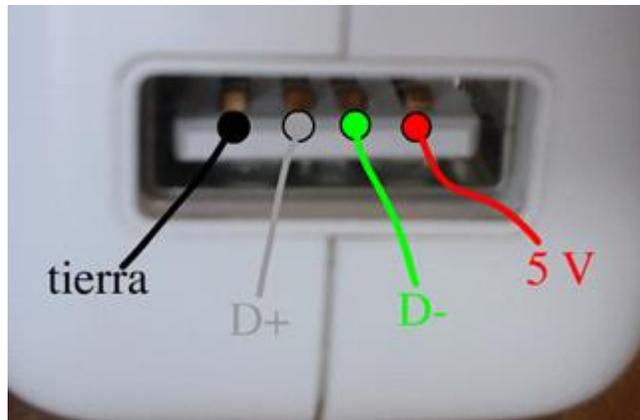
**Figura 4.5.6 Central de carga universal (Landívar, 2014)**

#### **4.5.2. Características de funcionamiento**

Hoy en día los cargadores y los conectores de todos los smartphones, tabletas electrónicas y demás dispositivos electrónicos han sido estandarizados para que sean cargados por medio del puerto USB, con excepción de los dispositivos de Apple los cuales manejan un conector distinto.

El conector USB posee 4 conectores (5 en el caso del micro USB) y estos llevan 4 hilos en su interior con las siguientes características: como se muestra en la Figura 4.5.7

- Pin 1: Voltaje de 5V
- Pin 2: Datos –
- Pin 3: Datos +
- Pin 4: Tierra



**Figura 4.5.7 Elementos Conector USB (MVP, 2014)**

A través de este conector salen los datos y la corriente eléctrica que alimentará al dispositivo, ya sea smartphone o tableta electrónica. A través de los pines 1 y 4 viaja la corriente eléctrica y por los pines 2 y 3 los datos, este caso se presenta cuando se transmite información.

La electricidad que es transmitida por un USB tiene una tensión de salida de 5V, lo que varía es el amperaje admitido, éste va de 0.5A a 2A, esto es dependiendo del dispositivo a cargar.

#### **4.5.2.1. Velocidad de carga y duración de la batería**

La corriente de salida de un cargador nos da la velocidad de carga de la batería, por lo tanto el método de carga más rápido es conectarlo a un adaptador USB conectado a la corriente eléctrica, por lo que el ciclo de carga durará menos que si nuestro dispositivo lo conectamos a cualquier puerto USB de una computadora, ya que la carga en esta se lleva de un modo más lento y también es menos efectiva (es decir, nuestro dispositivo móvil nos durará menos tiempo cargado), por lo que cargarlo a nuestra central de carga o a cualquier conector USB que se alimente a la corriente eléctrica directamente traerá como consecuencia que la vida útil de la batería se vea reducida, aunque si tomamos en cuenta el ritmo con el que se

cambian los dispositivos móviles, no percibiremos esta degradación de la capacidad de la batería.

Con la información anterior nos puede surgir el siguiente cuestionamiento ¿Qué pasa si conecto mi dispositivo móvil a un conector con distinto amperaje al usado originalmente?

Si usamos un cargador con un amperaje o corriente superior al del cargador original, el dispositivo se cargará más rápido e incluso se podrá llegar a calentar, en el caso contrario, si el dispositivo acepta mayor corriente que la que el cargador puede proporcionar, tendremos que la carga de la batería se realizará en mayor tiempo.

#### **4.5.3. Mantenimiento**

Tenemos algunas acciones que deben ser consideradas para el correcto funcionamiento de la central de carga ya que al tener contacto constante con los cables USB, los conectores irán presentando un desgaste y a su vez se aflojarán las terminales, por lo tanto consideremos lo siguiente:

- Se recomienda la limpieza de la cubierta del centro de carga con un paño suave antiestático o con unas toallas antiestáticas de la marca a elegir (se sugiera de la marca perfect choice), esto se puede realizar dependiendo del nivel de la suciedad ambiental, se aconseja cada dos meses, pero sin el uso de agua para evitar humedad en las terminales, ya que podría producir un corto circuito en nuestro dispositivo.
- Verificar que las terminales o el conector USB no se encuentren flojos o rotos, que las conexiones estén bien apretadas y que los conductores se encuentren en buenas condiciones.
- Verificar que la estructura que soporta la central de carga se encuentre en buenas condiciones, como esta estructura está a la intemperie debemos

usar aluminio, acero inoxidable o galvanizado y de no ser posible debemos poner a la estructura pintura antióxido.

#### Toallas Perfect Choice PC-030270 Antiestática



**Figura 4.5.8 Toallas limpiadoras antiestáticas (Perfect choice, 2014)**

Como sabemos que la central de carga estará en constante uso y el desgaste es inevitable, por lo que podemos tomar la central de carga como un consumible, ya que dependerá del uso y el trato que le den los usuarios y esto nos dará el tiempo de vida útil.

#### **4.5.4. Regulador o controlador de carga**

El regulador o controlador de carga es un dispositivo que se encarga de administrar las tensiones e intensidades de carga en una instalación fotovoltaica o solar, podemos asegurar que este dispositivo dirige y controla la cantidad de energía que está presente entre los módulos fotovoltaicos y la batería. Existen dos tipos; el PWM y el MPPT.

Con el PWM los módulos fotovoltaicos trabajan al voltaje que esté cargada la batería, lo cual nos puede repercutir ya que tendremos pérdidas de energía. En cuanto la batería llega al voltaje señalado (generalmente se desconecta a 14.3V, esto cuando la batería seleccionada es de 12V) se desconecta para impedir el contacto entre los módulos fotovoltaicos y la batería, esto con la finalidad de evitar

una sobrecarga, lo que se denomina fase de absorción. Las ventajas de este tipo de controlador son el bajo precio y el escaso peso.

El controlador o regulador MPPT (Maximum Power Point Tracking) incluye un controlador del punto de máxima potencia y un CC-CC que convierte la corriente continua de alta tensión a corriente continua de más baja tensión a la hora de la carga de la batería. Este regulador trabaja con los módulos a la tensión que más se adecue en el momento, ya que extrae la máxima potencia o la limita en fases de absorción o flotación (fase en que el regulador ha de mantener la batería cargada y evita sobrecargas y descargas).

Por tal motivo el regulador MPPT resulta más benéfico cuando acoplamos más módulos fotovoltaicos y cuando usamos un arreglo fotovoltaico de baja potencia podemos usar el PWM.

Como sabemos el regulador de carga protege la batería de ser sobrecargada o descargada, las cargas de CD podemos tomarlas directamente desde el regulador.

La operación del controlador se da de la siguiente manera:

- Desconecta la(s) batería por lo regular cuando el voltaje llega a 14.3V
- Conecta la(s) batería cuando el voltaje baja a 13.5V
- Desconecta a las cargas cuando el voltaje baja a 10.5V.
- La capacidad de controlador debe de ser 30% superior a la  $I_{sc}$  (Corriente de corto circuito) del arreglo fotovoltaico, y;
- La capacidad debe ser 30% mayor a la corriente máxima de carga.

## **5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA Y PROTECCIONES**

### **5.1. Dimensionamiento del sistema**

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo es el cálculo del tamaño óptimo de la instalación y su tarea fundamental consiste principalmente en determinar el tamaño óptimo del generador fotovoltaico y el conjunto de baterías, así como otros elementos como el regulador de la carga y el cableado.

Previamente al procedimiento de dimensionamiento es necesario definir las características del sistema y los siguientes parámetros:

- La ubicación donde se encontrará el sistema, tendrá las coordenadas (19.332, -99.184).
- El perfil de consumo es constante durante todo el año.
- Los equipos de DC conectados al sistema son una lámpara de 15W y un centro de carga de 26W.
- La tensión nominal del sistema será de 12 VDC.
- El número de días de autonomía, de acuerdo con el uso que tendremos y las condiciones climatológicas, así como el costo se han determinado dos días de autonomía.
- Con estos parámetros procedemos a realizar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo.

#### **5.1.1. Estimación del consumo**

Se debe calcular la energía diaria necesaria. Para ello se determina la potencia de todas las cargas del sistema, individualmente junto con el tiempo medio de uso.

Energía consumida en corriente continua (DC) en Wh:

$$E_{DC} = \sum P_{(DC)i} \cdot t_{di}$$

Donde:

$P_{(DC)i}$  = Potencia nominal del equipo  $i$  en  $W$

$t_{di}$  = tiempo diario de uso en horas ( $h$ )

Para calcular el consumo total, se toma en cuenta el rendimiento de la batería.

