



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Buenas prácticas para la instalación de
luminarias solares; Caso Práctico: Parque
ecológico en la Ciudad de México**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Ricardo Ulises López León

DIRECTOR DE TESIS

Dra. Tanya Moreno Coronado



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

INTRODUCCIÓN

PRÓLOGO

En la actualidad el uso de energías renovables se está volviendo una necesidad cada vez mayor dado los altos índices de contaminación en México y el mundo. Los aumentos en el costo de generación eléctrica por los métodos convencionales debidos al aumento de precios en los combustibles, así como la creciente necesidad de seguir innovando en el uso y aprovechamiento en fuentes de energía renovables son las principales causas que han motivado la creación de este documento. Por esta razón es indispensable saber utilizar adecuadamente estas energías y así obtener un beneficio tanto en el medio ambiente, como en el aspecto económico a fin de que exista un equilibrio Costo-Daño ambiental.

A fin de mostrar el uso de la energía solar como una fuente alternativa de generación eléctrica (en este caso en la instalación de sistemas de luminarias solares fotovoltaicas totalmente independientes y aisladas del sistema de red eléctrica nacional) se mencionarán los mejores elementos en la instalación de las luminarias para un máximo aprovechamiento de la energía solar y el mínimo costo en reparación y sustitución de elementos en mal estado.

En este documento se estudiará el caso de un parque ecológico de la ciudad de México, el cual dada su situación actual servirá para mostrar pros y contras en el uso de luminarias solares en instalaciones en lugares al aire libre y la propuesta de mejora para mantener sus instalaciones funcionando a su máxima eficiencia.

OBJETIVOS.

- Introducir al lector en el ámbito de la energía solar fotovoltaica, resaltando los temas más básicos para poder mostrar las ventajas que nos brinda el uso de esta energía renovable
- Mostrar los elementos básicos para la instalación de luminarias solares en lugares al aire libre.

- Dar elementos principales para la instalación adecuada de los luminarios solares con base en la norma mexicana de instalaciones eléctricas.
- Mostrar los fallos principales que se detectaron en una instalación de este tipo, resaltando los problemas más comunes y darle solución de una forma rápida.
- Presentar una propuesta económica para el remplazo y puesta en funcionamiento de toda la instalación solar fotovoltaica en el área afectada que se revisó
- Desarrollar un breve manual de mantenimiento preventivo de la instalación de los luminarios solares con el fin de reducir en gastos innecesarios de remplazo de equipo prematuramente.

JUSTIFICACIÓN

El propósito de este trabajo de tesis es mostrar los beneficios del uso de energías renovables, en este caso el uso de energía solar para el alumbrado público, tanto en calles, avenidas y lugares al aire libre en general.

La creciente necesidad del uso de energía eléctrica en nuestro país y en general en todo el mundo nos han llevado a buscar alternativas tanto en la generación como en el uso eficiente de energía, esto aunado al aprovechamiento de los recursos naturales renovables y la disminución en la generación de gases contaminantes para el medio ambiente.

Así mismo el control de luminarias solares deben llevar un estricto orden, tanto en su instalación inicial, como en el mantenimiento que se debe hacer periódicamente para aprovechar al máximo la energía recibida por el sol, y evitar problemas futuros.

Con esta tesis se pretende mostrar el uso correcto de las luminarias solares, la instalación más conveniente en lugares abiertos, los equipos más eficientes para el aprovechamiento al máximo de la energía solar, el mantenimiento cotidiano de luminarias y la revisión periódica de equipos instalados en las luminarias solares.

Finalmente se maneja el caso práctico sobre un parque ecológico en la ciudad de México, su principal problemática debida a una mala instalación del equipo, y la propuesta que se realizó para mejorar el uso de su alumbrado solar.

NARRATIVA POR CAPÍTULOS.

Lo que se encontrará en este trabajo de tesis será:

En el capítulo 1, un breve contexto de la energía solar en nuestra actualidad, los tipos de aprovechamiento de este tipo de energía, así como los principales niveles de radiación solar tanto a nivel mundial como dentro de la república mexicana a fin de mostrar los alcances en el uso de este tipo de energía renovable, ya sea en lugares que no tienen acceso a la red eléctrica nacional, o para expandir la capacidad instalada en la república, así como que beneficios puede llegar a tener si sabemos utilizar y aprovechar correctamente el recurso natural solar.

En el capítulo 2, abordaremos el tema de la energía solar fotovoltaica más específicamente, sus orígenes, el equipo necesario para la puesta en funcionamiento de los sistemas eléctricos solares fotovoltaicos, y el gran número de aplicaciones que se le puede dar al uso de esta energía renovable, tanto a pequeña como en gran escala, ya sea a nivel doméstico o a nivel industrial.

Así mismo se explicarán los tipos de sistemas que podemos instalar con el uso de la energía solar fotovoltaica, por un lado los sistemas aislados a la red eléctrica nacional, los cuales nos servirán para energizar zonas rurales o pequeñas cargas en el hogar, o el caso más específico y el principal de esta tesis que será la iluminación con lámparas solares totalmente independientes, y por otro lado las instalaciones “hibridas” o conectadas a la red eléctrica, las cuales nos servirán para disminuir costos en los recibos de luz en gran cantidad y poder solventar la necesidad de energía eléctrica con una opción renovable totalmente limpia sin daños al medio ambiente.

En el capítulo 3, nos centramos principalmente en las instalaciones de sistemas solares fotovoltaicos aislados, los requisitos normativos para una correcta instalación de los mismos, basándonos en la NOM-001-SEDE-2012 y el NEC(National Electric Code) de la misma manera se hará referencia a normas de carácter opcional (NMX), se explicarán los tipos de materiales adecuados tanto en instalaciones al aire libre como en lugares cerrados, dando en cada uno de los casos las explicaciones pertinentes del porque se utiliza tal o cual elemento, incluyendo beneficios tanto económicos como de máxima eficiencia, sin descuidar el tema de estética en las instalaciones a fin de mostrar un sistema solar eficiente y que no ocupe gran área de la zona a iluminar. En este capítulo abordaremos más a detalle el tema de las luminarias solares y mencionando cual debe de ser la mejor instalación de una luminaria para ahorrar tanto en energía eléctrica como en gastos en generación y reparación de lámparas.

En el capítulo 4 se explica el caso práctico del parque ecológico en la ciudad de México, se dará una breve explicación del lugar, así como la situación actual de la zona. Los principales problemas de este parque en cuanto a las luminarias solares y los daños derivados de estos problemas.

Se mostrará la revisión que se hizo a todas las luminarias en una de las zonas del parque, detallando fallos tanto en general, como en específico de cada sistema, concluyendo que razones llevaron a que las luminarias de la zona se encontraran en tan mal estado.

Finalmente, en el capítulo 5 se detallará la propuesta que se le hizo al parque para mejorar tanto el funcionamiento, como el rendimiento de las luminarias solares de la zona afectada; la inversión aproximada para la sustitución de elementos en mal estado de cada sistema, y las medidas que se deben de tomar para tener el máximo rendimiento posible de las luminarias con el mínimo costo de mantenimiento. Al final se agrega un manual de mantenimiento preventivo que se desarrolló para la gente de mantenimiento del parque, a fin de ahorrar en gastos de sustitución de equipo.

A lo largo de esta tesis, el lector obtendrá información suficiente para quedar convencido de que el uso de la energía solar fotovoltaica es una opción viable para generar electricidad en pequeñas cantidades para su uso en luminarias; ya que a pesar de que se necesita una gran inversión inicial; si se saben utilizar adecuadamente todos los elementos que componen un sistema eléctrico solar aislado, el beneficio a largo plazo será mejor, ya que se reducirá considerablemente el gasto en energía eléctrica, al mismo tiempo que se disminuyen las emisiones de CO₂ en la atmosfera y la disminución de desechos tóxicos ya que se está haciendo uso de una energía “limpia” como alternativa de generación eléctrica.

Así mismo se brindarán todas las bases para instalar una luminaria solar y se darán todas las herramientas necesarias para mantener en óptimo funcionamiento nuestro sistema aislado.

RESULTADOS OBTENIDOS.

Derivado de esta tesis se obtuvieron los siguientes resultados:

- Con la revisión y detección de los fallos en la zona verificada del parque ecológico se logró poner en funcionamiento 35 luminarios, únicamente con la reconfiguración de los controladores de carga solar, o con la colocación adecuada de los cables, ya que algunos se encontraban mal insertados en los bornes del controlador.
- Capacitación al personal de mantenimiento del parque para que puedan realizar el mantenimiento preventivo de los equipos, así mismo como para la configuración adecuada de los controladores de carga solar.
- Se realizó la propuesta económica y se presentó al personal administrativo del parque para que se pusiera en funcionamiento el 100% de los luminarios solares en la zona verificada.
- se desarrolló el manual de mantenimiento preventivo y se entregó tanto al personal administrativo y de mantenimiento del parque con la finalidad de no tener que buscar información adicional en la red, o en los manuales de los equipos instalados, así mismo en este documento se explica de manera

sencilla y detallada los requisitos básicos para el correcto funcionamiento de los luminarios solares.

- Se dio a conocer los requisitos básicos mencionados en la NOM-001-SEDE-2012 para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos para el caso más específico de las instalaciones aisladas, para poder instalar y verificar el correcto funcionamiento de los luminarios.

ÍNDICE

I-	Fundamentos de la energía solar	1
a.	Introducción a la energía solar	1
b.	Radiación solar alrededor del mundo	2
c.	Radiación solar en México	6
II-	Energía solar fotovoltaica	8
a.	¿Qué es la energía solar fotovoltaica?	8
b.	Aplicaciones	9
c.	Elementos para el uso y aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica	10
i.	Panel solar	10
ii.	Regulador de carga	13
iii.	Batería	14
iv.	Inversor	17
v.	Estructuras	19
vi.	Cables	22
d.	Sistemas aislados y sistemas conectados a la red	23
i.	Sistemas aislados	23
ii.	Sistemas conectados a la red	24
III-	Especificaciones para el diseño de sistemas fotovoltaicos aislados	27
a.	Requerimientos normativos	27
b.	Instalaciones al aire libre	37
c.	Instalaciones en lugares cerrados	40
IV-	Caso práctico: Parque ecológico en La Ciudad de México	42
a.	Situación actual de la zona	42
b.	Revisión y detección de problemas en una de las zonas del parque	47
V-	Propuesta de modificación	51
a.	Cambio de baterías y controlador	51
b.	Manual de mantenimiento preventivo de lámparas.	52
	Conclusiones	70

INDICÉ DE IMAGENES.

Imagen I.1 Espectro Electromagnético (Luz Visible).....	3
Imagen I.2 Componentes de la radiación solar en la tierra.....	4
Imagen I.3 Piranómetro.....	5
Imagen I.4 Pirheliómetro.....	5
Imagen I.5 Niveles de radiación solar en la República Mexicana.....	6
Imagen II.1: Elementos de un panel solar fotovoltaico.....	10
Imagen II.2: Panel solar monocristalino	11
Imagen II.3: Panel solar policristalino.....	12
Imagen II.4: Panel solar amorfo	12
Imagen II.5 Regulador de carga, resaltando algunas partes importantes.....	14
Imagen II.6: Señal de salida de los inversores.....	18
Imagen II.7 Inversor solar marca xantrex.....	19
Imagen II.8: Estructura fija para anclaje en el suelo y/o techo.....	20
Imagen II.9: Estructura fija en poste, principalmente para uso en luminarias solares.....	20
Imagen II.10: Estructura Móvil	21
Imagen II.11: Mecanismo de seguimiento solar (acimutal).....	21
Imagen II.12: Cables eléctricos.....	23
Imagen II.13: Instalación típica de un sistema fotovoltaico en CD aislado de la red 24 eléctrica nacional.	24
Imagen II.14: Instalación típica de un sistema fotovoltaico hibrido aislado de la red eléctrica nacional.....	25
Imagen III.1: Código de colores para conductores eléctricos.....	28

Imagen III.2: Sistema Autónomo	29
Imagen III.3: Etiqueta ubicada en la parte posterior de un panel fotovoltaico	34
Imagen III.4 Diagrama de instalación de luminaria solar	38
Imagen III.5 Ejemplo de envolvente 3R (Resistente a nieve, lluvia y granizo, y protege de contacto accidental con el envolvente del equipo)	40
Imagen IV.1: Controlador de carga solar “Steca”	43
Imagen IV.2: Controlador de carga solar	44
Imagen IV.3: Controlador de carga solar	44
Imagen IV.4: Batería de ciclo profundo “Rolls”	45
Imagen IV.5: Batería de ciclo profundo “Praha”	45
Imagen IV.6: Panel solar policristalino de 50W	46
Imagen IV.7: Panel solar monocristalino de 100W	46
Imagen IV.8: Plano de zona de estudio	47
Imagen 1 Diagrama de instalación de luminaria solar	55
Imagen 2 Conexión de cables en controlador solar	55
Imagen 3 Controlador Solar SRDC	56
Imagen 4 Controlador solar SRDC con parte importantes	57
Imagen 5 Controlador solar STECA	60
Imagen 6 Controlador solar STECA con partes importantes	60
Imagen 7 Controlador solar MASS POWER	61
Imagen 8 Controlador solar MASS POWER con partes importantes	62
Imagen 9 Batería PRAHA	65
Imagen 10 Batería ROLLS	65

INDICÉ DE TABLAS.

Tabla 1.1 Irradiación Solar en México D.F en kWh/m ²	7
Tabla 2.1 Eficiencia de paneles solares.....	13
Tabla 2.2 Características básicas para algunos tipos de baterías.....	16
Tabla 2.3: Ventajas y desventajas de algunos tipos de baterías.....	17
Tabla 3.1: Envoltentes para uso exterior.....	39
Tabla 3.2: Envoltentes para uso interior.....	41
Tabla 4.1 Irradiación Solar en México D.F en kWh/m ²	42
Tabla 4.2: Luminarias solares por zona.....	48
Tabla 1 Problemas frecuentes con controlador SRDC.....	59
Tabla 2 Problemas frecuentes con controlador MASS POWER.....	64

I- Fundamentos de la energía solar

La energía solar es un recurso renovable bastante importante, ya que es una forma de energía que siempre tenemos disponible y es teóricamente inagotable. Por eso es importante saberla aprovechar para así tener un beneficio de este tipo de recurso.

Así mismo, la energía solar ha tomado fuerza al momento de utilizar energías alternativas, ya que con una instalación adecuada y un mantenimiento preventivo podemos obtener el mayor provecho y la mayor generación de energía eléctrica a un precio relativamente bajo, dada la vida promedio de cada equipo utilizado para este tipo de instalaciones.

Para poder entender más a detalle este tipo de energía partiremos desde lo fundamental para poco a poco adentrarnos en los sistemas eléctricos específicos.

a. Introducción a la energía solar

La energía solar es un tipo de energía radiante proveniente del sol como su nombre lo dice, la cual es el resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la tierra a través de paquetes de energía también conocidos como fotones o "luz". Estos rayos de luz tienen la capacidad de generar energía, y el ser humano lo aprovecha de dos maneras principales:

1- La energía solar térmica: la cual es básicamente el aprovechamiento de la energía solar para generar calor.