Consumo total diario en  $Wh$ :

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{BAT}}$$

Donde:

$\eta_{BAT}$  = Eficiencia de la batería

Calculando:

$$E_{DC} = P_{(DC)LAMPARA} \cdot t_{dLAMPARA} + P_{(DC)CENTRO DE CARGA} \cdot t_{dCENTRO DE CARGA}$$

$$E_{DC} = (15)(12) + (26)(8) = 180 + 208 = 388 [Wh]$$

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{BAT}} = \frac{388}{0.8} = \mathbf{485 [Wh]}$$

En la Tabla 5.1.1 se muestra una estimación del consumo del sistema

Descripción del equipo	Potencia [W]	Número de equipos	Potencia Total [W]	Horas de funcionamiento al día [h]	Energía Consumida [Wh]
Lámpara LED	15	1	15	12	180
Centro de Carga USB	26	1	26	8	208
<b>Energía total consumida</b>					<b>388</b>
<b>Consumo total diario con margen de seguridad</b>					<b>485</b>

**Tabla 5.1.1 Estimación de consumos**

### 5.1.2. Estimación de la capacidad de la batería

La capacidad de las baterías es la cantidad de energía que debe ser capaz de almacenar, para asegurar los días de autonomía.

Los periodos de autonomía cortos, alargan la vida de las baterías y dan al sistema mayor fiabilidad.

Para calcular la capacidad de la batería, tomamos en cuenta los siguientes parámetros:

- **Máxima profundidad de descarga.** Es el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes de la desconexión del regulador, para proteger la duración de la misma. Este valor depende del tipo de batería, pero se calcula no más del 50% de descarga.
- **Días de autonomía N.** Es el número de días consecutivos que en ausencia de sol, el sistema de acumulación es capaz de atender el consumo, sin sobrepasar la profundidad de descarga máxima de la batería.

$$C_n[Wh] = \frac{E_T \cdot N}{P_d}$$

$$C_n[Ah] = \frac{C_n[Wh]}{V_{BAT}}$$

Donde:

$C_n$  = Capacidad nominal de la batería en [Wh] o [Ah]

$E_T$  = Energía real requerida [Wh]

$P_d$  = Máxima profundidad de descarga de la batería

$V_{BAT}$  = Tensión nominal de la batería

Calculando:

$$C_n[Wh] = \frac{E_T \cdot N}{P_d} = \frac{(485[Wh])(2)}{0.5} = 1940[Wh]$$

$$C_n[Ah] = \frac{C_n[Wh]}{V_{BAT}} = \frac{1940[Wh]}{12[V]} = 161.67[Ah]$$

La batería a utilizar es de aplicación solar de la marca Trojan 24 Gel a 12VDC 85Ah de acuerdo con las especificaciones calculamos la cantidad de las baterías:

$$Cantidad\ de\ baterías = \frac{161.67[Ah]}{85[Ah]} = 1.9 \approx 2$$

Por lo tanto necesitaríamos utilizar **2 baterías**.

### 5.1.3. Estimación del generador fotovoltaico

El dimensionado del generador fotovoltaico se basa en suministrar el consumo medio diario. El tamaño del campo de paneles, o potencia pico de la instalación, se calcula teniendo en cuenta la radiación solar disponible.

Un parámetro importante es la orientación del generador fotovoltaico. En general conviene tenerlo orientado hacia el ecuador terrestre, en el hemisferio norte debe estar orientado hacia el sur.

Es conveniente utilizar el concepto Horas de Sol Pico (HPS), que es el número de horas de sol en media diaria a una radiación de 1000W/m<sup>2</sup>. Para este lugar específico es de 4650 Wh/m<sup>2</sup>, al dividir entre la irradiancia pico 1000W/m<sup>2</sup> obtenemos como resultado 4.65 horas pico (4 horas y 39 minutos). (UNAM, 2005)

En este factor global de pérdidas están contempladas las pérdidas por conexiones y dispersión de parámetros, las pérdidas debidas al punto de trabajo del sistema, que en general no coinciden con el punto de máxima potencia de los paneles. Contempla también la disminución de potencia entre nominal y la real de los módulos. Según el fabricante asegura una potencia pico nominal ±10%. Teniendo en cuenta todos estos factores las pérdidas de potencia del generador son al menos de un 25%

Teniendo en cuenta esto, se calcula el número de paneles necesarios de acuerdo con la siguiente expresión:

$$N_T = \frac{E_T}{(W_p)(HPS)(1-\eta_d)}$$

Donde:

$E_T$  = Energía real requerida [Wh]

HSP = horas de sol pico [h]

$W_p$  = Potencia pico del panel [W]

$\eta_d$  = Factor global de pérdidas que se produce en el generador fotovoltaico

Calculando:

$$N_T = \frac{E_T}{(W_P)(HPS)(1-\eta_d)} = \frac{485[Wh]}{(100[W])(4.65[h])(1-0.25)} = 1.39 \approx 2$$

El generador fotovoltaico estará formado por un determinado número de módulos fotovoltaicos conectados en serie,  $N_s$  y en paralelo  $N_p$ . El número de módulos en serie está determinado por la tensión nominal del sistema, siendo el número entero superior al cociente entre la tensión nominal del sistema y la tensión del punto de máxima potencia del módulo fotovoltaico seleccionado.

$$N_S = \frac{V_{BAT}}{V_P}$$

Donde:

$N_s$  = Numero de módulos fotovoltaicos en serie

$V_{BAT}$  = Tensión nominal de la batería 12 V

$V_p$  = Tensión del punto de máxima potencia del módulo fotovoltaico seleccionado dada por el fabricante = 18 V

$$N_P = \frac{N_T}{N_S}$$

Donde:

$N_T$  = Numero de total de módulos fotovoltaicos = 2

$N_s$  = Numero de módulos fotovoltaicos en serie

$$N_S = \frac{V_{BAT}}{V_P} = \frac{12[V]}{18[V]} = 0.66 \approx 1$$

$$N_P = \frac{N_T}{N_S} = \frac{2}{1} = 2$$

La estructura será **1 X 2 módulos (serie x paralelo)**

#### **5.1.4. Estimación del regulador**

El regulador es el elemento que controla las cargas y descargas de la batería, permitiendo el proceso de carga de la misma desde el generador fotovoltaico y el proceso de descarga a través de los elementos de consumo eléctrico del sistema global.

Para dimensionar un regulador, el objetivo principal es obtener la corriente máxima que va a circular por la instalación. Por lo tanto se debe calcular la corriente que produce el generador, la corriente que consume la carga y la máxima de estas dos corrientes será la que deba soportar el regulador en funcionamiento.

La corriente de corte a la que debe actuar el regulador será fijada en el propio dispositivo, pero ha de soportar la máxima posible que la instalación pueda producir.

La intensidad de corriente que produce el generador es la suma de las intensidades que producen los módulos funcionando a pleno rendimiento:

$$I_G = I_R \cdot N_R \qquad I_R = \frac{P_P \cdot \eta_m}{V_m}$$

Donde:

$I_G$  = Corriente producida por el generador [A]

$I_R$  = Corriente producida por cada rama en paralelo del generador [A]

$N_R$  = Numero de ramas en paralelo del generador

$P_P$  = Potencia pico del módulo fotovoltaico [W]

$\eta_m$  = Rendimiento del módulo

$V_m$  = Tensión nominal de los módulos [V]

La intensidad que consume la carga se determina teniendo en cuenta todos los consumos al mismo tiempo

$$I_C = \frac{P_{DC}}{V_{BAT}}$$

Donde:

$I_C$  = Corriente que consume la carga [A]

$P_{DC}$  = Potencia de las cargas en DC [W]

$V_{BAT}$  = Voltaje de la batería [V]

De estas dos corrientes, la máxima de ambas será la que el regulador deberá soportar, y será la que utilice para su elección.

$$I_R = \max(I_G, I_C)$$

Calculando:

Datos	
$P_P$	100
$V_m$	18
$N_R$	2
$P_{DC}$	41
$V_{BAT}$	12

$$I_R = \frac{P_P \cdot \eta_m}{V_m} = \frac{(100)(0.75)}{18} = 4.16[A]$$

$$I_G = I_R \cdot N_R = (4.16)(2) = 8.33[A]$$

$$I_C = \frac{P_{DC}}{V_{BAT}} = \frac{41}{12} = 3.42[A]$$

$$I_R = \max(I_G, I_C) = 8.33[A]$$

Por lo tanto se utilizará un **regulador de 10 [A]**

### 5.1.5. Estimación del cableado

Para cualquier condición de trabajo, los conductores de la parte de DC deben tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior

Caída de tensión máxima entre generador fotovoltaico y regulador: 3%

Caída de tensión máxima entre regulador y batería: 1%

Caída de tensión máxima entre batería y cargas: 3%

$$A = \frac{2\rho l \iota}{\Delta E} \quad \Delta E = \frac{Ve\%}{100\%} \quad I_{max} = \frac{I_{CC} N_P 125\%}{100\%}$$

Donde:

A= Es el área del conductor

$\rho$  = Resistividad del cobre 0.01785 [ $\Omega\text{mm}^2/\text{m}^2$ ]

$I_{max}$  = Corriente del conductor máxima

$I_{cc}$ = Corriente de corto circuito

$N_p$ =Numero de paneles en paralelo

$\iota$  = Longitud del conductor

$\Delta E$  = Caída de tensión [V]

e% = Caída de tensión (%) no mayor del 3%

V = Tensión [V]

0.85 = Factor de ajuste para conductores expuestos a la radiación solar.

Calculando el cable entre el generador fotovoltaico y el regulador

$$I_{max} = \frac{(5.56)(2)(125\%)}{100\%} = 13.9[A]$$

$$\Delta E = \frac{(18)(3)}{100\%} = 0.54[V]$$

$$A = \frac{2(0.01785)(13.9)(0.85)(1)}{0.54} = 0.78[mm^2]$$

Por lo tanto de acuerdo con las tablas de la NOM 001-SEDE-2012, el calibre del conductor THW-2 que le corresponde es del 18 AWG.

Calculando el cable entre el regulador y la batería

$$I_{max} = \frac{(5.56)(2)(125\%)}{100\%} = 13.9[A]$$

$$\Delta E = \frac{(18)(1)}{100\%} = 0.18[V]$$

$$A = \frac{2(0.01785)(13.9)(0.85)(0.5)}{0.18} = 1.17[mm^2]$$

Por lo tanto de acuerdo con las tablas de la NOM 001-SEDE-2012, el calibre del conductor THW-2 que le corresponde es del 16 AWG.

Calculando el cable entre la batería y el centro de carga

$$I_{max} = \frac{(5.1)(1)(125\%)}{100\%} = 6.375[A]$$

$$\Delta E = \frac{(18)(3)}{100\%} = 0.54[V]$$

$$A = \frac{2(0.01785)(6.375)(0.85)(2.7)}{0.54} = 0.967[mm^2]$$

Por lo tanto de acuerdo con las tablas de la NOM 001-SEDE-2012, el calibre del conductor THW-2 que le corresponde es del 16 AWG.

Calculando el cable entre la batería y la lámpara

$$I_{max} = \frac{(0.8)(1)(125\%)}{100\%} = 1[A]$$

$$\Delta E = \frac{(18)(3)}{100\%} = 0.54[V]$$

$$A = \frac{2(0.01785)(1)(0.85)(1)}{0.54} = 0.056[mm^2]$$

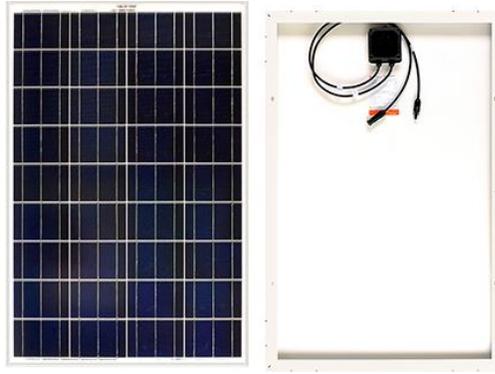
Por lo tanto de acuerdo con las tablas de la NOM 001-SEDE-2012, el calibre del conductor THW-2 que le corresponde es del 18 AWG.

## 5.2. Justificación de los elementos del sistema

En esta sección hablaremos de los elementos que conforman el sistema fotovoltaico, en los capítulos anteriores hablamos con detalle de cada elemento y como fueron dimensionados, ahora veremos la justificación de los mismos, básicamente se presentan las ventajas o características más importantes que presentó cada elemento del sistema por encima del competidor, a continuación se hace mención de cada uno de ellos.

### 5.2.1. Panel fotovoltaico

Panel solar de la marca Grape Solar de 100W, Modelo: GS-Star-100W. Se utilizarán 2 paneles. Véase Figura 5.2.1



**Figura 5.2.1 Panel solar de la marca Grape Solar (Grape Solar, 2015)**

- **Ventajas:**

1. La elección de este sistema se dio por la alta eficiencia de sus células solares (aprox.16.8%), el silicio de alta calidad permite una alta eficiencia en la conversión de módulos, esto proporciona la estabilidad y fiabilidad a largo plazo la potencia de salida.
2. Cumple con las normas internacionales establecidas. Presenta alta transmitancia, vidrio templado con bajo nivel de hierro, con mayor dureza y resistencia a los impactos.
3. El diseño único del marco con buena fuerza mecánica que posee una resistencia a la carga de nieve (aunque solo en los estados del norte del país podían darse esporádicamente esta condición) y viento mayor de 244 kg/m<sup>2</sup> (50 libras/pie cuadrado) y presenta una fácil instalación.
4. Gran rendimiento eléctrico en ambientes con altas temperaturas y con luz tenue.

### **5.2.2. Luminaria**

Lámpara de la marca Nautilus de 15W. Véase Figura 5.2.2



**Figura 5.2.2 Lámpara de la marca Nautilus (Solarlux, 2012)**

- **Ventajas:**

1. Cuenta con supresor de picos con fusible auto reseteable.
2. Formada por dos paneles dispuestos en ángulo de 30° para lograr una apertura de 180° en el haz de luz.
3. Fabricada con gabinete de aluminio con IP-65 (resistente a la intemperie).
4. Peso 5.2 Kg.
5. Protección total contra la penetración de cualquier cuerpo sólido.
6. LED montaje (120 Lm/W).
7. Voltaje de operación: 12 VDC.
8. Conexión directa sin balastos.
9. Disponible en blanco frío 7000K.
10. Tiempo de vida del LED 50,000 hasta 100,000 horas.

11. Emite poco calor y este es disipado a lo largo del panel manteniendo los LEDS fríos.
12. Índice alto de eficiencia de 300% sobre aditivos metálicos, vapor de sodio, etcétera.
13. Fabricado 100% en México.
14. Encendido automático
15. Dimeable.
16. Supresor de picos.

### 5.2.3. Batería

Batería de aplicación solar marca Trojan 24 Gel a 12VCD 85Ah (2 baterías) Ver Anexo I. Véase Figura 5.2.3



**Figura 5.2.3 Batería de aplicación solar marca Trojan (Trojan, 2013)**

- **Ventajas:**
  1. Batería de ciclo profundo.
  2. Baja resistencia interna.

3. Totalmente sellada por lo que es libre de mantenimiento.
4. Terminales resistentes a la corrosión.
5. Caja de polipropileno resistente a los golpes.
6. Garantía de fábrica.

#### 5.2.4. Controlador de carga

Regulador o Controlador de Carga Steca Solsum F. Véase Figura 5.2.4

##### Steca Solsum F

6.6F, 8.8F, 10.10F

La línea Steca Solsum F continúa con el gran éxito de uno de los reguladores de carga más utilizados en los sistemas de energía solar domésticos. Es especialmente adecuada para la aplicación de sistemas con una potencia de hasta 240 W con un rango de potencia de hasta 10 A y con una conmutación automática de 12 V o 24 V.

La placa de circuitos impresos está completamente protegida electrónicamente y la pantalla LED permite leer fácilmente el estado de la batería. Los conectores permiten una conexión sencilla con los paneles solares, la batería y la carga. El Steca Solsum F funciona como regulador serie por modulación de duración de impulsos de energía eficiente.



**Figura 5.2.4 Controlador de carga (Steca, 2014)**

- **Ventajas:**

1. Reguladores de carga más utilizados en los sistemas de energía solar, por lo que nos brinda gran confiabilidad.
2. La placa de circuitos impresos está completamente protegida electrónicamente y la pantalla LED permite leer el estado de la batería.
3. Los conectores permiten una conexión fácil con los paneles solares, la batería y la carga.
4. Desconexión/conexión de carga y paneles fotovoltaicos para proteger las baterías.

5. Protección de descarga completa de baterías.
6. Protección de polaridad invertida en todas las terminales.
7. Protección de corto circuito en batería, panel y módulos FV.
8. Protección de sobre-carga.
9. Protección de circuito abierto.

### 5.2.5. Central de carga

Central de Carga Hummer 3 USB 26W 5.1 A Turbo Car Charger. Véase Figura 5.2.5



**Figura 5.2.5 Central de carga (Hummerguard, 2015)**

- **Ventajas:**
  1. El cargador tiene un diseño ultra compacto y de uso rudo.
  2. Permite la carga de 3 dispositivos al mismo tiempo.