Aquí podemos aplicar desde dispositivos muy sencillos para la captación de calor, como puede ser un invernadero para mantener a cierta temperatura el área de plantación de algunos tipos de plantas o el uso de calentadores de agua, en el cual se hace pasar el líquido por tubos normalmente de cobre, los cuales, al estar en contacto con el sol por medio de los rayos solares, hacen que el agua en su interior se caliente.

2- La energía solar fotovoltaica: en la cual se aprovecha la energía del sol para generar electricidad y utilizarla para los fines que sean más convenientes, actualmente es utilizada principalmente para la creación de parques solares en zonas donde los niveles de radiación solar son muy altos (principalmente desiertos), este tipo de energía en específico es la que abordaremos más a detalle en este documento.

Por otro lado, la energía solar es básica para la vida en la tierra, está implícita en casi todos los procesos naturales de la tierra, desde la fotosíntesis, los ciclos del oxígeno, agua, carbono, y los cambios climáticos propiamente.

La energía solar está presente en todo el mundo, aunque en ciertas zonas es más evidente dada la posición con respecto al ecuador, así pues, las zonas que están más cercanas al ecuador recibirán mayor incidencia de rayos solares. Por dar un ejemplo, en Centro América existe mayor incidencia de rayos solares durante todo el año, que en el área de Norte América

Finalmente, la energía que recibimos del sol es prácticamente inagotable, ya que estamos hablando de una masa que se formó hace cerca de 4500 millones de años y durará por al menos otros 5000 millones de años más, es energía gratuita que nos puede brindar muchos beneficios si la sabemos aprovechar de una manera eficiente.

b. Radiación solar alrededor del mundo

La principal y más grande fuente de energía en el planeta es la proveniente del sol, este gran cumulo de masa nos genera radiación solar, la cual es una serie de ondas electromagnéticas las cuales van desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. Solo una pequeña parte de estas ondas (entre 0.4[μm] y 0.7[μm]) son visibles para el ojo humano, constituyendo lo que es mejor conocido como luz visible. El resto de las ondas electromagnéticas se encuentran

mayormente en el área de infrarrojo (mayores a $0.75[\mu\text{m}]$) y el resto en el ultravioleta (menores a $0.4[\mu\text{m}]$).

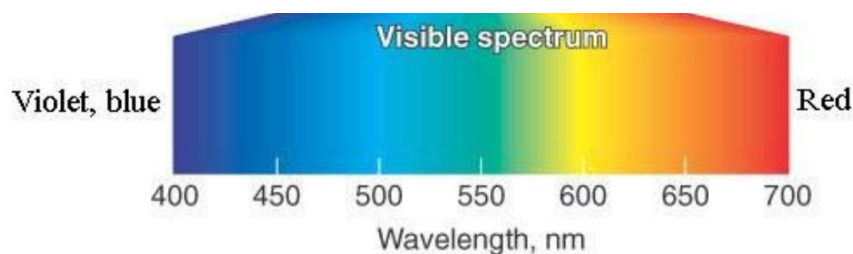


Imagen 1.1 Espectro Electromagnético (Luz Visible)
Fuente: SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks)

No toda la radiación incide o llega directamente a la tierra, ya que existen distintos factores que pueden “disminuir” el nivel de incidencia.

Tenemos principalmente 3 tipos de radiación y estas son:

1- Radiación Directa: Como su nombre lo dice, este tipo de radiación incide directamente en la superficie de la tierra sin haber recibido ningún tipo de cambio en su dirección, en este tipo de radiación podemos notar que en objetos opacos que reciban esta incidencia, se nota una sombra bien definida del objeto.

2- Radiación difusa: al atravesar la radiación la atmosfera, esta es reflejada o absorbida por nubes u otro tipo de elementos, como montañas, partículas de polvo, árboles, etc. Así entonces la fuerza con que la radiación llega a la tierra se ve disminuida por todos estos “bloqueos”.

3- Radiación reflejada: se trata de la radiación que precisamente se refleja en la superficie de la tierra o por algún otro objeto, la cantidad de radiación dependerá del coeficiente de reflexión de la superficie, las superficies verticales son las que reciben mayor radiación reflejada.

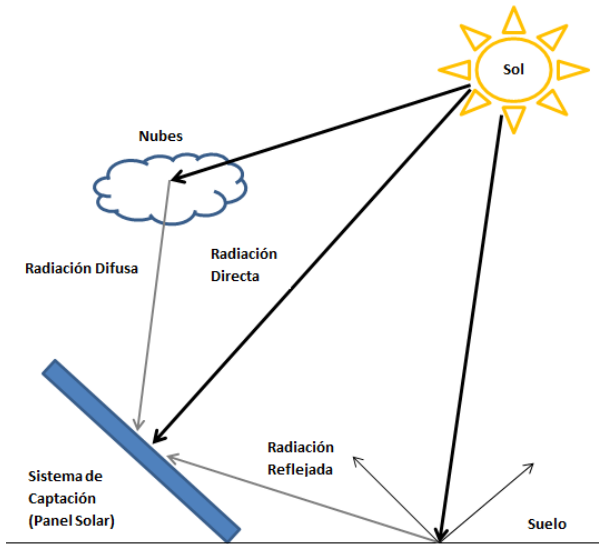


Imagen 1.2 Componentes de la radiación solar en la tierra.

Para tomar en cuenta los niveles de radiación en la superficie terrestre tenemos que tomar en cuenta los siguientes conceptos.

Irradiancia: “se define como el flujo de radiación solar que incide sobre una unidad de superficie en un tiempo dado. Se expresa en $[W/m^2]$ o $[kW/m^2]$ ”.¹

Irradiación: “se define como la energía por unidad de superficie a lo largo de un periodo de tiempo, se expresa en $[J/m^2]$ o $[Wh/m^2]$ ”.¹

Existen ciertos equipos que miden la radiación solar, algunos de ellos son los piranómetros y los pirheliómetros.

Los piranómetros son instrumentos meteorológicos utilizados específicamente para medir la radiación solar que incide sobre la superficie de la tierra de una manera muy precisa en un rango de 180° .

1- Extracto tomado del libro “Radiación solar y su aprovechamiento energético” del autor: Pareja Aparicio, Miguel; Editorial: Marcombo. Pág. 16



Imagen 1.3 Piranómetro
Fuente: <http://www.scielo.org.co/>

Los pirheliómetros son instrumentos para medir la irradiancia solar, para esto, la luz del sol entra directamente en el instrumento a través de una ventana y es dirigida sobre una termopila que convierte el calor en una señal eléctrica que se puede grabar, para posteriormente obtener los valores en w/m^2 .



Imagen 1.4 Pirheliómetro
Fuente: <http://www.directindustry.es/>

Existe un valor conocido como “constante solar” y este se define como la cantidad de energía solar que llega a la tierra por unidad de superficie y tiempo; Su valor es de $1367 \text{ [W/m}^2\text{]}$ aunque para cálculos futuros y facilidad de números se considerará el valor como $1370 \text{ [W/m}^2\text{]}$.

c. Radiación solar en México

La República mexicana es un lugar perfecto para el aprovechamiento de la energía solar, ya que tenemos áreas en las cuales la incidencia de los rayos solares es constante durante todo el año, y en muy pocas zonas es bajo el nivel de radiación solar.

El siguiente mapa muestra las zonas con mayor radiación solar:



*Imagen 1.5 Niveles de radiación solar en la República Mexicana.
Fuente: Instituto de investigaciones eléctricas.*

Como se observa en la figura, en prácticamente toda la República Mexicana, los niveles de radiación solar superan los 4.7 [kWh/m²] esto tomando en cuenta que sea un día soleado; pero para tener los datos específicos por estado y mes, encontrará esta información en el **Apéndice A**, a fin de mostrar el alcance que se podría lograr si utilizamos como una alternativa el uso de la energía solar.

Para el caso específico de esta tesis nos basaremos en los valores obtenidos para la Ciudad de México, ya que es precisamente en esta ciudad donde se encuentra localizado el parque ecológico.

Los valores son los Siguietes:

		KWh/m ²											
D.F. Tacubaya	<u>Ene</u>	<u>Feb</u>	<u>Mar</u>	<u>Abr</u>	<u>May</u>	<u>Jun</u>	<u>Jul</u>	<u>Ago.</u>	<u>Sep.</u>	<u>Oct</u>	<u>Nov</u>	<u>Dic</u>	<u>Prom</u>
	4.4	5.2	5.8	5.8	5.7	5.1	4.9	4.9	4.7	4.4	4.2	3.8	4.9

*Tabla 1.1 Irradiación Solar en México D.F en kWh/m²
Fuente: Instituto de investigaciones eléctricas.*

Estos valores son muy importantes para el desarrollo de los siguientes temas, ya que los abordaremos más a fondo y se podrá definir de una mejor manera la instalación más adecuada para ciertas zonas del país.

II- Energía solar fotovoltaica

El uso de energías alternas se está volviendo cada vez una necesidad mayor, ya sea para lograr llegar a comunidades rurales remotas, o simplemente como una opción distinta a los métodos de generación “tradicionales”.

Sin embargo, se tiene un mal concepto de que las energías renovables son un método ineficiente y caro de generación eléctrica. El punto es este documento es dar a conocer todos y cada uno de los beneficios de estas energías.

Para el caso específico de la energía solar fotovoltaica se hará notar el aprovechamiento en sistemas aislados de la red eléctrica los cuales nos ayudarán a cubrir esa necesidad de energía eléctrica.

a. ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?

“La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica.”¹;

Esto se logra aprovechando el efecto fotoeléctrico, el cual consiste en la incidencia de electrones sobre una superficie, la cual generará el cambio entre energía solar y energía eléctrica

Para que ésta transformación se lleve a cabo es indispensable hacer notar que nos apoyaremos en distintos tipos de equipos, los cuales describiremos más adelante; a fin de obtener la mayor eficiencia y aprovechamiento del recurso solar.

La mayor ventaja al utilizar este tipo de energía como una alternativa, es que podemos estar seguros que siempre tendremos la incidencia de los rayos solares sobre el planeta, así mismo no genera residuos, la generación es totalmente silenciosa y finalmente, si brindamos el debido mantenimiento de los equipos que consiste principalmente en la limpieza de los paneles solares, nos daremos cuenta que es una generación de energía bastante viable.

1- Extracto tomado de: “Manuales de energía renovable: Solar fotovoltaica” Biomass users network (BUN-CA) 1ra Edición, - San José-, C.R. Pág. 4

La mayor desventaja es que al utilizarse baterías para almacenar la energía, estas tienen en su interior materiales químicos peligrosos, y si existe algún tipo de derrame, generara un área totalmente tóxica.

En México no se le ha dado un gran aguje al aprovechamiento de esta energía, ya que la creación de los paneles solares es un proceso complicado y costoso, lo cual resulta en un costo de generación por KW bastante alto, pero es bueno tener el conocimiento basto para cuando la tecnología llegue a disminuir sus costos así poder generar más energía por este método.

b. Aplicaciones

Las aplicaciones pueden ser múltiples y extensas, entre ellas destacarían:

- Generación en grandes cantidades para uso comercial.
- Sistemas de telecomunicaciones.
- Alumbrado público y privado.
- Iluminación en zonas rurales
- Señalizaciones en vías públicas.
- Para viviendas de uso temporal.
- Faros y boyas de uso marítimo.
- Lámparas de mano.
- Satélites de comunicación
- Etc.

Debido a la inversión inicial que se debe hacer en la instalación de este tipo de sistemas, las opciones donde sería mayor el beneficio de generación se reducirían principalmente a sistemas independientes en los cuales no se utilicen grandes cantidades de energía, como lo sería en iluminación

principalmente con lámparas de led, y sistemas electrónicos que no necesiten estar en funcionamiento todo el día.

c. Elementos para el uso y aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica

Para el correcto uso y aprovechamiento de la energía solar son necesarios distintos equipos que describiremos más a detalle a continuación:

i. Panel solar

El panel solar es el elemento básico para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica, ya que es el encargado de la transferencia del calor obtenido a partir de la irradiación solar aprovechando el efecto fotoeléctrico.

El módulo fotovoltaico está conformado por los siguientes elementos:

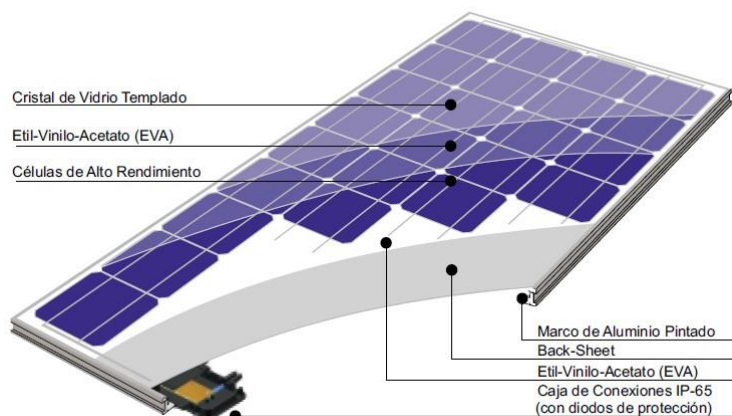


Imagen II.1: Elementos de un panel solar fotovoltaico

Fuente: <http://www.sermsoluciones.com/p/la-energia-solar-es-la-energia-obtenida.html>

Así mismo, un panel solar fotovoltaico está constituido por varias celdas solares conectadas en serie y/o paralelo a fin de adaptar el panel a los niveles de tensión y corriente adecuados.

Este tipo de celdas solares están formadas por una unión P-N que es en la mayoría de los casos compuesta por la cristalización del Silicio en distintos tipos de pureza:

1- Monocristalinos: este tipo de paneles presenta una estructura totalmente cristalina y es obtenida del silicio puro fundido dopado con boro, este tipo de panel no presenta imperfecciones y es de un color azul oscuro en toda la estructura de las celdas solares.



Imagen II.2: Panel solar monocristalino
Fuente: <http://www.archiexpo.es/>

2- Policristalinos: en este panel se presentan imperfecciones debido a que no existe un ordenamiento al momento de cristalizar el silicio, la eficiencia del panel disminuye en comparación con el monocristalino, pero es de igual manera más económico que el anterior, lo cual lo vuelve bastante rentable para ciertas aplicaciones. Se puede reconocer por que las celdas se muestran en color azul oscuro y una mezcla de grises.



Imagen II.3: Panel solar policristalino
Fuente: <http://www.ingenieriaverde.org/paneles-solares/>

3- Amorfos: son los más baratos de los 3 tipos, en este tipo de paneles existe un gran desorden y defectos estructurales en la combinación química. La eficiencia es muy baja y presenta un color homogéneo en toda su estructura.

Este tipo de Paneles se recomienda en lugares donde la incidencia del sol es constante y de gran intensidad durante todo el año.

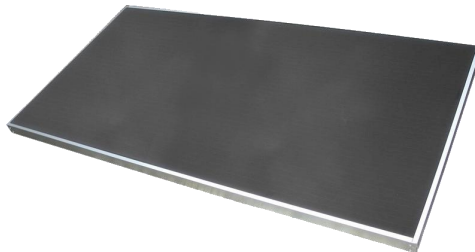


Imagen II.4: Panel solar amorfo
Fuente: <http://www.arrakis.es/~corpotec/paneles/paneles.htm>

Existen otros tipos de paneles solares elaborados con sulfuro de cadmio (CdS) y sulfuro cuproso (Cu_2S) son baratos de elaborar, pero su eficiencia es muy baja en comparación con los de silicio; otro caso son los paneles de arseniuro de Galio (GaAs) pero contrario a los anteriores, estos son muy

costosos de elaborar dado que los materiales que se utilizan en su elaboración, son poco abundantes.