3. Es compatible con iPhone, Android y Apple, tanto para smartphone como tabletas.
4. El cargador universal es compatible con cualquier cable USB.
5. Dispone de garantía de por vida.

### **5.2.6. Gabinetes y techumbre**

#### **5.2.6.1. Gabinete metálico usos múltiples para uso exterior**

En la Figura 5.2.6 se muestra el gabinete para uso exterior.



**Figura 5.2.6 Gabinete metálico**

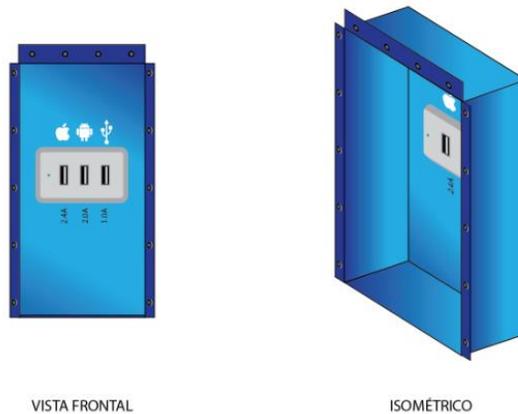
- **Ventajas:**
  1. El gabinete protege a la batería y el regulador de la lluvia y el sol así como de vandalismo.
  2. El gabinete metálico está diseñado para ser montado en muro o poste.
  3. Sus chapas y bisagras soportan la humedad.

#### **5.2.6.2. Gabinete para central de carga**

En la Figura 5.2.7 se muestra el gabinete para la central de carga.

- **Ventajas:**

1. La caja de lámina de acero soporta la humedad sin oxidarse.
2. Cuenta con cejas para atornillarse al poste y de esta manera pueda ser desmontado en caso de mantenimiento.



**Figura 5.2.7 Gabinete para central de carga**

### 5.2.6.3. Techo de lámina de acero

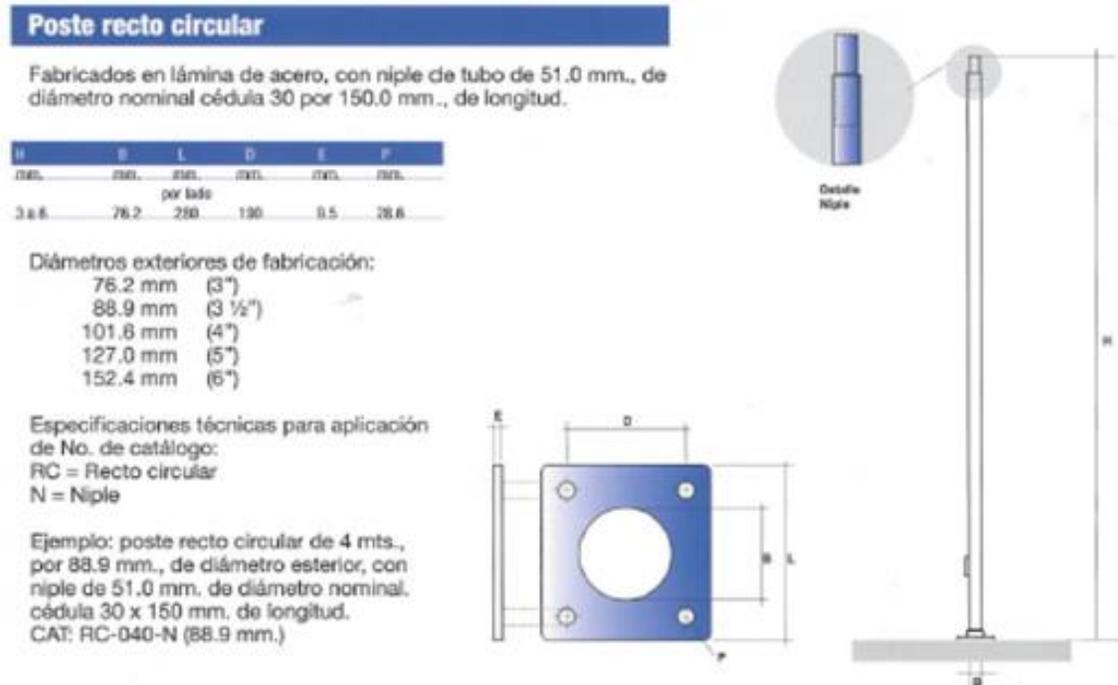
En la Figura 5.2.8 se muestra cómo quedaría el techo de lámina de acero y el gabinete para la central de carga.



**Figura 5.2.8 Techo para central de carga**

## 5.2.7. Poste

Poste recto circular de 4m. Véase Tabla 5.2.1

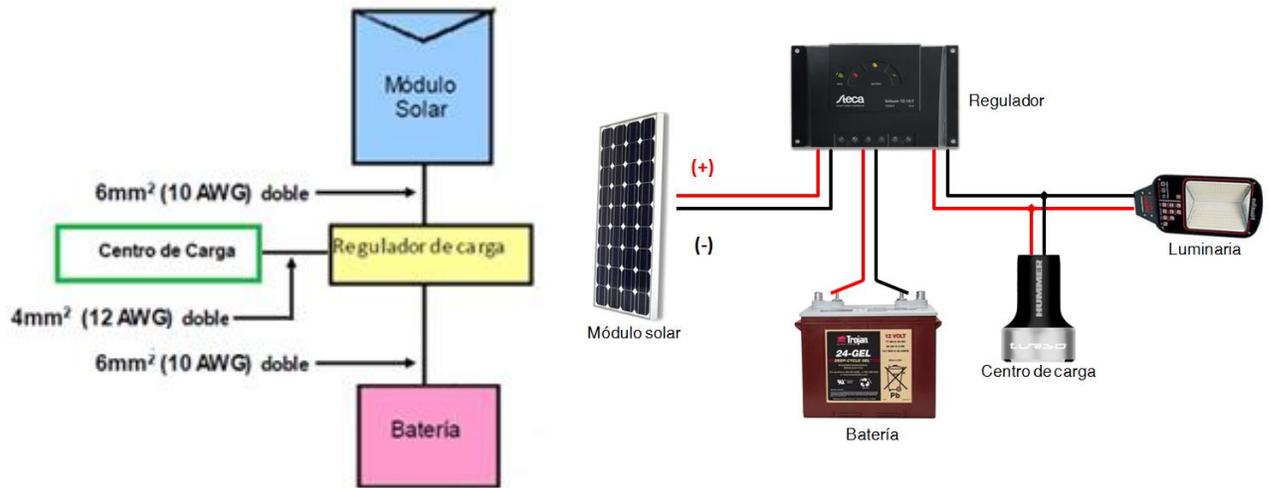


**Tabla 5.2.1 Poste (Solarlux, 2012)**

- **Ventajas:**

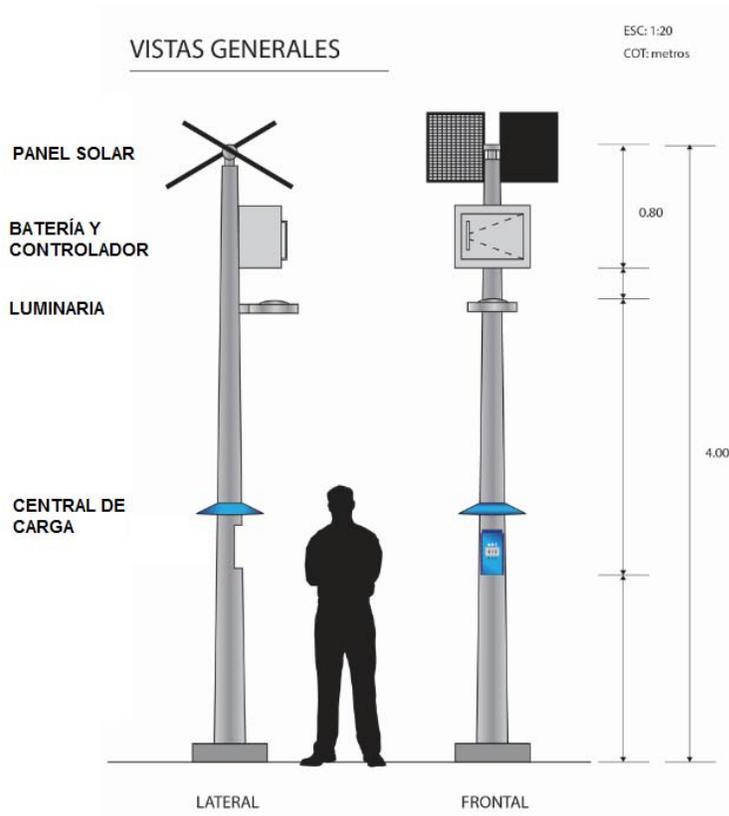
1. Gran duración.
2. Fabricado en México.

El diagrama de conexiones de nuestro sistema se presenta en la Figura 5.2.9



**Figura 5.2.9 Diagrama de conexiones**

El diagrama del sistema se presenta en la Figura 5.2.9



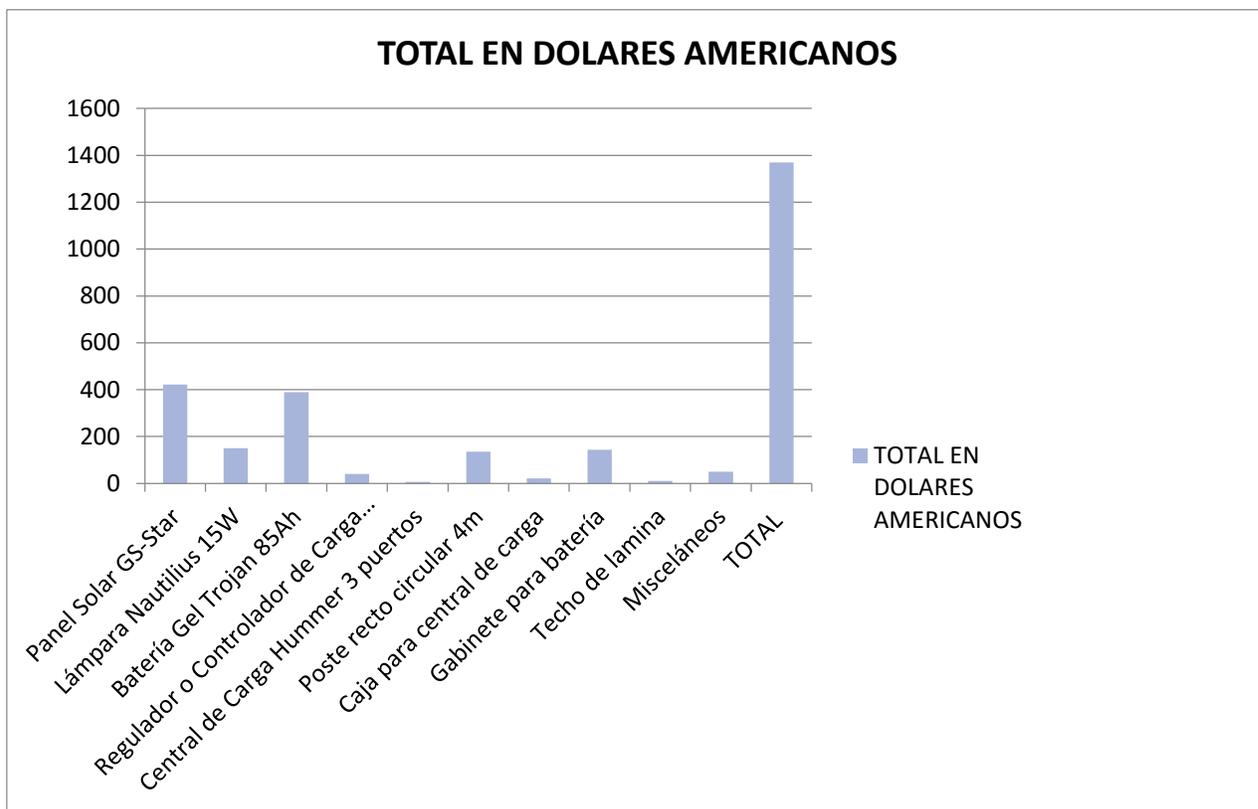
**Figura 5.2.10 Diagrama del sistema**

### 5.3. Relación de costos

En esta sección haremos una relación de los costos de cada elemento del sistema fotovoltaico, hicimos la selección de cada uno de ellos tomando en cuenta su eficiencia. Nos enfocamos en el que mejor se acomodaba en precio y capacidad para hacer una mejor elección, como sabemos la mejor solución no siempre es la más barata. A continuación se presentan los precios de los elementos de nuestro sistema fotovoltaico.

ELEMENTOS DEL SISTEMA	CANTIDAD	PRECIO DOLARES AMERICANOS	TOTAL DOLARES AMERICANOS
Panel Solar GS-Star	2	211	422
Lámpara Nautilus 15W	1	150	150
Batería Gel Trojan 85Ah	2	195	390
Regulador o Controlador de Carga Steca Solsum F	1	40	40
Central de Carga Hummer 3 puertos	1	6.95	6.95
Poste recto circular 4m	1	135	135
Caja para central de carga	1	21	21
Gabinete para batería	1	144	144
Techo de lamina	1	10.5	10.5
Misceláneos	1	50	50
<b>TOTAL</b>			1369.45

Tabla 5.3.1 Precios de los elementos del sistema fotovoltaico.



**Tabla 5.3.2 Grafica de precios de los elementos del sistema fotovoltaico.**

## 5.4. Mantenimiento

Para el buen funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica a lo largo de su vida útil, deberá realizarse un mantenimiento periódico de los diferentes equipos que la componen.

### 5.4.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo evita fallas o averías y por lo tanto aumenta la disponibilidad técnica de un sistema.

Se realiza periódicamente una inspección visual de las instalaciones así como la verificación de que todos los componentes y equipos de la misma funcionan correctamente.

#### **5.4.1.1. Mantenimiento del módulo solar**

Para la limpieza de los módulos se deberán lavar cada 3 meses con agua y un trapo suave hasta sacar toda la suciedad y luego secar con un trapo suave para no rayarlos. Se debe hacer al amanecer o al anochecer, cuando los módulos no están calientes.

Para mantener un buen funcionamiento de los módulos se recomienda no arrojar piedras cerca del módulo, el vidrio de la cubierta del módulo es suficientemente fuerte para resistir lluvia, granizo, pero no es irrompible, por lo tanto se debe cuidar de no manipular la parte frontal. Se debe inspeccionar los módulos y ver si hay celdas descoloridas, rotas o módulos despegándose.

Se debe verificar la orientación del arreglo y controlar periódicamente que el ángulo de inclinación no cambie, y que el arreglo esté bien ajustado y fijo. No se debe desconectar el modulo ni mover los módulos de su sitio, si esto sucede oriéntelo adecuadamente hacia el sur, inclínelo de acuerdo a la latitud del lugar.

Se debe examinar que todas las conexiones estén ajustadas convenientemente y limpias sin indicios de oxidación, suciedad o acumulación de insectos, se debe limpiar la corrosión si la hubiere, asegúrese que las conexiones entre el modulo y regulador; estén bien y que no hayan sufrido deterioro durante el tiempo transcurrido apretando los bornes si es necesario y asegurando que los cables estén bien apretados.

Se deben evitar sombras y no permitir la presencia de objetos sobre el módulo, confirmar que no haya proyección de sombras de objetos cercanos en ningún sector del módulo, incluyendo los arboles cerca del módulo, desde que sale el sol, hasta que se pone.

Se deben comprobar las protecciones eléctricas y estado de las conexiones, para ello se debe medir la corriente máxima de corto circuito ( $I_{sc}$ ) empleando un amperímetro. Debe ser proporcional a la radiación. La corriente medida debe ser igual a la información técnica del módulo. Medir la tensión máxima de circuito

abierto (Voc) empleando un voltímetro. Debe disminuir con la temperatura de la celda. Estimar la temperatura de operación de la celda. Calcular el Voc correspondiente y comparar con la ficha técnica.

#### **5.4.1.2. Mantenimiento del regulador**

El mantenimiento del regulador es mínimo y principalmente está relacionado con el funcionamiento correcto de los indicadores y fusibles de protección.

Se recomienda, en caso de falla, verificar las conexiones de los cables de modulo, de la batería y de la carga. Normalmente un regulador tiene 2 indicadores que informan el estado de la batería:

El indicador de voltaje bajo de la batería indica que se encuentra en carga y por tanto, está recibiendo corriente desde el modulo. Se debe reducir sus consumos al mínimo o de lo contrario, en breve, se interrumpirá el suministro de energía a los consumos cuando el voltaje se encuentra por debajo de un valor crítico más de 10 segundos, se produce la desconexión del consumo con el fin de proteger la batería contra sobre descarga, el consumo no se restaurará hasta que la batería alcance la medio carga.

El indicador de que la batería se encuentra en un estado próximo al de plena carga y que los módulos fotovoltaicos están entregando corriente. Se pueden utilizar los consumos sin restricción, si bien el tiempo de operación del sistema dependerá del uso racional que de estos haga.