La eficiencia en los distintos paneles solares es baja, esta es tal vez una de las principales razones por la cual la energía solar fotovoltaica no se ha desarrollado tanto en la república mexicana, pero es importante mencionar que, aunque tengamos eficiencias bajas, podremos estar completamente seguros que el recurso solar es prácticamente inagotable.

La tabla 2.1 muestra los valores típicos de eficiencia para los distintos paneles de silicio:

Tecnología	Eficiencia (%)
Silicio monocristalino	14 - 16
silicio policristalino	10 - 12
Silicio amorfo	6 - 8

Tabla 2.1 Eficiencia de paneles solares

Fuente: Energía Solar Fotovoltaica: Calculo de una instalación aislada; Autor: Miguel Pareja Aparicio

ii. Regulador de carga

Como su nombre lo dice, el regulador de carga es el encargado de regular la carga y descarga de la batería.

Entre sus funciones principales están:

- Evita la sobrecarga en las baterías: esto se logra que al notar el estado de carga al 100% (EDC= 100%) el regulador “detenga” la carga de la batería. Con esto se evita la generación de gases contaminantes, y se disminuye la generación de líquidos dentro de la batería; dando como resultado un mayor periodo de vida de las baterías utilizadas para este fin.

- Evita que la batería se sobre-descargue cuando la irradiación solar sea muy baja, esto también ayuda directamente al periodo de vida de la batería.
- Asegura que todo el sistema fotovoltaico funcione en su punto de máxima eficacia

Algunos reguladores de carga comerciales incluyen displays para obtener los datos al momento de la tensión, carga de la batería, etc.

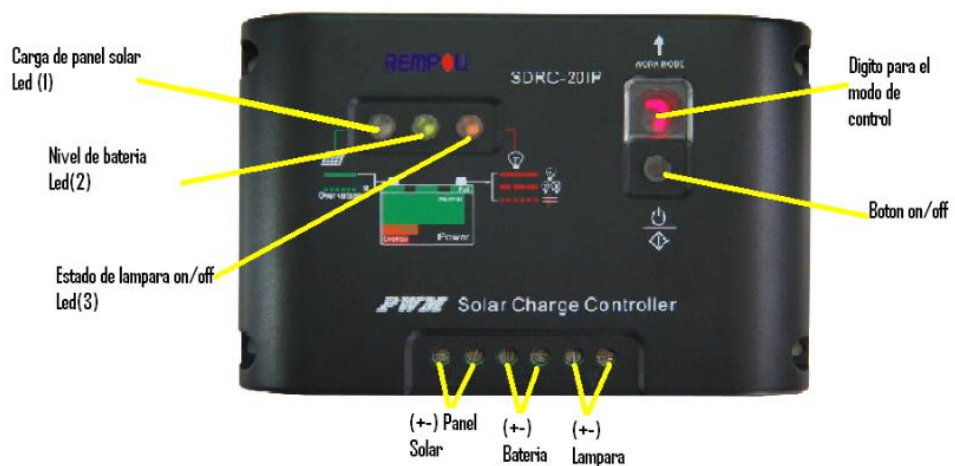


Imagen 11.5 Regulador de carga, resaltando algunas partes importantes.

Generalmente el regulador de carga es el elemento “crítico” al instalar equipos aislados de la red eléctrica que utilizan únicamente corriente directa. De este equipo depende principalmente que todo nuestro sistema funcione de manera óptima, por esta misma razón es de los elementos que debemos tener siempre en óptimas condiciones de funcionamiento.

iii. Batería

La incidencia de los rayos solares es irregular a lo largo del día, por esta razón es necesario un equipo de almacenamiento de energía para los momentos en que la radiación recibida por los paneles fotovoltaicos no sea la suficiente para mantener el funcionamiento de la instalación, para esto es necesario el uso de baterías.

La batería es un elemento que cumple con 3 funciones principales dentro del sistema solar fotovoltaico:

- Almacenan energía durante la mayor incidencia solar o aquellos periodos en los que el sistema fotovoltaico está utilizando una mínima cantidad de energía.
- Proveen de energía al sistema cuando existe poca o nula incidencia de rayos solares en el panel fotovoltaico.
- Provee en teórica una cantidad estable y regulada de energía al sistema solar fotovoltaico, lo cual hace que los aparatos conectados no sufran daños por desequilibrios energéticos.

Uno de los parámetros más importantes al momento de escoger una batería es la **capacidad**; esta se define como *“la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo.”*

La unidad básica de la capacidad de la batería es el *Ampere-hora (Ah)*, y se calcula como el producto de la intensidad de corriente por la cantidad de tiempo que está actuando la batería.

$$C = I * t$$

Donde:

C: Capacidad de la batería (Ah)

I: Intensidad de corriente (A)

t: Tiempo que actúa la batería (h)

Existen distintos tipos de baterías para la acumulación de energía eléctrica en los sistemas solares fotovoltaicos; entre las más utilizadas destacan:

- Plomo-Acido

- Ni-Cd (Níquel Cadmio)
- Ni-Mh (Hidruro Metálico)
- Ion-Li (Ion Litio)

En la tabla 2.2 se pueden observar algunas características básicas de cada uno de estos tipos de baterías:

Tipo	Tensión por elemento [V]	Número aproximado de recargas	Tiempo de recarga [horas]	Autodescarga por mes [%]	Capacidad [Wh/kg]	Costo
Plomo-Acido	2	1000	8 - 16	< 5	30 - 50	Bajo
Níquel-Cadmio (Ni-Cd)	1.25	500	10 - 14	20	50 - 80	Medio
Hidruro Metálico (Ni-Mh)	1.25	1000	2 - 4	20	60 - 120	Medio
Ion Litio (Li-Ion)	3.7	5000	2 - 4	6	110 - 160	Alto

Tabla 2.2 Características básicas para algunos tipos de baterías.

Así mismo se tienen ventajas y desventajas para cada tipo de baterías, los cuales se mostrarán en la tabla 2.3:

Tipo de batería	Ventajas	Desventajas
Plomo- Acido	<ul style="list-style-type: none"> - Proporcionan mayor capacidad (Ah) por carga - Son baratas 	<ul style="list-style-type: none"> - Tienen gran volumen - Se sulfatan o sufren el efecto memoria - Producen desechos dañinos al medio ambiente
Níquel-Cadmio (Ni-Cd)	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo corto de recarga - Pueden trabajar aun con sobrecarga y calentamiento - No son afectadas por el tiempo excesivo de recarga 	<ul style="list-style-type: none"> - Proporcionan menor tensión - Son seriamente afectadas por el efecto memoria
Hidruro Metálico	<ul style="list-style-type: none"> - No sufren efecto memoria 	<ul style="list-style-type: none"> - No funcionan en climas fríos.

(Ni-Mh)	- Proporcionan mayor potencia eficaz que las de Ni-Cd	- Sus desechos contaminan en exceso
Li-Ion (Ion Litio)	- Menor tiempo de recarga - Poco volumen - Proporcionan la mejor potencia eficaz y se descargan en menor tiempo - Carecen de efecto memoria	- Son muy caras - Requieren de muchos cuidados. - Son inestables al grado de poder explotar. - No admiten cambio de temperatura.

Tabla 2.3: Ventajas y desventajas de algunos tipos de baterías Fuente: Propuesta de alumbrado público por medio de celdas fotovoltaicas con luminarios tipo leds para la manga, municipio de la yesca en el estado de Nayarit. Tesis: IPN

Debido a todas estas características, podemos concluir que las baterías más eficientes son las de Ion-Litio, pero debido a su costo y la posibilidad de explosión a causa de los cambios de temperatura drásticos o a movimientos constantes de este equipo, no se recomendarán para instalaciones de luminarias al aire libre.

Las baterías que se recomiendan son las de Plomo-Acido, ya que son baratas, y pueden tolerar los cambios drásticos de temperatura, de la misma manera y a fin de evitar los desechos que generan, se podrá tomar un protocolo de recolección de baterías cuando se encuentren en el fin de su vida de funcionamiento óptima.

iv. Inversor

Un inversor de corriente es aquel equipo que está encargado de la transformación de corriente directa (DC) a corriente alterna (AC).

Este tipo de equipos no son necesarios en la instalación de luminarias solares, ya que las lámparas de led funcionan directamente con corriente continua, pero para aplicaciones más robustas son imprescindibles dado que

la mayoría de equipos en una instalación utilizan la corriente alterna como alimentación principal.

El funcionamiento principal de los inversores es convertir una señal de corriente directa en una señal cuadrada o en una señal completamente senoidal; el tipo de inversor que se utilice dependerá de las aplicaciones para las que sea requerida la transformación de corriente.

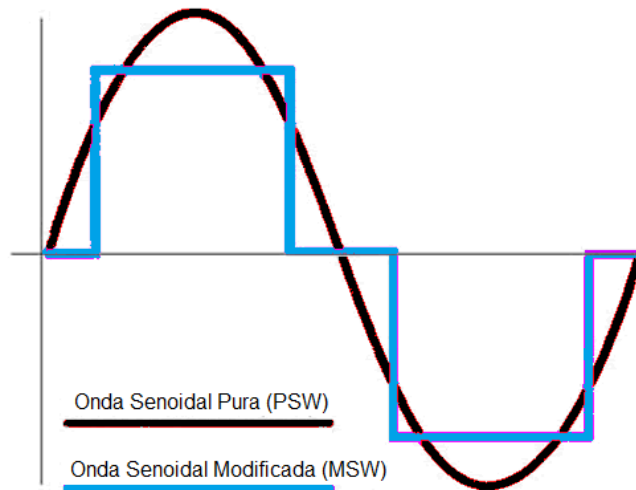


Imagen II.6: Señal de salida de los inversores
Fuente: Energía Solar Fotovoltaica: Calculo de una instalación aislada

Las características principales que se buscan en los inversores serán:

- Alta eficiencia para funcionar en distintos rangos de potencia
- Bajo consumo energético cuando se encuentran las cargas “apagadas”.
- Resistencia a los picos de arranque, para motores principalmente.
- Protección contra cortocircuito.
- Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida para la buena compatibilidad en instalaciones conectadas a la red eléctrica.



*Imagen II.7 Inversor solar marca xantrex
Fuente: <http://www.abcsolar.com/Xantrex.html>*

Del mismo modo, todos los inversores deberán venir marcados de fábrica con las siguientes características básicas:

- Potencia nominal (VA)
- Tensión de entrada (V)
- Tensión (V) y frecuencia de salida(HZ).
- Fabricante.
- Polaridad y conexiones.

v. Estructuras

En todo tipo de instalaciones solares son necesarias estructuras para el soporte de los paneles fotovoltaicos, así como para tener la inclinación correcta para la mejor captación de la energía solar.

Algunos tipos de estructuras que se utilizarán son:

1- Estructuras fijas: como su nombre lo dice, son sistemas que van anclados fijamente al suelo, techo o postes de luz. Para aplicaciones caseras donde hay obstáculos de por medio (arboles, casas, edificios) será optimo colocar los paneles en los tejados de las casas, o directamente sobre un poste, en la mayoría de los casos donde los paneles solares están colocados al nivel del suelo, es en parques solares que están alejados de cualquier tipo de obstáculo, llámese grandes áreas verdes y/o zonas desérticas.



Imagen II.8: Estructura fija para anclaje en el suelo y/o techo.

Fuente:<http://www.mapsacatalogo.com/images/productos/basesparamontajedepanelessolaresentpiso.jpg>



Imagen II.9: Estructura fija en poste, principalmente para uso en luminarias solares.

Fuente:http://cartego.com.mx/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/1/_/1_14_30.jpg

2- Estructuras móviles: son sistemas conformados por un poste principal, equipados con una montura acimutal para que el panel vaya girando siempre en dirección al sol, esto aumenta la cantidad de energía captada por el panel solar, haciendo más eficiente todo el sistema solar fotovoltaico.

A pesar de ser la tecnología óptima para las instalaciones solares fotovoltaicas, es utilizada en menor cantidad, en comparación con las estructuras fijas, principalmente por el aumento de los gastos en la instalación, que se ve afectado en gran cantidad por el alto costo de las estructuras móviles.



Imagen II.10: Estructura Móvil

Fuente:<https://juanfrancisco207.files.wordpress.com/2015/04/images-2.jpg>



Imagen II.11: Mecanismo de seguimiento solar (acimutal)

Fuente:<https://juanfrancisco207.files.wordpress.com/2015/04/images-4.jpg>

vi. Cables

Los cables utilizados para instalaciones fotovoltaicas deben ser de diseño especial, ya que al ocupar bajos voltajes (12[V] y 24[V]) estamos hablando de que las corrientes que fluirán por el cable son mayores que en los sistemas de 127 [V] de corriente alterna. Esto se explica con la siguiente fórmula:

$$P = V * I$$

Donde:

P= Potencia [W]

V= Tensión [V]

I= Corriente [A]

Con esto se puede observar, para suministrar una potencia a un sistema de 12 V necesitaremos un poco más de 10 veces la corriente que necesitaríamos para suministrar a un sistema de 127[V]. Por esta misma razón son necesarios cables más gruesos para evitar el calentamiento excesivo.

Por otro lado, los cables que se utilicen en este tipo de instalaciones deberán ser aprobados para el uso en intemperie y ser resistentes al sol y al agua, más adelante se especificarán los requerimientos normativos que deben tener este tipo de cables para su correcto uso en instalaciones solares fotovoltaicas.



Imagen II.12: Cables eléctricos
Fuente: www.skyfort.com

d. Sistemas aislados y sistemas conectados a la red

Existen dos distintas formas de realizar instalaciones solares fotovoltaicas; una es alimentar algún sistema totalmente aislado del sistema eléctrico nacional, y la segunda es un sistema conectado a la red el cual consiste en realizar una conexión “hibrida” junto con la red proporcionada por terceros. A continuación, se describen más a detalle cada uno de estos sistemas.

i. Sistemas aislados

Este tipo de instalaciones es la más común, ya que carece de conexión con la red eléctrica convencional, lo que hace más sencilla la manipulación de energía porque no debemos tener un control de los picos de voltaje inesperados.

En este tipo de sistemas se puede utilizar principalmente en aplicaciones domésticas, telecomunicaciones (cabines telefónicas, radares, etc.) y alumbrado en general.

Para aplicaciones domésticas, es común ver este tipo de aplicación en hogares que se encuentran alejados o de difícil acceso, donde la red eléctrica nacional no llega; por esta razón se realiza este tipo de instalaciones para alimentar independientemente a lugares domésticos en zonas rurales.

Para el caso de alumbrado se ha vuelto cada vez más común observarlo en vialidades de gran afluencia, en algunas calles y algunos otros sitios de gran concurrencia.

La imagen II.13 representa una instalación típica para aplicaciones en corriente directa en sistemas aislados:

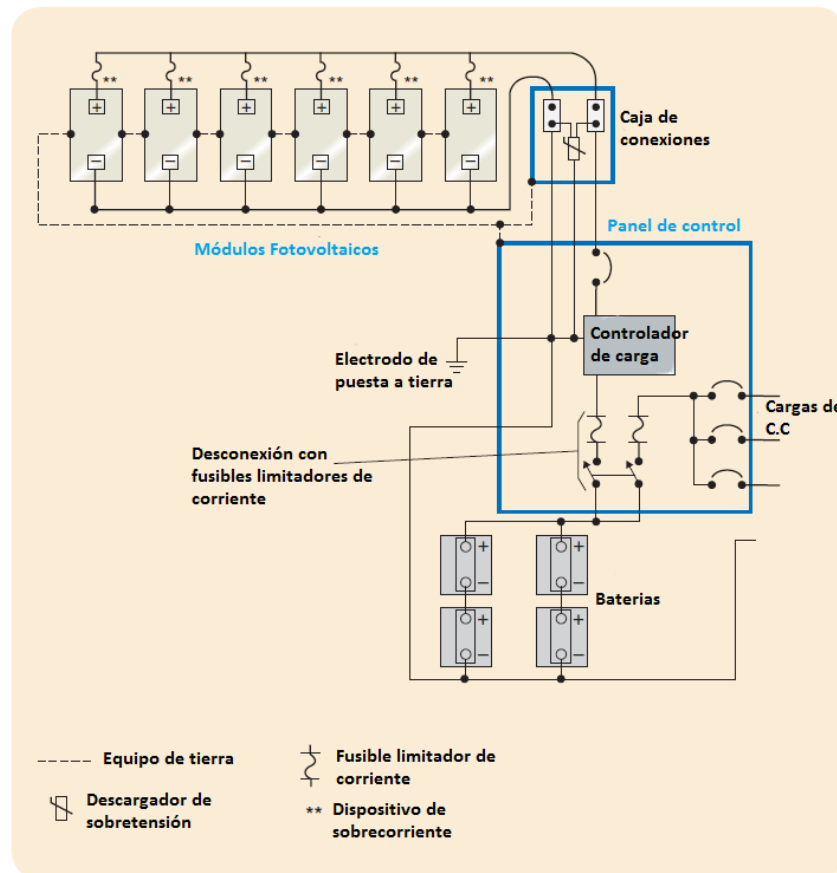


Imagen II.13: Instalación típica de un sistema fotovoltaico en CD aislado de la red eléctrica nacional.
Fuente: National Electrical Code 2011(Handbook)

Este tipo de sistema carece de inversor, ya que para este tipo de aplicaciones no es necesario debido que a lo largo del sistema solo haremos uso de la corriente directa con lo cual no es necesaria la colocación de este tipo de equipos.

Esta será la instalación que se utilizara por defecto para alumbrado por medio de lámparas led, ya que este tipo de luminarios utilizan la corriente directa como medio de alimentación.

Para aplicaciones donde se requiera de la corriente alterna deberemos de agregar el inversor de corriente, con lo cual el diagrama de conexiones quedaría de la siguiente manera:

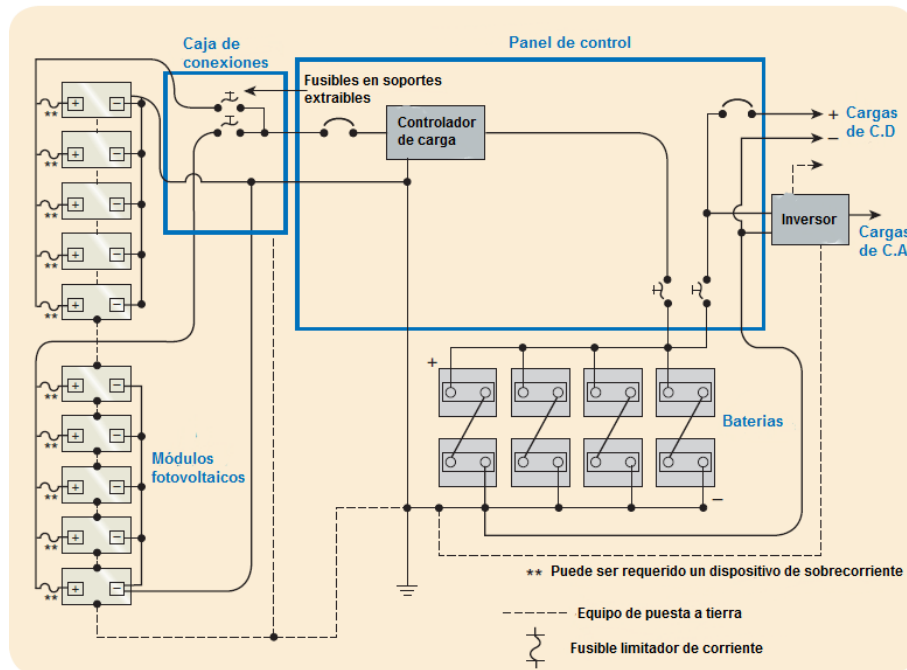


Imagen II.14: Instalación típica de un sistema fotovoltaico híbrido aislado de la red eléctrica nacional.
Fuente: National Electrical Code 2011(Handbook)

Como se observa en el diagrama de la imagen II.14, la única diferencia con el esquema para aplicaciones en CD, es la incorporación de un inversor de corriente al final de la instalación para la conversión de corriente directa en corriente alterna.

En este tipo de sistemas ya podremos alimentar a cualquier equipo doméstico cotidiano, como lo son, tomacorrientes para uso en general, estufa eléctrica, lavadora etc.

La principal desventaja en este tipo de instalaciones autónomas, es que debemos tener control de la carga y descarga de baterías para no dañar y

reducir el periodo de vida de estas, a fin de tener la mayor eficiencia posible, y alargar la duración de las instalaciones.

ii. Sistemas conectados a la red

Este trabajo de tesis no está enfocado a este tipo de instalaciones, sin embargo, se dará una breve explicación a fin de tener en cuenta las diferencias principales entre un sistema aislado y un sistema conectado a la red eléctrica nacional.

“Una instalación conectada a la red eléctrica convencional está formada por el conjunto de módulos fotovoltaicos y un inversor capaz de convertir la corriente continua del grupo solar en corriente alterna, inyectándola en la misma frecuencia y fase que la existente en cada momento en la red de distribución.”¹

Como el párrafo anterior nos describe en forma general, un sistema conectado a la red es aquel que está íntegramente conectado con la red eléctrica nacional a fin de alimentar las cargas (principalmente en edificios); para esto es necesario un conjunto de paneles fotovoltaicos y un inversor de corriente para poder “acoplar” los valores de voltaje y corriente tanto de nuestro sistema fotovoltaico como la alimentación externa.

Este tipo de arreglos es común en edificios autosustentables a fin de reducir gastos en energía cuando se tenga capacidad suficiente por parte de los arreglos fotovoltaicos, y en caso de requerir una demanda mayor, se hará uso de la energía eléctrica brindada por nuestro proveedor cotidiano.

La desventaja en este tipo de instalaciones es la necesidad de estar siempre protegido contra picos de voltajes que puedan llegar a darse por parte del distribuidor de energía eléctrica lo cual podría causar un daño irreparable en toda la instalación fotovoltaica. Por esta razón es necesaria una adecuada selección de protecciones para prevenir cualquier daño en el sistema.

1- *Extracto tomado de: “Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables: instalaciones fotovoltaicas” Gobierno de Canarias, Consejería de industria, comercio y nuevas tecnologías, Viceconsejería de industria y nuevas tecnologías, Dirección general de industria y energía, Pág. 51*

III- Especificaciones para el diseño de sistemas fotovoltaicos aislados

Para una correcta instalación y uso de los sistemas solares fotovoltaicos aislados será necesario una serie de requisitos, los cuales serán brindados principalmente por la norma de instalaciones eléctricas (NOM-001-SEDE-2012), aunque existen ciertas normas de carácter opcional (NMX) que se brindan para un mejor control y seguridad de las instalaciones fotovoltaicas aisladas.

A lo largo de este tema se hará énfasis en los requisitos necesarios para una buena instalación de nuestros equipos resaltando los artículos específicos de la NOM que menciona dichos requisitos, así mismo se darán las bases y tips para una instalación al aire libre y una en lugares cerrados a fin de optimizar en recursos y sacar el mayor beneficio de este tipo de arreglos.

a. Requerimientos normativos

En México se cuenta solamente con una norma de carácter obligatorio para instalaciones eléctricas; y esta es precisamente la NOM-001-SEDE-2012 “instalaciones eléctricas (utilización)” la cual, en su artículo 690 nos habla de los requisitos básicos (en su mayoría obligatorios) para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos. Dado que el artículo 690 abarca tanto instalaciones aisladas, como conectadas a la red, nos enfocaremos únicamente en los subtemas que abarquen la instalación para sistemas autónomos en corriente directa, ya que es como se realiza en la mayoría de los casos (por no decir siempre) el montaje de las luminarias solares.

Para la implementación de este artículo normativo podemos tomar en cuenta las instalaciones con o sin almacenamiento de energía eléctrica (baterías).

Sección A: disposiciones generales, de artículo 690-1 a 690-6.

Artículo 690-4 (Instalación).

Marcado de conductores.

Es importante mencionar que todos los conductores deben ir debidamente marcados (para uso exclusivo del sistema fotovoltaico), este marcado debe ir de acuerdo al código de colores para conductores eléctricos que son:

- Cable con forro rojo o negro para el conductor de fase

- Cable con forro blanco para el conductor de neutro
- Cable desnudo, verde, o verde con franjas amarillas para el conductor de tierra.

Si no se cuenta con el conductor de algún color definido, está permitido que este se marque con cinta marcadora, o con alguna etiqueta que identifique cada uno de los conductores. Esto se recomienda principalmente para aprovechar al máximo el cableado (que en la mayoría de las instalaciones representa el 75% del gasto total en equipo para las instalaciones), y no exista un gasto innecesario en la compra de material.

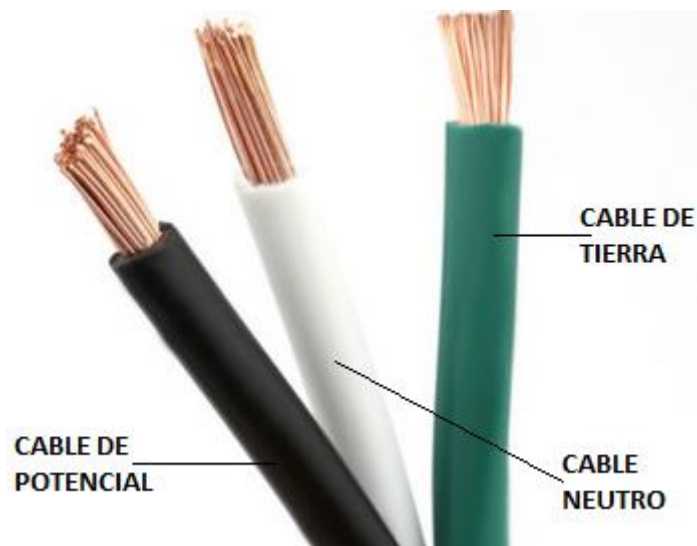


Imagen III.1: Código de colores para conductores eléctricos
 Fuente: http://faradayos.blogspot.com/2014/01/colores-cables-electricos-normas.html?_sm_au_=iHVQ0Q1JM0tkc1W7#

690-5 Protección contra falla a tierra.

Es importante mencionar este tipo de protección es obligatoria para todos los tipos de instalaciones eléctricas.

En el caso de los arreglos fotovoltaicos de corriente continua, se pide que este tipo de protección cumpla con los siguientes requisitos:

- a) Detección e interrupción de falla a tierra: el dispositivo que contra falla a tierra debe poseer la capacidad de interrumpir la trayectoria de la corriente, a fin de proteger el sistema de dicha falla.

b) Separación de los circuitos con falla: donde exista la falla se debe suspender automáticamente la alimentación a todos los circuitos de salida. De esta manera si existe alguna falla a tierra, el controlador de carga se desconectará automáticamente.

En el título 690-5 de la NOM-001-SEDE-2012 se mencionan dos excepciones para omitir el uso de la protección contra falla a tierra. La excepción 1 afecta directamente a las luminarias solares ya que menciona que:

*“Se permitirá que no tengan protección contra fallas a tierra los arreglos fotovoltaicos montados en el suelo o en postes, con no más de dos circuitos de alimentación en paralelo y con todas las fuentes de corriente continua y todos los circuitos de salida de corriente continua, cuando están separados de edificios”.*¹ Esto quiere decir que al tener el panel fotovoltaico colocado directamente en el poste donde se colocara la lámpara, podremos omitir esta protección, esto beneficia en gran medida en el costo final de la instalación ya que podremos disminuir notablemente los gastos.

Sección B: Requisitos para los circuitos, de artículo 690-7 a 690-11

690-10 Sistemas autónomos.

Las instalaciones para los sistemas aislados a la red deben de la misma manera cumplir los requisitos para instalaciones conectadas a una acometida. De tal forma que de la misma manera que una conexión fotovoltaica independiente sea igual de segura que una “tradicional”.

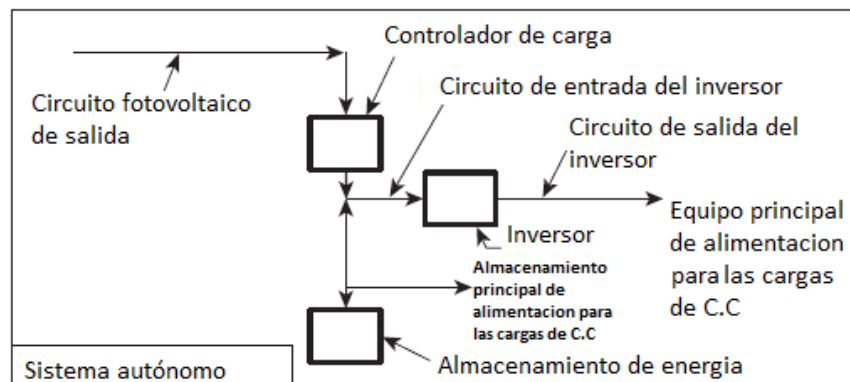


Figura III.2: Sistema Autónomo
Fuente: NOM-001-SEDE-2012

1- Extracto tomado de: “NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas(utilización)” Séptima Sección-Vespertina Pág. 66

Sección C: Medios de desconexión, de artículo 690-13 a 690-18.

690-16 Fusibles.

Este apartado en la norma hace referencia a la protección de la instalación con fusibles, en el caso de la mayoría de los controladores de carga, este fusible y/o fusibles se encuentran incorporados al equipo, por lo que será necesario verificar el manual del fabricante del controlador para saber si se cuenta o no con dicha protección, en caso de que no se cuente con el fusible interno, deberá colocarse uno por aparte.

690-18 Instalación y mantenimiento de un arreglo fotovoltaico.

Es indispensable que tanto para la instalación como el mantenimiento del arreglo solar fotovoltaico todos los equipos se encuentren desenergizados, en el caso de los paneles fotovoltaicos, se debe tener en cuenta que, si se realiza, el mantenimiento-instalación por el día, podrá existir la posibilidad de un choque eléctrico, ya que estos paneles siempre generan energía eléctrica cuando están expuestos a la energía del sol.

Para el caso específico de las luminarias solares, el controlador de carga se encargará de desactivar el arreglo fotovoltaico para que pueda brindarse el mantenimiento adecuado.

Sección D: Métodos de alambrado, de artículo 690-31 a 690-35.