Algunas fallas que se pueden presentan son que la lámpara no encienda, en ese caso si en el regulador se indica voltaje bajo de la batería, se debe esperar hasta que el sol reponga la carga de la batería. Si no es así verificar si el fusible del regulador está quemado para cambiarlo. Si la lámpara todavía no funciona después de cambiar el fusible, se debe cambiar por otro regulador.

Para tener un buen funcionamiento del regulador se deben tener las siguientes recomendaciones: tenga cuidado con el regulador, no debe extraer el regulador

del sistema podría causar graves daños a la batería; no permita que el regulador se moje por ningún motivo; no manipular el equipo ni sacar nuevos cables del regulador ni hacer otras conexiones; no abrir la caja del regulador, ni hacer manipulaciones en su interior.

El regulador controla automáticamente el sistema. Ahora bien, cuando la luz roja está encendida espere que la batería tenga buena carga pues en caso contrario podría dañar irremediablemente la batería.

#### **5.4.1.3. Mantenimiento de las baterías**

Para realizar el mantenimiento a la batería se debe colocar sobre una madera.

Se deben mantener limpia la batería y los bornes engrasados para evitar la sulfatación y asegurar un buen contacto con las conexiones que se realicen. Si estuviera sucio o sulfatado se deben limpiar los bornes con una lija suave.

La batería sin mantenimiento no necesita adición de agua destilada.

La batería nunca debe desconectar del sistema fotovoltaico, esto puede dañar el regulador

Para tener un buen funcionamiento de la batería se debe tener cuidado de no invertir la polaridad, ya que producirá un corto circuito que dañara el sistema, ni usar la batería del sistema para encender otros artefactos estos puede dañar la batería.

No se debe tener inclinada la batería, ni colocar objetos encima de la batería, si estos objetos son metálicos puede provocar un corto circuito y en consecuencia una explosión.

#### **5.4.1.4. Mantenimiento de la luminaria**

Se debe realizar la limpieza de la lámpara, cuando se requiera realizar un cambio de la luminario se debe verificar que cumpla con las mismas especificaciones técnicas, y verificar que esté bien conectada.

En caso de que la lámpara no encienda, y cuando el indicador de la batería en el regulador se encuentre en un estado de plena carga, la lámpara puede estar quemada y debe cambiar, si la lámpara aun no enciende, se deben verificar las conexiones.

#### **5.4.1.5. Mantenimiento de la central de carga**

Se debe realizar la limpieza de la central de carga, retirar el polvo de la terminal USB por medio de aire comprimido especial para ello.

Se deben verificar que las terminales USB se encuentren en buen estado y también el cable multifuncional USB.

#### **5.4.2. Mantenimiento correctivo**

En el mantenimiento correctivo, el personal técnico se encargará de la sustitución o arreglo de los equipos de la instalación que hayan sido dañados para asegurar su buen funcionamiento.

Este mantenimiento no se realizará de forma periódica sino que será cada vez que la instalación lo requiera por alguna avería.

#### **5.4.3. Mantenimiento de operación**

El llamado mantenimiento de operación es aquel donde se realizan las actividades de regulación de la instalación fotovoltaica requeridas para el funcionamiento óptimo de la misma.

Este mantenimiento operativo se realizará cada 3 meses por lo que se harán coincidir las visitas para mantenimiento preventivo con las de mantenimiento

operativo evitando así el transporte de dos equipos diferentes de técnicos para realizarlo.

En estas visitas se realizara un cambio del cable multifuncional USB.

## 6. CONCLUSIONES

El diseño propuesto de alumbrado público alimentado con energía solar y con estación de carga, mantiene un compromiso y responsabilidad con el medio ambiente. Es un proyecto sostenible que demuestra cómo es posible utilizar con éxito fuentes alternativas de energía eléctrica, para ayudar a la conservación del medio ambiente con una fuente inagotable de energía que irradia el sol en la mayor parte del planeta de manera suficiente.

Con la utilización de esta energía renovable la contaminación del medio ambiente se disminuye, evitando así los efectos contaminantes debido a que no produce emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que permite generar energía sin contaminar el aire y contribuye a frenar el cambio climático.

El sistema solar fotovoltaico de este proyecto no necesita de la utilización de hidrocarburos y debido a ello no precisa de suministro exterior, es decir, este sistema no consume este tipo de combustibles reduciendo así los costos de producción, y por consiguiente contribuimos en gran manera con el ahorro de los recursos no renovables.

El sistema es innovador, sencillo y fácil de instalar además de poseer una elevada versatilidad, este tipo de sistema pueden instalarse en prácticamente cualquier lugar.

Este proyecto puede aplicarse en estacionamientos de centros comerciales, escuelas y oficinas se sugieren lugares como el estacionamiento de la Facultad de Ingeniería en Ciudad Universitaria; en plazas públicas como la Plaza de la Constitución o la Plaza de la República de la Ciudad de México, en centros escolares como Facultades de Ciudad Universitaria o en las distintas Facultades de Estudios Superiores, en jardines como la Alameda Central, los viveros de Coyoacán y el Parque Francisco Villa de los Venados.

El mantenimiento y riesgo de avería es sencillo y de muy bajo, los módulos gozan de larga vida, y el sistema resiste condiciones climáticas como son el viento, la lluvia y las altas temperaturas.

Este sistema genera su propia energía en el mismo lugar donde se consume, de tal manera se evita la pérdida por transporte y se asegura su independencia energética.

El sistema solar fotovoltaico propuesto es eficiente y cumple a cabalidad con los parámetros de diseño, es económico y brinda los beneficios de alumbrado público para proporcionar mayor seguridad por las noches para ello, se propone la utilización de la lámpara Nautilus de 15 W y de LEDS de 120 lm/W.

La carga total conectada entre la lámpara y el centro de carga es de 24.25W y con un consumo de 485 kWh/día, con 2 paneles solares conectados en paralelo de 100 Wp, 2 baterías de gel de 85Ah con 12VDC conectadas en paralelo y un regulador de carga de 10A.

El proyecto de alta tecnología brinda la posibilidad de recargar tres dispositivos móviles al mismo tiempo, posee un puerto que contiene distintos tipos de cables, lo que ayuda grandemente a los consumidores que no los traen consigo, además posee otros dos puertos que son especializados para los dos tipos de tecnologías actuales que son android y ios estos puestos poseen características especiales para el buen funcionamiento y la buena conservación de los dispositivos móviles que utilizan estas tecnologías.

El alumbrado público con estación de carga propuesto es compatible con el avance de las tecnologías, y es adaptable a los dispositivos móviles de diversas tecnologías futuras.

El diseño propuesto de alumbrado público alimentado con energía solar y con estación de carga, aprovecha de forma óptima la energía, al proveer iluminación por las noches y la recarga de emergencia de dispositivos móviles, que han

pasado a formar parte de las necesidades actuales y de las necesidades que existirán en el futuro.

## 7. REFERENCIAS

Alonso, M. (2012). **Sistemas Fotovoltaicos**. España: CIEMAT.

ANES. (2014). **Energía Renovable**. 2 de diciembre de 2014, de Asociación Nacional de Energía Solar Sitio web: <http://www.anes.org>

Apple. (2015). **Charge the battery in your iPad**. 29 de enero de 2015, de Apple, Inc. Sitio web: <http://support.apple.com>

Arizpe, R. (1900). **El alumbrado público en México. Estudio histórico**. México: La Europea.

ASSIC. (2014). **Luminaria urbana Nautilus**. 5 de abril de 2015, de ASSIC Energía de vanguardia Sitio web: <http://www.assic.com.mx/>

AVEN. (2009). **Guía solar térmica**. España: Agencia Valenciana de Energía.

BBC. (2014). **Phone boxes turn green to charge mobiles**. 8 de diciembre de 2014, de BBC news Sitio web: <http://www.bbc.com/news/technology-29455992>

BNEF. (2014). **Bloomberg New Energy Finance PV Market Outlook**. Reino Unido: Bloomberg New Energy Finance

Cale. (2014). **Manual técnico de baterías**. México: Cale alternativa energética.

Carranza, E. (1991). **Crónica del alumbrado de la Ciudad de México**. México: Computipo.

CFE. (2014). **Energía renovable**. 11 de diciembre de 2014, de CFE Desarrollo sustentable Sitio web: [http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo\\_Sustentable/energiarenovable/Paginas/EnergiarenovableenCFE.aspx](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo_Sustentable/energiarenovable/Paginas/EnergiarenovableenCFE.aspx)

Comisión para el diálogo con los pueblos indígenas de México. (2013). **La energía eólica en México. Una perspectiva social sobre el valor de la tierra**. México: SEGOB.