La sección D del artículo 690 nos dará los requisitos básicos para los métodos de alambrado de las instalaciones solares fotovoltaicas, haremos hincapié en las instalaciones autónomas, aunque se mencionarán datos importantes para todo tipo de instalación.

690-31 Métodos permitidos.

En específico para las instalaciones fotovoltaicas es obligado el uso de conductores para uso extra rudo, ya que estos se encuentran expuestos a la intemperie; la diferencia con un conductor estándar, es su recubrimiento más grueso, y que debe ser aprobado para el uso en intemperie y resistentes a la luz del sol y al agua.

Para sistemas de 30 Volts o más será necesario el uso de canalizaciones para poder alojar los conductores, en el caso específico de las luminarias solares, el poste podrá servir como canalización, con lo cual ya no será necesario un tubo o canalización extra para este alambrado.

Así mismo, todo tipo de canalizaciones, charolas portacables, envolventes y/o caja de conexiones deben ir marcadas adecuadamente con la leyenda “fuente de energía fotovoltaica” para diferenciar inmediatamente este tipo de instalación de cualquier otro; el espacio entre etiquetas no debe ser mayor a 3 metros, de esta manera, si tenemos una instalación que su trayectoria sea mayor a la distancia antes mencionada, deberá ser marcada a lo largo de toda la trayectoria.

690-32 Conexión de componentes.

Al igual que todo el cableado, todo el tipo de conexiones para las instalaciones fotovoltaicas deben ser iguales en:

- Tipo de aislamiento
- Resistencia a la corriente de falla
- Resistente al cambio climático
- Aumento de temperatura

Esto con la finalidad de mantener el mismo nivel de protección tanto en los conductores como en las conexiones para que no exista una falla por una disminución de seguridad en los empalmes.

690-35 Sistemas de fuentes fotovoltaicas no puestos a tierra.

Se permitirá que las instalaciones solares fotovoltaicas no estén conectadas si cumplen con algunos requisitos mencionados en este artículo, los cuales son:

- Todos los conductores deberán tener un medio de desconexión automático, para el caso de las luminarias solares, el encargado de esta desconexión

será el controlador de carga solar, ya que en su estructura vienen incluidos los medios de desconexión adecuados.

- Protección contra sobre corriente, de igual forma será brindado por el controlador de carga solar, ya que este incluye un fusible que actuará en caso de algún tipo de sobrecorriente.

- Protección contra falla a tierra, la cual deberá detectar e indicar cuando ha ocurrido una falla a tierra y deberá desconectar automáticamente la alimentación a los circuitos de salida. En algunos casos el controlador de carga también incluye esta protección, se deben revisar las especificaciones el fabricante del controlador para saber si este equipo cuenta con este tipo de protección o es necesario un equipo extra para cumplir con este requisito.

Es muy importante mencionar que, al realizar el mantenimiento de la instalación, esta deberá ir marcada en cada caja de empalme, desconectores, y demás equipo que pueda estar visible con la siguiente leyenda:

ADVERTENCIA
PELIGRO DE DESCARGA ELECTRICA
LOS CONDUCTORES DE CORRIENTE CONTINUA DE ESTE SISTEMA
FOTOVOLTAICO NO ESTAN PUESTOS A TIERRA Y PUEDEN ESTAR
ENERGIZADOS.

Esto con la finalidad de evitar cualquier tipo de accidente indeseado.

Sección E: Puesta a Tierra, de artículo 690-41 a 690-50

Ya que para el caso de la instalación de las luminarias solares omitiremos la puesta a tierra, ya que estamos hablando de instalaciones “flotantes”, de igual manera excluirémos la sección E del artículo 690 que precisamente habla de la puesta a tierra de los equipos.

Sección F: Marcado, de artículo 690-51 a 690-56

En esta sección se piden las características básicas que debe tener el panel fotovoltaico claramente identificado en una etiqueta, o en las terminales del panel.

690-51 Módulos (Paneles)

En primera instancia, deben ir correctamente marcada la polaridad, y algunas propiedades del módulo fotovoltaico como son:

- 1- Tensión de circuito abierto.
- 2- Tensión de operación.
- 3- Tensión máxima permisible del sistema
- 4- Corriente de operación
- 5- Corriente de corto circuito
- 6- Potencia máxima

Si esta información no se cumple al 100% el módulo no cumplirá correctamente con este requisito normativo.

En la imagen III.3 se muestra una etiqueta ubicada detrás de un módulo fotovoltaico con toda esta información, e información adicional que el fabricante considera importante mencionar para mayor detalle.



*Imagen III.3: Etiqueta ubicada en la parte posterior de un panel fotovoltaico
 Fuente: ERDM Solar*

690-56 Identificación de las fuentes de energía.

- a) Instalaciones con sistemas autónomos. Este inciso nos menciona que cualquier tipo de estructura o edificio que tenga una instalación fotovoltaica aislada a la red pública, deberá tener una placa que identifique adecuadamente que se trata de un sistema autónomo, así mismo deberá mencionar el medio principal de desconexión.

Sección G: Conexión a otros suministros, de artículo 690-57 a 690-64

Al igual que para la sección E, el apartado G lo omitiremos ya que no aplica para sistemas autónomos.

Sección H: Baterías de acumuladores, de artículo 690-71 a 690-74

690-71 Instalación.

En primera instancia, este apartado de la norma menciona que la instalación deberá estar conforme a lo mencionado en el artículo 480 de la misma NOM-001-SEDE-2012.

En el artículo 480 lo más importante que se debe tomar en cuenta es que la batería debe encontrarse ubicada en un sitio el cual tenga ventilación adecuada, así mismo la dirección de los gases que puedan desprenderse de la batería debe ser correctamente dirigida al exterior (del sitio donde se encuentre la batería) para evitar la acumulación de gas, lo que podría provocar una explosión inesperada.

690-71(c) Limitadores de corriente

Debe ser instalado un limitador de corriente para los circuitos que involucren a la batería, de tal forma que la batería no exceda el límite de corriente permisible para evitar daños o una explosión accidental. En algunos casos este limitador de corriente está instalado en el controlador de carga, el cual contiene un pequeño circuito electrónico programado para interrumpir el flujo de corriente eléctrica cuando exceda los valores promedio del sistema.

690-72 Control de carga

Al igual que los limitadores de carga, en la instalación solar se debe de agregar un control de carga, el cual debe asegurar el correcto proceso de carga de la batería, a fin de no sobrecargarla.

Este equipo puede ser omitido siempre y cuando se cumpla que el diseño de la fuente fotovoltaica corresponda con los requisitos de corriente de carga y tensión de las baterías, y que la corriente máxima de carga multiplicada por una hora sea inferior al 3% de la capacidad de la batería en Ampere-Hora. Para explicar estos requisitos podremos el siguiente ejemplo:

EJEMPLO 1

Contaremos con una batería de tipo Pb-Acido de 12[V] con una capacidad de carga eléctrica de 85 Ah y una corriente de carga máxima de $I=17[A]$, la

cual alimentaremos con un panel fotovoltaico cuyas características principales son: una corriente máxima $I_{MP}=4.02[A]$ y una tensión máxima $V_{MP}=12[V]$, determine si es necesario colocar un control de carga para la batería.

Respuesta: De acuerdo al artículo 690-72(a) es necesario que la corriente de carga de la batería y la tensión de las baterías sea igual (o mayor) a la corriente y tensión de la fuente fotovoltaica, que en este caso será el panel solar; así pues, debemos cumplir que:

$$- \quad I \geq I_{MP} \text{ y } V \geq V_{MP}$$

Con solo observar y comparar los datos nos damos cuenta de que se cumple, ya que la corriente de la batería es de $17[A]$ y la corriente del panel fotovoltaico es de $4.02 [A]$ y ambas tensiones son de $12[V]$, sin embargo, otro requisito para omitir el control de carga es que “la corriente máxima de carga multiplicada por una hora sea inferior al 3 por ciento de la capacidad de la batería en Ampere-Hora(Ah).” Así entonces tenemos que:

Carga eléctrica de la batería=85Ah

3% Carga eléctrica de la batería=2.55Ah

*$I_{MP} * 1 \text{ h} \leq 2.55Ah$*

$4.02 \text{ Ah} \neq 2.55 \text{ Ah}$

Por lo tanto, no cumple el segundo requisito para omitir el control de carga en este sistema.

Concluimos diciendo que es necesario un control de carga en el circuito propuesto, ya que de otra manera no se asegura el correcto control de la carga de la batería en el sistema.

Es importante mencionar que de omitir este equipo en nuestra instalación eléctrica no podremos asegurar el correcto proceso de carga y descarga de las baterías lo cual generaría fallas en todo el sistema y un corto periodo de vida de las baterías.

Así mismo en este artículo de la NOM se reitera que la instalación de este equipo debe ser accesible únicamente para personas calificadas.

Normativa Opcional

Existen varias series de normas mexicanas(NMX) que son de carácter opcional, pero que agregan confiabilidad al sistema y máxima seguridad. Estas series de normativas es óptimo aplicarlas en sistemas fotovoltaicos más complejos, para sistemas sencillos como lo son las luminarias solares aisladas bastará con cumplir los requisitos que nos dicta la NOM-001-SEDE-2012; sin embargo, se mencionará la lista de normas mexicanas para conocimiento del lector:

- NMX-J-643-ANCE: Módulos y dispositivos fotovoltaicos.
- NMX-J-618-ANCE: Seguridad módulos fotovoltaicos (Construcción).
- NMX-J-655-ANCE: Desempeño/Eficiencia.
- NMX-J-656-ANCE: Seguridad en dispositivos fotovoltaicos.
- NMX-J-657-ANCE: Sistemas híbridos.

Cabe señalar que este tipo de normas son de carácter privado, por lo que es necesario pagar para poder consultarlas.

b. Instalaciones al aire libre

Las instalaciones al aire libre son las que debemos tener más en cuenta en cuanto a instalación de luminarias solares, ya que toda la instalación deberá ir resguardada únicamente por el poste que soportará tanto el panel solar como el envoltorio que contendrá las baterías y el controlador de carga.

De manera general, las instalaciones que tendremos en este tipo de luminarias al aire libre, será como se muestran en la imagen III.4.

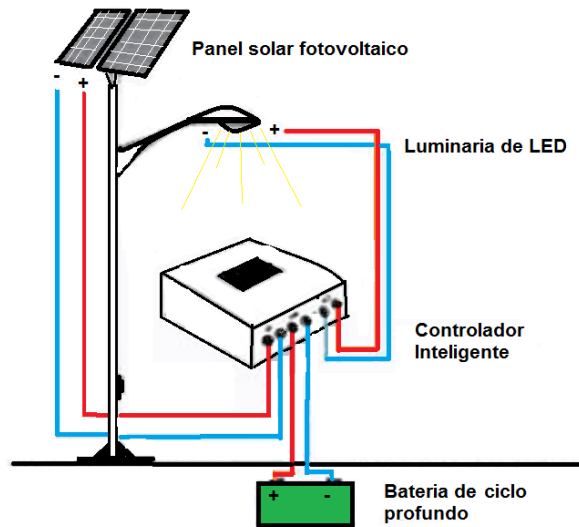


Imagen III.4 Diagrama de instalación de luminaria solar

Cabe señalar que este diagrama solamente ejemplifica el caso de las luminarias solares aisladas que es el tema que nos compete.

En este tipo de instalaciones es adecuado el uso de baterías de Plomo-Acido, ya que son las que nos brindan una duración mayor con un costo más bajo, así mismo no son vulnerables a los cambios bruscos de temperatura como sucede con las baterías de Ion-Litio que son sensibles a los cambios de temperatura, y un mal uso y colocación de estas baterías podría causar una explosión, por esta razón no es recomendable el uso de este tipo de equipo.

El gabinete, o envoltente que utilizemos deberá ser de alguno de los tipos que se mencionan en la tabla 3.1:

Proporciona un grado de protección contra las siguientes condiciones ambientales	Para uso exterior			
	Número del tipo de envolvente(NEMA)			
	3	3R	3X	3RX
Contacto accidental con el envolvente del equipo	X	X	X	X
lluvia, nieve y granizo	X	X	X	X
polvo en el aire	X	-	X	-
agentes corrosivos	-	-	X	X

Tabla 3.1: Envolventes para uso exterior
Fuente: NOM-001-SEDE-2012

Estos 4 tipos de envolventes serán los adecuados para instalaciones al aire libre, ya que al estar a la intemperie necesitaremos al menos que el equipo este protegido contra lluvia, nieve y/o granizo.

Para tener la protección máxima será adecuado que instalemos un gabinete NEMA 3X ya que en caso de sulfatación de la batería de plomo-acido, y derrame de cualquier tipo de desecho toxico, este gabinete podrá soportar los agentes corrosivos lo cual impediría que el envolvente se corroa.

Para efectos económicos, y teniendo en cuenta que se tendrá un constante mantenimiento preventivo de nuestras instalaciones se recomienda el Gabinete 3 o 3R ya que, en la mayoría de los casos, los fabricantes manejan este tipo de envolventes dentro de su oferta “estándar” lo cual reduce costos en la instalación y tendremos un ahorro considerable en comparación con el gabinete 3X.



*Imagen III.5 Ejemplo de envolvente 3R (Resistente a nieve, lluvia y granizo, y protege de contacto accidental con el envolvente del equipo)
Fuente: www.Schneider-electric.com.mx*

c. Instalaciones en lugares cerrados

Ya que en este tipo de instalaciones los daños del ambiente son distintos a los presentados en las instalaciones en zonas al aire libre, ya sea porque no existe un flujo considerable de viento, o hay probabilidad de acumulación de polvo, debemos enfocarnos en otro tipo de gabinetes o envolventes para proteger el controlador de carga y la batería contra las condiciones que llegue a haber, así mismo la NOM-001-SEDE-2012 no hace referencia a envolventes para uso exterior.

Para fines prácticos y teniendo en cuenta las condiciones que se tendrán en esta instalación, mencionamos los tipos de protección más adecuados para estas instalaciones en la tabla 3.2.

Proporciona un grado de protección contra las siguientes condiciones ambientales	Para uso interior			
	Número del tipo de envoltente			
	1	2	4	5
Contacto accidental con el envoltente del equipo	X	X	X	X
Polvo que cae	X	X	X	X
Líquidos que caen y salpicaduras leves	-	X	X	X
Polvo, pelusa, fibras y partículas suspendidas circundantes	-	-	X	-
Asentamiento de polvo, pelusa, fibras y partículas suspendidas transportados por el aire	-	-	X	-
Agua por lavado con manguera y salpicadura	-	-	X	-
Agentes corrosivos	-	-	X	-

Tabla 3.2: Envoltentes para uso interior

Fuente: NOM-001-SEDE-2012

Así mismo, ya que en estas instalaciones teóricamente no tendremos cambios bruscos de temperatura, podemos utilizar baterías de ion-Litio para tener una mayor eficiencia y mayor periodo de vida en este equipo.

IV- Caso práctico: Parque ecológico en La ciudad de México

En este tema se revisará el caso práctico que se abordó durante la verificación de las luminarias solares fotovoltaicas en un parque de la ciudad de México, ya que toda su iluminación exterior (o la gran mayoría) es basada en sistemas solares fotovoltaicos independientes.

Abordaremos a grandes rasgos cual es la situación en una de las zonas del parque donde se encuentran grandes fallos en las luminarias, se explicará la problemática principal de la utilización de las luminarias solares en ciertas zonas del parque; asimismo se detallará específicamente el estudio realizado en una parte del parque y se dará la estimación de daños derivados de estas instalaciones en mal estado.

a. Situación actual de la zona

Lo que llevo al estudio y estimación de daño de las luminarias solares fotovoltaicas en el parque fue que únicamente cerca del 20% de las lámparas operaban de manera correcta durante la noche, con lo cual se buscó encontrar las causas principales que originaban fallas en las instalaciones, pero vayamos por pasos:

Primeramente, este parque se revisó durante el periodo de julio a diciembre de 2014, es importante mencionar que en estas fechas es muy alta la probabilidad de lluvias en la zona y nublados casi todos los días de la semana, esto lo podemos comprobar con la tabla 1.1 que se mostró en el tema 1:

		KWh/m ²												
		<u>Ene</u>	<u>Feb</u>	<u>Mar</u>	<u>Abr</u>	<u>May</u>	<u>Jun</u>	<u>Jul</u>	<u>Ago.</u>	<u>Sep.</u>	<u>Oct</u>	<u>Nov</u>	<u>Dic</u>	<u>Prom</u>
D.F.	Tacubaya	4.4	5.2	5.8	5.8	5.7	5.1	4.9	4.9	4.7	4.4	4.2	3.8	4.9

Tabla 1.1 Irradiación Solar en México D.F en kWh/m²

Fuente: Instituto de investigaciones eléctricas.

Como primera deducción, podemos observar que en estos meses es cuando se presenta en promedio menor irradiación solar sobre el área cercana al parque que en los meses de enero a julio, lo cual provocaría una menor eficiencia en la captación de energía por parte de los paneles solares lo que deriva una menor carga en las baterías.

Sin embargo, aún con estos valores “bajos” de irradiación encontramos que esta no era la principal razón en la baja eficiencia de los sistemas fotovoltaicos.

Como segundo punto destacaremos las condiciones generales del parque: Este parque se encuentra dividido en 5 zonas, en cada zona se cuenta con iluminación por medio de las instalaciones solares fotovoltaicas las cuales constan de equipo de distintas marcas, y por consiguiente distintos arreglos y maneras de programación de los sistemas.

Por un lado, se cuenta con 3 tipos de controladores solares:

- 1- Controlador marca “STECA” con fusible de protección de 15 A y funcionamiento automático (no necesita programación para el correcto funcionamiento)



*Imagen IV.1: Controlador de carga solar “Steca”
Fuente: <http://www.steca.com/index.php?Steca-Solarix-PRS-es>*

- 2- Controlador chino , modelo SDRC 10IP con control de tiempo de carga y descarga de batería, u opción de automatización de descarga por la noche, y carga por el día.

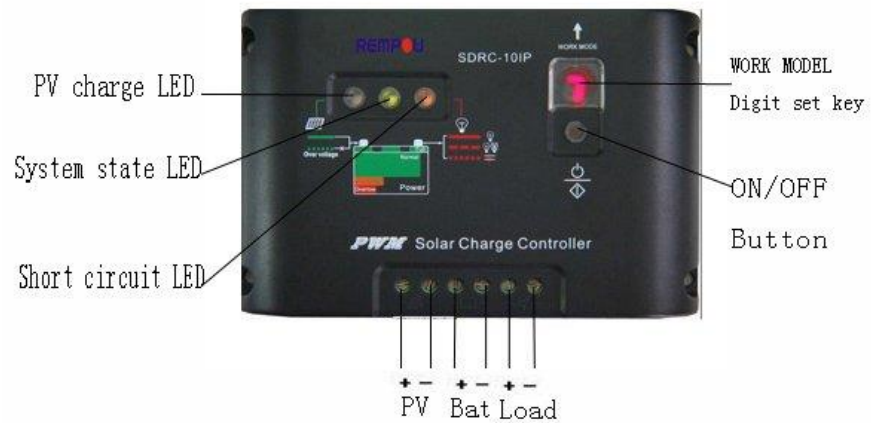


Imagen IV.2: Controlador de carga solar
Fuente: <http://es.aliexpress.com/>

- 1- Controlador sin marca, con control de tiempo de carga y descarga de batería, u opción de automatización de descarga por la noche, y carga por el día.



Imagen IV.3: Controlador de carga solar

Para cada uno de estos controladores se contaba con dos modelos distintos de baterías:

- 1- Batería de ciclo profundo marca “Rolls” de 12 volts especial para sistemas solares.



Imagen IV.4: Batería de ciclo profundo "Rolls"

Fuente: <http://www.advanceyacht.co.uk/batteries/rolls-s12-95agm-12-volt-battery>

- 2- Batería de ciclo profundo marca "Praha" de 12 volts especial para sistemas solares.



Imagen IV.5: Batería de ciclo profundo "Praha"

Fuente: <http://www.solarleums.com/en/proView.php?id=3>

Así mismo se cuenta con dos tipos de paneles solares:

- 1- Panel solar ERDM con 50W de potencia, voltaje en circuito abierto(Voc) de 21.34V, Corriente de cortocircuito(I_{sc}) 3.73A, 36 celdas policristalinas.



Imagen IV.6: Panel solar policristalino de 50W
Fuente: <http://stores.erdm-solar.com/erdm060p6c/>

- 2- Panel ERDM fabricado con 36 celdas monocristalinas con potencia total de 100 W/p.



Imagen IV.7: Panel solar monocristalino de 100W
Fuente: <http://stores.erdm-solar.com/erdm100m5/>

Finalmente se contaba con 3 distintos tipos de lámparas, todas ellas de led:

1- Lámpara solar circular de 36 Leds

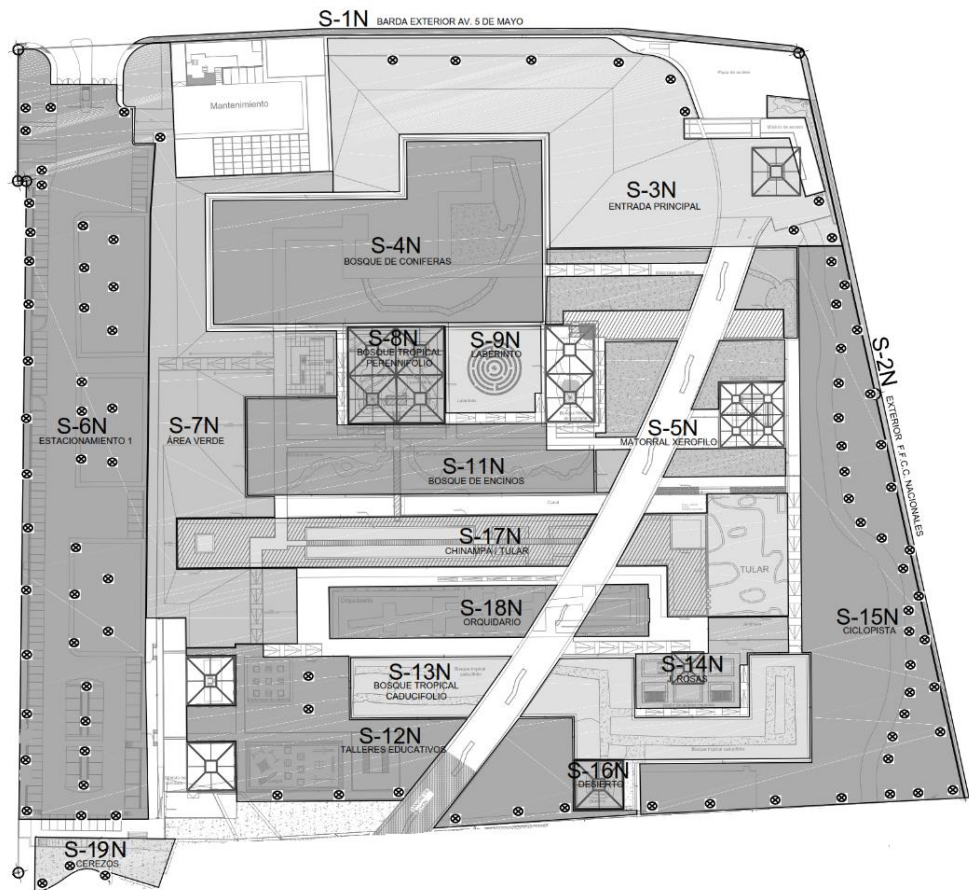
2- arreglo de 3 tiras de 12 leds cada arreglo, conectados en serie (para registros con dos baterías).

3- Tira de 12 leds (para registros con una sola batería).

Con todo esto claro, en el subtema siguiente se dará más a detalle el estudio realizado en dicha zona, detallando los fallos principales en las luminarias solares.

b. Revisión y detección de problemas en una de las zonas del parque

La zona que se revisó más a detalle se muestra en la imagen IV.8:



*Imagen IV.8: Plano de zona de estudio
Fuente: Parque ecológico DF*

Esta zona (Zona N) es la zona principal del parque ya que ahí se encuentran las entradas principales, y las áreas con mayor afluencia de gente, por esta misma razón se decidió tomar este segmento del parque como área de estudio.

Lo primero que se realizó fue un levantamiento de las luminarias solares colocadas en cada subsegmento de la zona en estudio, los resultados recolectados fueron los que se muestran en la tabla 4.2:

ZONA	L. Solares
S-1N	NO
S-2N	NO
S-3N	9
S-4N	NO
S-5N	NO
S-6N	41
S-7N	1
S-8N	NO
S-9N	NO
S-10N	NO
S-11N	NO
S-12N	8
S-13N	NO
S-14N	NO
S-15N	35
S-16N	NO
S-17N	NO
S-18N	NO
S-19N	3
TOTAL	97

Tabla 4.2: Luminarias solares por zona

La zona N cuenta con 97 luminarias, de las cuales obtuvimos las siguientes problemáticas:

- **19** registros (zonas para la colocación de controlador de carga solar y batería(s)) se encuentran inundados, esto quiere decir que tanto las baterías como los controladores están en mal estado, se necesita limpiar el registro y posteriormente hacer un cambio de registro hacia debajo del panel solar en lugar de tenerlos a nivel de piso.

- **23** registros muestran algún tipo de falla tanto en batería, controlador de carga y/o en lámpara de leds.
- **17** luminarios funcionaban correctamente hasta antes de la revisión que se hizo a cada registro.
- **3** luminarios funcionan únicamente la mitad de la lámpara de leds.
- **35** luminarios se pudieron rehabilitar, ya que solo mostraban una pequeña desconfiguración en el controlador de carga, o la conexión de los cables estaban en corto, o simplemente con una limpieza general al controlador se puede solucionar el problema.

Con esta información y con la revisión que se hizo a cada registro se encontraron los siguientes elementos en mal estado.

- **42** baterías que muestran corrosión, están llenas de lodo, o simplemente ya no mantienen la carga por largos periodos de tiempo.
- **27** controladores de carga solar están en mal estado. A pesar de la limpieza y/o remplazo de ciertos elementos del circuito, resulta imposible recuperarlos para que funcionen correctamente, se necesita el cambio inmediato para tener un funcionamiento correcto de las luminarias.
- **1** panel solar no mostró la carga de energía correcta en su superficie.
- **7** lámparas de leds están en mal estado, ya sea porque solo sirve la mitad, o se encuentra en corto circuito (SC), se necesita revisar la conexión del controlador hacia la lámpara para obtener más información por la causa del fallo.
- **2** bloqueos en paneles solares debido a los árboles que están junto a la luminaria, se recomienda hacer algún tipo de poda al árbol, o si es imposible podarlos, se necesitaría reubicar las luminarias solares para así tener un funcionamiento óptimo de las mismas.
- **2** registros se encontraban sin controlador de carga. Se solicita la compra de dicho controlador para poner en funcionamiento el luminario.

- 7 registros mostraban plaga de hormigas o arañas, esto provoca que tanto baterías como controlador no estén operando de manera correcta, se solicita erradicar dicha plaga, o en su defecto mover el registro del nivel del piso hacia debajo del panel solar.

- 1 luminario se encuentra en corto circuito, es necesario remover el poste para cambiar todo el cableado de la luminaria.

Como se observa en el desglose anterior, algunos registros se pueden volver a poner en funcionamiento solamente con una limpieza general a las baterías y/o controladores; pero para tener el 100% de las luminarias en funcionamiento, es necesaria una inversión para nuevas baterías, controladores, y para el movimiento del registro a la parte inferior del panel solar.

V- Propuesta de modificación

De acuerdo a la problemática diagnosticada y plasmada en el tema 4, se planteó a la dirección del parque ecológico una propuesta de modificación de las instalaciones solares fotovoltaicas, principalmente para los siguientes puntos:

- Puesta en funcionamiento al 100% de las luminarias solares.
- Instalaciones de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012
- Mantenimiento preventivo para evitar daños en equipo y gastos innecesarios en refacciones.

Así mismo se propuso dar capacitación a personal de mantenimiento del parque para evitar algún accidente al momento del cambio de equipo y/o manipulación de componentes energizados, esto con la finalidad de reducir gastos en terceros para dar el mantenimiento, y siempre tener en óptimas condiciones las luminarias solares.

a. Cambio de baterías y controlador

Como vimos en el tema 4, la problemática principal es la mala colocación de las cajas de resguardo de baterías y controlador del sistema solar fotovoltaico, ya que al estar ubicado al nivel del suelo, estaba expuesto a las constantes inundaciones, y esto por consiguiente provocaba que las cajas de resguardo se inundaran de igual forma, lo cual causa la sulfatación de las baterías dejándolas inservibles; así mismo, el controlador de carga se oxidaba y de igual manera dejaba de operar correctamente.

Con todo esto claro se propuso un cambio de baterías y controladores en mal estado.

Primeramente, era necesario el cambio de 27 controladores de carga solar y de acuerdo a los controladores instalados en el parque se decidió tomar el modelo "Steca PRS1515" ya que es el único que cuenta con los certificados de calidad correspondientes para el correcto funcionamiento de las luminarias; El costo de cada unidad es de \$1732.5 m.n. aproximadamente.

Del mismo modo, era necesaria la sustitución de 42 baterías, y aquí se decidió escoger el modelo "Rolls" de 12 V. El costo por unidad es de 3482.5 m.n.

La cotización final de los equipos quedo de la siguiente manera

Equipo	Costo por unidad	Unidades	Costo Total
Batería "Rolls"	\$ 3,482.50	42	\$ 146,265.00
Controlador "Steca"	\$ 1,732.50	27	\$ 46,777.50
		Subtotal	\$ 193,042.50
		IVA	16%
		Total	\$ 223,929.30

Estos precios "aproximados" se obtuvieron de la página www.teknosolar.com la cual es un sitio dedicado íntegramente a la venta de equipos para instalaciones eléctricas solares, con una amplia oferta de equipo a precios competitivos en el mercado, es importante mencionar que los costos en esta página están en euros por lo que el total definitivo variará dependiendo de la cotización que se tenga al día de la compra de los equipos. Esta cotización se actualizó con el cambio Euro/Peso mexicano al mes de julio de 2016.

Agregado a este costo en equipo, es necesario también incluir los gastos derivados de la instalación de estos sistemas; estos gastos son principalmente los sueldos de los empleados que instalaran las luminarias. Sin embargo, dada la situación legal que se tenía en estas instalaciones, fue imposible generar un cambio total de los equipos, por lo que únicamente se desarrolló un manual para apoyo a la gente de mantenimiento del parque con la finalidad de evitar mayores daños a las instalaciones y tener el mantenimiento preventivo de las luminarias para mantener funcional todas las instalaciones con un gasto mínimo en reparaciones.

b. Manual de mantenimiento preventivo de lámparas.