Conermex. (2011). **Baterías y gabinetes**. 10 de febrero de 2015, de conermex Sitio web: <http://www.conermex.com.mx/>

Costco México. (2015). **Catálogo**. 12 de enero de 2015, de Costco México Sitio web:

[http://www.costco.com.mx/view/product/mx\\_catalog/cos\\_8,cos\\_8.4,cos\\_8.4.2/773274](http://www.costco.com.mx/view/product/mx_catalog/cos_8,cos_8.4,cos_8.4.2/773274)

[http://www.costco.com.mx/assets/images/cc\\_cat\\_bnr/PDF/773274\\_1.pdf](http://www.costco.com.mx/assets/images/cc_cat_bnr/PDF/773274_1.pdf)

EcoPotencia. (2013). **Sistemas de Alumbrado Público (SAP) con Energía Solar Fotovoltaica**. 20 de enero de 2015, de EcoPotencia Energía Eléctrica Ecológica a su alcance Sitio web: <http://ecopotencia.com/alumbrado.html>

EDRM-solar. (2014). **Ficha técnica EDMR 100 M5**. México: EDMR-solar inversión inteligente.

EPIA. (2008). **Solar Photovoltaic Technology**. 10 de enero de 2015, de European Photovoltaic Industry Association Sitio web: <http://www.epia.org>

Esco-tel. (2014). **Luminarias solares para alumbrado público, el futuro de la iluminación urbana**. 21 de enero de 2015, de Esco-tel de México Sitio web: [http://www.esco-tel.com/luminarias\\_solares\\_para\\_alumbrado\\_publico.html](http://www.esco-tel.com/luminarias_solares_para_alumbrado_publico.html)

Galindo, J. (1901). **Reseña histórico-descriptiva de la Ciudad de México**. México: Francisco Díaz de León.

Grape Solar. (2015). **Data sheets monocrystalline PV modules**. Estados Unidos: Grape Solar Clean Power. Today.

Hummerguard. (2015). **Hummer 3 USB 26W 5.1A Turbo car charger**. 18 de febrero de 2015, de Hummer like nothing else Sitio web: <http://www.hummerguard.com/>

IIE. (2013). **Energía eólica**. México: Instituto de Investigaciones Eléctricas.

INTI Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2008). **Energías Renovables 2008 - Energía Solar**. Argentina: Secretaría de Energía de la Nación.

Inversolar. (2014). **Renovando la energía**. 20 de enero de 2015, de inversolar, SA de CV Sitio web: <http://www.inversolarsolutions.com/alumbrado-puacuteblico-solar.html>

Jiménez, J. (2004). **Ingenios solares**. México: Secretaría de Educación Pública.

Landívar, E. (2014). **Cómo hacer un cargador USB para el auto o un reductor de DC**. México: Neómano

LTH. (2014). **Manual Técnico Baterías LTH Ciclo Profundo** 18 de enero de 2015, de Johnson Controls INC. Sitio web: <http://www.lth.com.mx/es-mx/productos/acumuladores/lth-solar/>

Manzini, F. (2004). **Nuevas energías renovables. Una alternativa energética sustentable para México**. México: Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la Republica.

Méndez, J., Cuervo, R. (2008). **Energía solar fotovoltaica**. España: Fc Editorial.

MK battery. (2009). **FV solar gel batteries**. Estados Unidos: MK powered.

MVP. (2014). **Cómo funciona un cargador USB**. España: Campus MVP.

Notimex. (2013). **México rebasa los 100 millones de celulares**. 10 de enero de 2015, de El Economista Sitio web: <http://eleconomista.com.mx/tecnociencia/2013/07/02/mexico-rebasa-100-millones-celulares>

Perfect choice. (2014). **Toallas limpiadoras**. 10 de febrero de 2015, de Perfect choice Sitio web: <http://www.perfectchoice.com.mx>

SAECSA. (2014). **Tecnología solar aplicada catálogo 2014**. México: SAECSA Energía Solar.

Santa Rita, A. (2007). **Energía eólica y la política energética mexicana**. México: Secretaría de Energía (SENER).

Secretaría de Economía. (2013). **Energías Renovables México**: ProMéxico.

Secretaría de Energía. (2009). **Energías Renovables, Para el desarrollo sustentable en México**. México: Subsecretaria de planeación Energética y desarrollo Tecnológico.

Secretaría de Energía. (2014). **Inventario Nacional de Energías Renovables**. México: INERE.

Secretaría de Energía. (2009). **Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables**. México: SENER

Secretaría de Energía. (2012). **Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026**. México: SENER.

Selmec. (2010). **Manual de Operación y Mantenimiento de Plantas Eléctricas de Emergencia**. México: Selmec Equipos Industriales S.A. de C.V.

Solaract. (2013). **Introducción a la Energía Solar Fotovoltaica**. 21 de enero de 2015, de solaract Sitio web: <http://www.solaract.com.mx>

Solarbox London. (2014). **Transforming disused telephone boxes into free solar powered charging points for phones**. 8 de diciembre de 2014, de Solarbox London LTD Company Sitio web <http://www.solarboxlondon.org>

Solarcia (2015). **Especificaciones panel solar 100-18-M**. México: Arcia Solar Energy.

Solarlux (2012). **Postes de iluminación pública**. 23 de enero de 2015, de solarlux iluminación ecológica Sitio web: <http://www.iluminacionsolar.com.mx>

Steca. (2015). **Reguladores de carga solar**. Alemania: Steca Elektronik GmbH

Street charge. (2013). **Surprised by the sun**. 8 de diciembre de 2014, de NRG Portable Power LLC Sitio web: <http://street-charge.nrg.com/>

TE connectivity. (2014). **USB 3.0 Connectors & Cables**. Estados unidos: TE Connectivity Ltd.

Texas Instruments. (2004).  **$\mu$ A7800 Series positive-voltage regulators datasheet**. Estados unidos: Texas Instruments Incorporated.

Torres, F. (2006). **Energías renovables para el desarrollo sustentable de México**. México: Secretaría de Energía.

Trojan Battery Company. (2013). **24-GEL data sheet 24-GEL\_TRJNRE\_DS\_0113 for Renewable Energy and Backup Power Applications**. 29 de enero de 2015, de Trojan Battery Company Sitio web: <http://www.trojanbattery.com>

UNAM. (2005). **Energía solar disponible**. México: Instituto de Geofísica.

US electronics. (2012). **USB connectors data sheet**. Estados Unidos: US electronics.

Whitney, B. (2014). **Geothermal power station**. Reino Unido: Britannica.

Wikihow. (2014). **Cómo mantener un panel solar**. 12 de enero de 2015, de Wikihow Sitio web: <http://www.wikihow.com>

XingLaiDa. (2015). **Products LED light series**. China: Ningbo Xinglaida Lamps Co., LTD

## 8. GLOSARIO

**AEROGENERADORES:** dispositivos que convierten la energía del viento en energía eléctrica.

**ANCHO DE BANDA PROHIBIDA  $E_g$ :** Para que se produzca el efecto fotovoltaico, es decir, para que se produzca una corriente eléctrica cuando incide energía sobre el material semiconductor, es necesario que los fotones tengan una energía mayor que un valor determinado, que se denomina “ancho de banda prohibida ( $E_g$ )”

**APPLE:** Es una empresa multinacional estadounidense que diseña y produce equipos electrónicos y software. Entre los productos de hardware más conocidos son el iPod, el iPhone y el iPad.

**BAGAZO DE CAÑA:** fibra que se obtiene de extraer el jugo de la caña en los ingenios azucareros y que se utiliza como energético.

**BATERÍAS AGM:** Baterías que contienen un electrolito sólido AGM (Absorbed Glass Mat), que es una fibra de vidrio fina impregnada de una solución de agua y ácido sulfúrico entre los electrodos.

**BATERÍAS AGM (VRLA):** Casi todas las baterías AGM son también de tipo VRLA (Valve Regulated Lead Acid o Pb-ácido regulada por válvula), esto quiere decir que la batería tiene una pequeña válvula que mantiene una ligera presión mayor con respecto al ambiente externo.

**BIOENERGÍA:** la cantidad de trabajo que se obtiene de la energía eléctrica, el diésel o gas que se produzca a partir de biomasa.

**CAPACIDAD INSTALADA:** Suma de la capacidad de generación del equipo para la producción de energía (medida en watts).

**CC: Corriente continua,** flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos con diferente potencial.

**CINTURÓN SOLAR:** Los países que se encuentran en la latitud + – 35 con respecto al Ecuador son conocidos como el cinturón solar debido a que tienen los niveles más altos de radiación solar al año del planeta. Los países más importantes que se encuentran en el cinturón solar son China, India, Sudáfrica, Brasil, México. El total de países que lo conforman son 148.