A fin de mostrar una manera sencilla de dar mantenimiento a las luminarias solares, se desarrolló un manual para el mantenimiento preventivo de las instalaciones, para uso del personal de mantenimiento del parque, en el cual se resaltan las características de los distintos tipos de equipos que conforman los sistemas solares fotovoltaicos así como la configuración básica de los controladores de carga, la limpieza constante de baterías y paneles solares, y como saber si un equipo cumplió con su periodo de vida, o se encuentra definitivamente dañado y necesita un cambio inmediato. Este manual se describe más abajo para que sirva como apoyo básico para el mantenimiento preventivo del equipo que compone las instalaciones en las luminarias solares independientes.

Cabe señalar que este manual se desarrolló como apoyo a los manuales de uso de cada equipo y sus respectivas marcas, así mismo se involucran los requisitos de la NOM-001-SEDE-2012 para que la revisión de las instalaciones sea segura.

En las referencias al final de este documento encontrará la bibliografía de donde fue tomada la información de los equipos para que pueda consultar dichos manuales por si se requiere algo más específico para su instalación.

Manual para el mantenimiento preventivo de las luminarias solares en parque bicentenario.

Lo primero que se debe tomar en cuenta es el material que utilizaremos para el mantenimiento de las luminarias solares.

Estos materiales se listan enseguida:

- 1- Guantes de seguridad.
- 2- Llave española (o similar) de 9/16" (para abrir registros de luminaria).
- 3- Desarmadores de cruz y plano (para abrir controlador de carga solar y aislar elementos del controlador).
- 4- Pinzas de punta (para mejor manejo del cableado).

- 5- Alicates o pinzas de electricidad (Por si es necesario cortar algún tipo de cable).
- 6- Cinta de aislar (Para aislar los cables cuando se esté trabajando con los elementos individualmente).
- 7- Escalera (para trabajar con el panel y la lámpara).
- 8- Arnés de seguridad (únicamente cuando se requiera trabajo de altura).
- 9- Multímetro (para verificar voltajes en cada elemento de la luminaria).
- 10- Cepillo (para limpieza de bornes de las baterías).
- 11- Grasa lubricante (para bornes de las baterías).

Las luminarias solares están compuestas por:

- Celda solar.
- Batería.
- Controlador.
- Lámpara de leds.

Dependiendo el tipo de luminaria podemos tener:

- Una batería de 12[V] o 2 baterías de 12[V] conectadas en serie.
- Panel solar fotovoltaico de 50 W (12 [V]) o 100 W (24 [V])
- Lámpara solar circular de 36 Leds, arreglo bilateral de 2 tiras de leds (Principalmente ubicadas en estacionamiento) o arreglo de 3 tiras de leds conectados en serie (para registros con dos baterías), o tira de leds (para registros con una sola batería).
- Controlador de carga solar; Negro marca Steca (principalmente en luminarias con lámpara de led circular), Negro Modelo SDRC 10IP (principalmente en luminarias con una tira de leds), Azul con blanco (utilizado en arreglos de 2 y 3 tiras de leds).

Conexión de circuito básico para luminarias solares.

La conexión de la luminaria solar es como se muestra en la imagen 1.

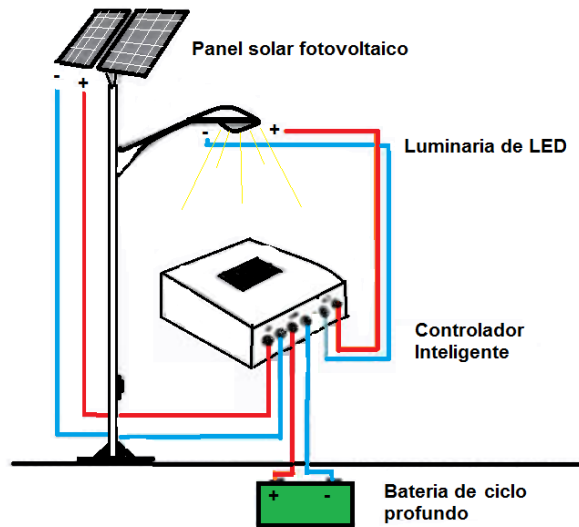


Imagen 1 Diagrama de instalación de luminaria solar

Controlador de carga solar

El controlador solar está compuesto por 6 entradas:

2 para la celda solar, 2 para la(s) baterías, y 2 para la lámpara de leds

Para los tres tipos de controladores las conexiones son de la siguiente manera:

Lado izquierdo: Conexión de celda solar, positivo y negativo

Centro: Conexión de batería positivo y negativo.

Lado derecho: Conexión de lámpara, positivo y negativo.

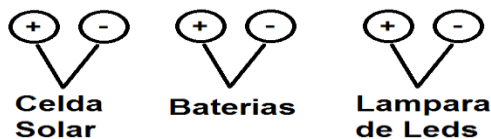


Imagen 2 Conexión de cables en controlador solar

En los tres casos, la forma de conexión será la siguiente por seguridad.

- 1- Se conecta positivo y negativo de las baterías
- 2- Se conecta positivo y negativo de la celda solar
- 3- Se conecta positivo y negativo de lámpara

Para la desconexión del controlador primero se quita lámpara, después celda y al último batería.

Uso y configuración del controlador de carga solar Negro Modelo SDRC 10IP.

El controlador es físicamente como se muestra en la imagen 3:

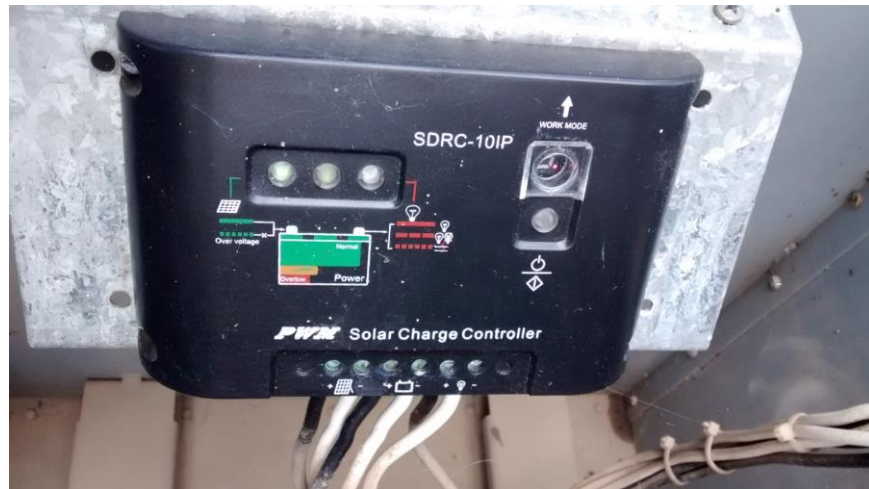


Imagen 3 Controlador Solar SRDC

Normalmente está instalado en las luminarias ubicadas a lo largo de la ciclista del parque y en lámparas con una sola tira de leds.

Cuenta con las siguientes características:

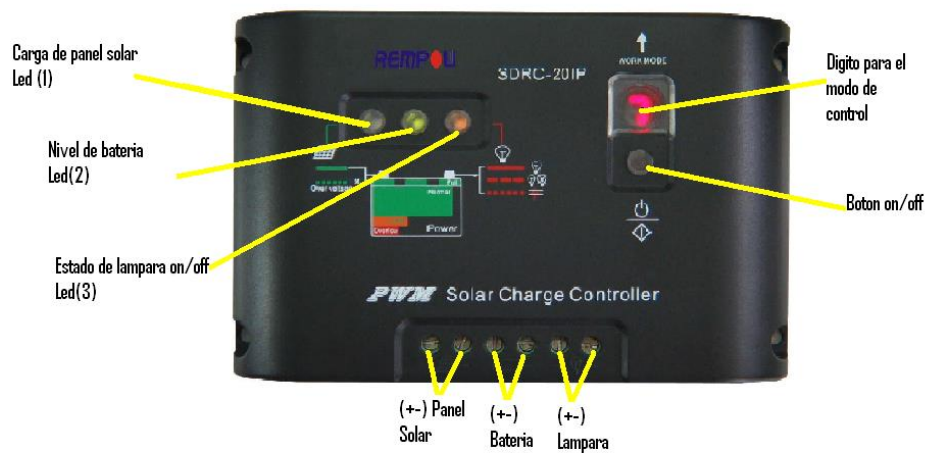


Imagen 4 Controlador solar SRDC con parte importantes

Instalación:

- 1- Conectar el cable de batería (+) al borne (+) del controlador específico para la batería y posteriormente el cable (-) de la batería al borne (-) del controlador.
- 2- Conectar positivo (+) y negativo (-) del panel solar a sus respectivos bornes en el controlador, si la conexión es correcta y el panel recibe la luz solar, el Led (1) se encenderá.
- 3- Finalmente conectar positivo (+) y negativo (-) de la lámpara de leds a sus respectivos bornes en el controlador.

Estado de la batería.

Cuando la tensión de la batería está en condiciones normales (de 9[V] a 12[V], el Led (2) estará encendido en color VERDE; si la carga de la batería finalizó, entonces el Led (2) parpadeará lentamente en color verde.

Cuando la tensión de la batería sea bajo (4[V] a <9[V]), el Led (2) encenderá en color amarillo.

Finalmente, si el voltaje es bajo (<4[V]), el Led (2) encenderá en color rojo, y apagará automáticamente la lámpara hasta que la carga de la batería vuelva a ser normal.

Estado de la carga (Lámpara de leds).

El led (3) enciende cuando la lámpara enciende, y se apaga al mismo tiempo que la lámpara se apaga.

Configuración.

Para la configuración del controlador seguiremos la siguiente secuencia:

- 1- Oprimir el botón de on/off durante aproximadamente 6 segundos, hasta que el display nos muestre algún dígito parpadeando.
- 2- Para probar el funcionamiento correcto de la lámpara pondremos el display en el número 6. (seis punto); OJO no confundir con el dígito 6 (sin punto). Ya con esto podremos probar el funcionamiento de la lámpara únicamente presionando el botón de on/off para apagar y prender los leds de la lámpara.
- 3- Para colocar la lámpara en el modo Día/Noche (carga batería durante el día, y una vez que sea de noche la batería alimentará a la lámpara de leds) oprimiremos nuevamente el botón On/off durante algunos segundos hasta que el dígito del display este parpadeando.
- 4- Una vez parpadeando el dígito del display oprimiremos nuevamente el botón de on/off cuantas veces sea necesario hasta llegar al dígito 0(cero) o 0. (cero punto), esperaremos hasta que el dígito deje de parpadear y ya con esto tendremos el controlador configurado en el modo Día/Noche.
- 5- Los demás dígitos son para distintas configuraciones de carga y descarga de la batería, pero por comodidad y para mejor uso de las luminarias omitiremos configurarlos en esos modos.

Problemas frecuentes.

Problema	Solución
El Led(1) no enciende en verde cuando el panel solar está recibiendo la radicación solar	Revisar si el cable del panel solar está conectado correctamente a los bornes del controlador solar.
el Led(1) parpadea rápidamente	El sistema muestra un sobre voltaje o existe un circuito abierto en la batería. Revisar si la batería está conectada al controlador correctamente y que el circuito de carga no esté dañado.
El Led(3) esta encendido pero no hay luz de salida en la lámpara	Revisar si la carga (lámpara) está conectada correctamente a los bornes del controlador.
El led(3) parpadea rápidamente y no hay luz de salida en la lámpara	Comprobar el circuito de salida. Retire la carga, presione el botón on/off y el controlador reanudará su trabajo después de 30 minutos.
El Led (2) parpadea en color rojo y no hay voltaje de salida.	La batería se encuentra descargada. El controlador reanudara su trabajo después de terminar la carga de la batería.

Tabla 1 Problemas frecuentes con controlador SRDC

Uso y configuración del controlador de carga solar Negro Modelo Steca Solarix PRS 1515.

El controlador es físicamente como se muestra en la imagen 5:



Imagen 5 Controlador solar STECA

Normalmente está instalado en las luminarias con una lámpara de leds circular, en las cercanías de las oficinas, en las canchas y en skate park.

Cuenta con las siguientes características:

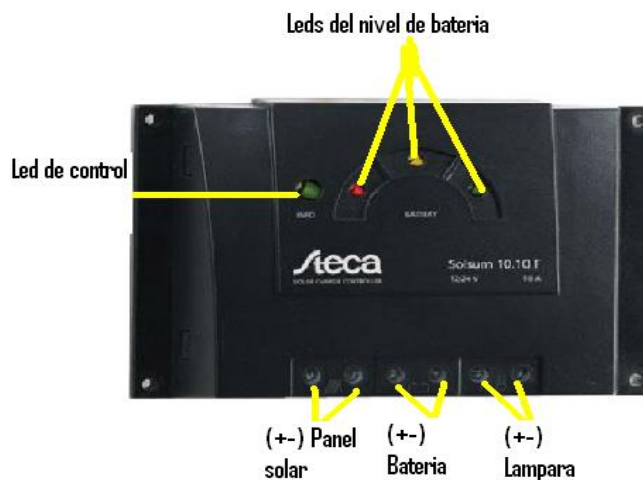


Imagen 6 Controlador solar STECA con partes importantes

Instalación:

- 1- Conectar el cable de batería (+) al borne (+) del controlador específico para la batería y posteriormente el cable (-) de la batería al borne (-) del controlador.

- 2- Conectar positivo (+) y negativo (-) del panel solar a sus respectivos bornes en el controlador, si la conexión es correcta el led de control encenderá en verde y alguno de los 3 leds de batería encenderán para saber si está cargando la batería y en qué nivel se encuentra.
- 3- Finalmente conectar positivo (+) y negativo (-) de la lámpara de leds a sus respectivos bornes en el controlador.

Este controlador es el más sencillo de utilizar de los 3, ya que su control es automático y no necesitamos configurar nada más, solo debemos verificar que el led de control este encendido en color VERDE, y que alguno de los 3 leds de carga este parpadeando (esto nos muestra que la batería se está cargando correctamente).

Así mismo es necesario verificar en la noche que la lámpara este encendiendo correctamente.

Si notamos que el Led de control está cambiando de color entre rojo y verde quiere decir que existe algún tipo de fallo en la carga de la batería, para esto es necesario quitar todas las conexiones del controlador, esperar algunos minutos y volver a conectar todo, si el problema persiste debemos verificar la batería y/o la lámpara de leds.

Uso y configuración del controlador de carga solar Blanco con azul Mass power PWM controller.

El controlador es físicamente como se muestra en la imagen 7:



Imagen 7 Controlador solar MASS POWER

Normalmente está instalado en la mayoría de las luminarias ubicadas en los estacionamientos y en pasos peatonales fuera de la ciclopista.

Cuenta con las siguientes características:



Imagen 8 Controlador solar MASS POWER con partes importantes

Instalación:

- 1- Conectar el cable de batería (+) al borne (+) del controlador específico para la batería y posteriormente el cable (-) de la batería al borne (-) del controlador.
- 2- Conectar positivo (+) y negativo (-) del panel solar a sus respectivos bornes en el controlador, si la conexión es correcta y el panel recibe la luz solar, el Led del panel solar se encenderá en color rojo y el led de la batería se encenderá (rojo o verde dependiendo de la carga de la batería).
- 3- Finalmente conectar positivo (+) y negativo (-) de la lámpara de leds a sus respectivos bornes en el controlador.