**EFFECTO FOTOVOLTAICO:** Es un fenómeno físico a través del cual ciertos dispositivos fabricados con semiconductores, uniones del tipo P-N, son capaces de absorber la luz del Sol y convertirla en electricidad del tipo corriente directa (CD) sin ningún proceso intermedio.

**ENERGÍA SOLAR TÉRMICA:** Se refiere al aprovechamiento de la energía solar para elevar la temperatura o presión de un fluido.

**ENERGÍAS RENOVABLES:** En México se consideran energías renovables aquellas reguladas por el artículo 3º fracción II de la LAERFTE, cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica.

**ESTADO DE CARGA (SOC):** El estado de carga SOC por sus siglas en inglés State of Charge hace referencia a la carga disponible en la batería (en %). La inmensa mayoría de aparatos electrónicos del mercado que funcionan con baterías disponen de un medidor de carga (indicador del SOC)

**ESTEREORRADIÁN:** Es la unidad derivada del SI que mide ángulos sólidos. Es el equivalente tridimensional del radián. Su símbolo es sr.

**FAROLA:** Farol grande o luminaria colocada en lo alto de un poste, que sirve para iluminar calles o generalmente alguna sección deseada.

**Isc: Corriente de corto circuito,** una falla de aislación en un punto cualquiera de una red produce un brusco aumento de la corriente, este efecto se denomina corriente de cortocircuito.

**LED:** Por sus siglas en Inglés Light-Emitting Diode, en español Diodo emisor de luz, es un semiconductor capaz de emitir radiación electromagnética en forma de luz.

**LUMEN:** unidad estándar del flujo luminoso de una fuente de luz

**LUX:** Es la intensidad luminosa uniformemente en un ángulo sólido de un estereorradián, su flujo luminoso total emitido en ese ángulo calculado por metro cuadrado es un LUMEN.

**MPPT: Maximum Power Point Tracking,** los reguladores MPPT permiten sacar la máxima potencia de los paneles fotovoltaicos, haciéndolos trabajar siempre en su punto de máxima potencia.

**PERMISIONARIO:** Los titulares de permisos de generación, exportación o importación de energía eléctrica.

**PERMISO DE GENERACIÓN:** Permiso otorgado por la Comisión Reguladora de Energía a particulares para la generación de electricidad a partir de fuentes convencionales y renovables.

**PROFUNDIDAD DE DESCARGA (DOD):** La profundidad de descarga (DOD, Depth of Discharge) de una batería se define como el porcentaje de la capacidad que ha sido extraída de la batería comparada con la capacidad a plena carga, por definición el estado de carga (SOC) y la profundidad de descarga (DOD) suman el 100%.

**PWM: Pulse-Width-Modulation,** la modulación por ancho de pulsos de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (senoidal o cuadrada) ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

**SECTOR ELÉCTRICO:** conjunto de participantes, tanto públicos como privados, que intervienen en los procesos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

**SMARTPHONE:** El **teléfono inteligente** es un tipo de teléfono móvil con pantalla táctil construido sobre una plataforma informática móvil, con una mayor capacidad de almacenar datos y realizar actividades, semejante a la de una minicomputadora y con mayor conectividad que un teléfono móvil convencional.

**TEDLAR:** Marca comercial de fluoruro de polivinilo (PVF)

**UNIVERSAL SERIAL BUS (USB):** Es un canal que sirve para comunicar y proveer de alimentación eléctrica a dispositivos electrónicos.

## 9. ABREVIATURAS

<b>AGM</b>	Absorbed Glass Mat
<b>CC</b>	Corriente Continua
<b>CD</b>	Corriente Directa
<b>CFE</b>	Comisión Federal de Electricidad
<b>CRE</b>	Comisión Reguladora de Energía
<b>DOD</b>	Depth of Discharge
<b>EPIA</b>	European Photovoltaic Industry Association
<b>ER</b>	Energías renovables
<b>EVA</b>	Etil Vinil Acetato
<b>FV</b>	Fotovoltaico
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>GWh</b>	Giga watt-hora
<b>HSP</b>	Horas de Sol Pico
<b>IIE</b>	Instituto de Investigaciones Eléctricas
<b>INTI</b>	Instituto Nacional de Tecnología Industrial
<b>kW</b>	Kilowatt
<b>kWh</b>	Kilowatt-hora
<b>mA</b>	mili ampere
<b>Mbit</b>	Megabits

<b>mdd</b>	millones de dólares
<b>MPPT</b>	Maximum Power Point Tracking
<b>MW</b>	Mega watt
<b>MWe</b>	Mega watt eléctrico
<b>MWh</b>	Mega watt-hora
<b>MWT</b>	Mega watt térmico
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto
<b>PVF</b>	Fluoruro de polivinilo
<b>PWC</b>	Price Waterhouse Coopers
<b>PWM</b>	Pulse With Modulation
<b>SEN</b>	Sistema Eléctrico Nacional
<b>SENER</b>	Secretaría de Energía
<b>SOC</b>	State Of Charge
<b>TÜV</b>	Technischer Überwachungs-Verein
<b>UL</b>	Underwriters Laboratories
<b>USD</b>	United State Dollar
<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>VDC</b>	Voltaje Corriente Directa
<b>VRLA</b>	Valve Regulated Lead Acid

# ANEXO I

Batería de aplicación solar marca Trojan 24 Gel a 12VCD 85Ah (Trojan Battery Company, 2013)

## CHARGING INSTRUCTIONS

CHARGER VOLTAGE SETTINGS (AT 77°F/25°C)				
System Voltage	12V	24V	36V	48V
Absorption Charge	14.1 – 14.4	28.2 – 28.8	42.3 – 43.2	56.4 – 57.6
Float Charge	13.5	27	40.5	54

Do not install or charge batteries in a sealed or non-ventilated compartment. Constant under or overcharging will damage the battery and shorten its life as with any battery.

## CHARGING TEMPERATURE COMPENSATION

.028 VPC for every 10°F (5.55°C) above or below 77°F (25°C) (add .028 VPC for every 10°F (5.55°C) below 77°F and subtract .028 VPC for every 10°C above 77°F).

## OPERATIONAL DATA

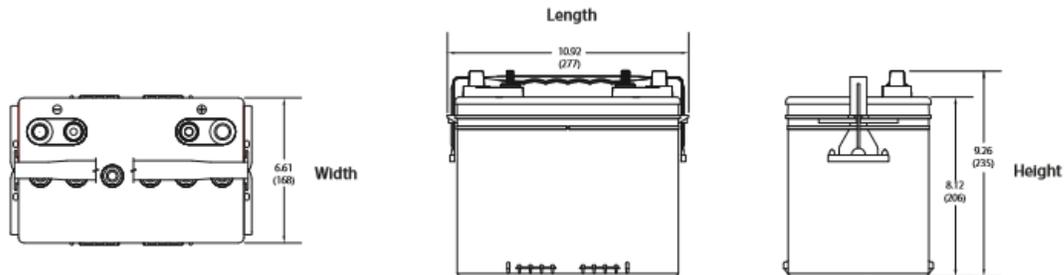
Operating Temperature	Self Discharge
-4°F to 113°F (-20°C to +45°C). At temperatures below 32°F (0°C) maintain a state of charge greater than 60%.	Less than 3% per month depending on storage temperature conditions.

Batteries may be utilized at higher temperatures with the understanding that battery life will be reduced by 50% for every 10° C (18° F) increase in operating temperatures over 68° F (20° C).

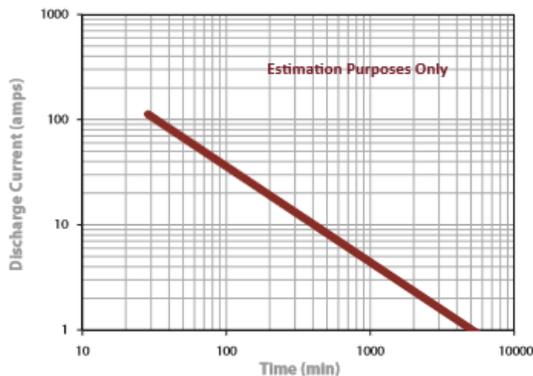
## TERMINAL CONFIGURATIONS

6	DT	Automotive Post & Stud Terminal
Terminal Height Inches (mm)		
.79 (20)		
Torque Values in-lb (Nm)		
Bolt: 95 – 105 (11 – 12)		
AP: 50 – 70 (6 – 8)		
ST: 120 – 180 (14 – 20)		
Bolt Size		
5/16 – 18		

Dimensiones:



## TROJAN 24-GEL PERFORMANCE



## PERCENT CAPACITY VS. TEMPERATURE