Estado de la batería.

Cuando el voltaje de la batería está en condiciones normales, el Led de batería estará encendido en color VERDE.

Cuando el voltaje de la batería sea bajo, el Led de batería encenderá en color rojo.

Cuando la batería este cargando, el led irá cambiando desde color rojo hasta color verde.

Estado de la carga (Lámpara de leds).

El led de lámpara enciende cuando la lámpara enciende, y se apaga al mismo tiempo que la lámpara se apaga.

Configuración.

Para la configuración del controlador seguiremos la siguiente secuencia:

- 1- Oprimir el botón de on/off durante aproximadamente 5 segundos, primero aparecerá un numero 0(cero) y dejaremos ahí de apretar el botón, esperamos al que el número “cero” desaparezca.
- 2- Para probar el funcionamiento correcto de la lámpara volvemos a apretar el botón de on/off rápidamente y notaremos como el led de la lámpara del controlador encenderá en color naranja, al mismo tiempo debe encender la lámpara de leds. Si esto no ocurre entonces debemos verificar que las conexiones estén correctamente, si aun así no enciende la lámpara debemos revisar que la batería esté funcionando correctamente (Mas adelante se hablará de cómo verificar el funcionamiento de las baterías).
- 3- Para colocar la lámpara en el modo Día/Noche (carga batería durante el día, y una vez que sea de noche la batería alimentará a la lámpara de leds) oprimiremos nuevamente el botón On/off durante algunos segundos hasta que el digito del display nos aparezca en 0(cero), PERO

cuando ocurra esto no debemos de dejar de apretar el botón, hasta que nos aparezca el dígito 0. (cero puntos).

- 4- Una vez teniendo el dígito 0. (cero punto) dejamos de oprimir el botón y esperamos a que en el display únicamente aparezca el. (punto). Ahora ya está configurado el controlador en modo Día/Noche.
- 5- Los demás dígitos son para distintas configuraciones de carga y descarga de la batería, pero por comodidad y para mejor uso de las luminarias omitiremos configurarlos en esos modos.

Problemas frecuentes.

Problema	Solución
El led de panel solar no enciende en rojo cuando el panel solar está recibiendo la radiación solar	Revisar si el cable del panel solar está conectado correctamente a los bornes del controlador solar.
El led de la batería parpadea en color rojo	Desconecte la batería y conecte de nuevo. Si el problema persiste, revisar que no exista ningún tipo de corto circuito entre las conexiones
El led de la lámpara esta encendido pero no hay luz de salida en la lámpara	Revisar si la carga (lámpara) está conectada correctamente a los bornes del controlador.
El led de lámpara parpadea y no hay luz de salida en la lámpara	Programar nuevamente el controlador. Si aún no se soluciona el problema, verificar que no exista algún tipo de cortocircuito en la lámpara de leds
El led de la batería se pone en rojo cada que intenta encender la lámpara	Existe algún fallo en la batería ya sea por falta de carga o porque la batería ya no mantiene la carga por un tiempo prolongado, en este caso es necesario sustituir la(s) batería(s)

Tabla 2 Problemas frecuentes con controlador MASS POWER

Baterías

En las luminarias solares tenemos 4 tipos de baterías, todas de 12 [V] todas ellas de plomo-acido, en el parque encontramos dos marcas distintas de baterías, la primera marca “Praha” ubicada principalmente en las luminarias con 3 o dos tiras de leds. La batería es como se muestra en la imagen 9:

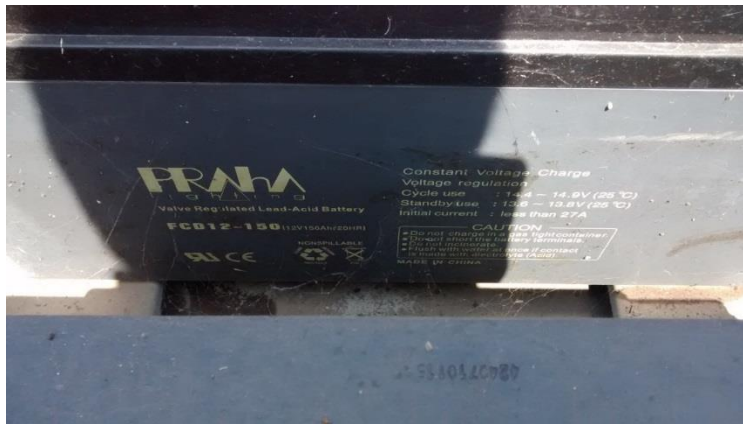


Imagen 9 Batería PRAHA

Por otro lado, tenemos las baterías de la marca “Rolls” estas están ubicadas principalmente en luminarias con una sola tira de leds, o en lámparas circulares. La batería se muestra en la imagen 10:



Imagen 10 Batería ROLLS

Ya que estas baterías son de “plomo-acido” es muy difícil dar un mantenimiento correctivo a las baterías, ya que cuando muestran corrosión son sumamente contaminantes, y se requeriría de un tratamiento muy

especializado para poner nuevamente en funcionamiento correcto a las baterías.

Es necesario observar detalladamente si las baterías están manteniendo la carga correctamente, y si los bornes de conexión no muestran corrosión, para lo cual realizaremos lo siguiente:

- 1- Abrir el registro de la luminaria y principalmente observar si la batería y/o el controlador no muestra humedad, o el registro no esté inundado. Si el registro se encuentra inundado, es necesario desechar adecuadamente la batería y reemplazarla por una nueva
- 2- Verificar que los bornes de la batería no muestren corrosión o estén oxidados. Si la corrosión es excesiva, es necesario desechar la batería y reemplazarla por una nueva, si la corrosión es mínima se debe realizar una limpieza exhaustiva a los bornes utilizando las medidas de seguridad pertinentes y al final añadir un poco de “grasa” lubricante a cada uno de los bornes.
- 3- Desconectar la batería del controlador de carga solar y con ayuda de un multímetro medir el voltaje de corriente directa que nos esté arrojando. En situaciones normales la batería debe tener más de la mitad de carga (6 volts), si el registro tiene un arreglo de dos baterías, cada una de ellas debe tener más de la mitad de su carga nominal. Si la batería no muestra carga, o es inferior a los 2 volts es necesario verificar que el controlador de carga solar esté funcionando correctamente, y que el panel solar este cargando la batería mediante el controlador.
- 4- Si pasando un tiempo (entre 1 o 2 horas) notamos que la batería no aumenta su carga, entonces es necesario sustituir la batería por una nueva ya que la batería no está cargando correctamente, y/o la batería no mantiene la carga.

Cabe señalar que, si el registro está inundado, es necesario cambiarlo a debajo del panel solar (aproximadamente 30 cm debajo del panel) para que este sirva como “protección” contra el agua de lluvia y riego. Ya que aunque drenemos el agua del registro (aparte de ser agua sumamente contaminada por el plomo contenido en la batería), estamos hablando de un registro colocado en una zona donde el suelo no filtra el agua. Por lo que con la

próxima lluvia o riego de la zona volveremos a tener el mismo problema de inundación en el registro, y esto nos llevaría a una falla nuevamente en baterías y controlador, y nuevamente una sustitución de estos elementos, con lo cual estaríamos hablando de un costo innecesario en refacciones.

Lámparas solares.

En el parque tenemos 3 tipos distintos de lámparas:

- 1- Lámparas circulares con 36 leds, ubicadas principalmente alrededor de las oficinas en jardín natura, en canchas y skate park.
- 2- Lámparas con una tira de leds, ubicadas principalmente en ciclopista, y en arreglos bilaterales ubicados en estacionamientos.
- 3- Lámparas con 3 tiras de leds, ubicadas en pasos peatonales, y a las orillas de todo el parque.

Para probar el funcionamiento adecuado de estas lámparas es necesario:

- Probar las lámparas en el día cuando los rayos del sol incidan sobre el panel solar, de lo contrario tener una batería temporal de 24 volts para poder conectar directamente a la lámpara
- Realizar una conexión DIRECTA del panel solar (o batería cargada) hacia la lámpara de leds.
- Verificar si la lámpara tiene todos sus leds encendidos. De lo contrario es necesario un cambio de lámpara.
- Si la lámpara no enciende, verificar con un multímetro la continuidad en el circuito, y cerciorarse que no exista un cortocircuito en la conexión de la lámpara.
- Si revisando lo anteriormente mencionado la lámpara sigue sin encender, medir el voltaje a la salida del panel solar y rectificar que esté operando adecuadamente. En un día soleado el panel solar debe marcar entre 20 y 40 volts.
- Si con todo lo realizado anteriormente la lámpara sigue sin encender, es necesario un cambio.

Paneles solares.

En las luminarias del parque tenemos dos tipos de paneles solares:

- Pequeños de 18 volts $\pm 10\%$, con potencia de 50 watts.
- Grandes de 36 volts $\pm 10\%$, con potencia de 100 watts.

Ambos paneles son de la marca ERDM Solar.

Para dar un mantenimiento preventivo a los paneles es necesario lo siguiente:

- 1- Desconectar el panel solar del controlador de carga solar.
- 2- Verificar (preferentemente de día) el voltaje de salida con ayuda de un multímetro y comprobar si está funcionando correctamente el panel
- 3- Si no marca un voltaje nominal, verificar que no exista algún tipo de cortocircuito en la conexión del panel.
- 4- Lavar periódicamente (una o dos veces al año) el panel solar, con agua, y si la suciedad es excesiva, con jabón y algún paño húmedo, esto para que el panel se encuentre limpio y reciba perfectamente la radiación solar. Si nota que el panel está limpio, no es necesario lavarlo tan seguido, pero si es necesario que se confirme que el panel está recibiendo la radiación adecuadamente, y esto se verificara midiendo que el voltaje sea cercano al nominal de cada panel.
- 5- Verificar que no existan grietas en el panel solar, y si existen, comprobar que no afecte al funcionamiento del panel, esto nuevamente lo verificaremos midiendo el voltaje a la salida del panel.

Resumen de mantenimiento preventivo a las luminarias solares

Primeramente, las herramientas que utilizaremos serán las siguientes:

- 1- Uso de guantes de seguridad
- 2- Llave española (o similar) de 9/16" (para abrir registros de luminaria).
- 3- Desarmadores de cruz y plano (para abrir controlador de carga solar y aislar elementos del controlador).
- 4- Pinzas de punta (para mejor manejo del cableado).
- 5- Alicates o pinzas de electricidad (Por si es necesario cortar algún tipo de cable).

- 6- Cinta de aislar (Para aislar los cables cuando se esté trabajando con los elementos individualmente).
- 7- Escalera (para trabajar con el panel y la lámpara).
- 8- Arnés de seguridad (únicamente cuando se requiera trabajo de altura).
- 9- Multímetro (para verificar voltajes en cada elemento de la luminaria).
- 10- Cepillo (para limpieza de bornes de las baterías).
- 11- Grasa lubricante (para bornes de las baterías).

Ya con todas estas herramientas realizaremos el mantenimiento preventivo que consta de:

- Revisión de registro (si está inundado o muestra rastros de humedad)
- Revisión de controlador de carga solar (que este configurado correctamente, si no configurarlo de acuerdo a los pasos vistos en el apartado de “Controlador de carga solar”).
- Revisión de baterías (que mantengan la carga correctamente, si no realizar los pasos vistos en el apartado “Baterías”).
- Revisión de lámpara solar (Que todos los leds enciendan correctamente; si no realizar los pasos vistos en el apartado “Lámparas solares”).
- Revisión de panel solar (Que esté funcionando adecuadamente, si no, realizar los pasos vistos en el apartado “Paneles solares”).

*No olvidar marcar cada lámpara revisada para no perder el registro de cuales ya fueron verificadas y cuáles no.

***IMPORTANTE:** realizar el mantenimiento preventivo de las luminarias **MINIMO UNA VEZ POR AÑO** para evitar grandes fallos irreparables en los elementos de las luminarias.

CONCLUSIONES

El conocimiento de los elementos básicos para la instalación de luminarias solares fotovoltaicas juega un papel importante para generar energía eléctrica utilizando alternativas a los medios tradicionales de generación, teniendo como base las regulaciones mexicanas tanto obligatorias como opcionales. El uso de la NOM-001-SEDE-2012 es indispensable al momento de realizar una instalación eléctrica, por esta razón tenemos que basar todo nuestro trabajo en este documento, así mismo aseguraremos el cumplimiento de seguridad básico para el uso de estas instalaciones.

Derivado de la revisión que se hizo al parque ecológico en la Ciudad de México, y observando los fallos en los luminarios es importante mencionar que se debe hacer una selección adecuada de los equipos, desde los envoltentes que cubrirán a los equipos críticos de la instalación, la selección de protección NEMA y/o IP es indispensable para proteger los equipos contra las inclemencias del tiempo. De la misma forma la selección de la batería es primordial para el correcto funcionamiento de todo el luminario, la recomendación es tener baterías de Plomo-Acido ya que son económicas, eficientes, siempre y cuando tengamos el correcto mantenimiento preventivo de estas baterías podremos obtener un largo periodo de vida de las mismas.

Con la propuesta económica es posible dimensionar el costo aproximado por luminario para así poder estimar proyectos futuros siempre teniendo en cuenta que los precios siempre pueden variar dependiendo de varios factores, principalmente por el costo del dólar frente al peso mexicano.

Finalmente, con el manual de mantenimiento preventivo propuesto para el personal del parque es más sencillo detectar los fallos comunes, así mismo realizar el remplazo rápido y seguro de los equipos en mal estado, con ello aseguramos prolongar el periodo de vida de toda la instalación y de la misma manera este manual puede ser utilizado para capacitar a personal de mantenimiento que este por ingresar a laborar en el parque.

Referencias:

- ALONSO Lorenzo, José A. Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma. [En Línea]. España. Sunfield Europe [Fecha de consulta: abril 2016].
Disponibile en: http://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/09/Sunfields_Boletin_Fotovoltaica_Autonomas.pdf
- ANGELES Arteaga, Jorge Daniel. DE JESUS Sanchez, Juan Jose. ROSALES Santiago, Sergio. Propuesta de alumbrado público por medio de celdas fotovoltaicas con luminarios tipo leds para la manga, municipio de La Yesca en el estado de Nayarit. Tesis (Ing. Electricista). México D.F: Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2009. 141 p.
- ARENAS Sanchez, Danny Andrés. ZAPATA Castaño, Hodman Steven. Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones. [en línea]. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira [2011]. [Fecha de consulta: 10 de agosto 2016].
Disponibile en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2369/62131244A681.pdf?sequence=1>
- ATERSA, Grupo Elecnor. 2009-2016
< <http://www.atersa.com/quienes.asp?param=21>>
- CARRILLO Yáñez, Jose. MORALES López, Jesus Isidro Enrique. Estudio para la electrificación con energías alternativas, utilizando celdas fotovoltaicas para electrificar el poblado de cañada colorada municipio de Apaxco Estado de México. Tesis (Ing. Electricista). México D.F: Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2009. 156 p.
- COMITÉ permanente de peritos en instalaciones eléctricas. Manual de alumbrado público- Documento para municipios [En línea]. México: Colegio de ingenieros mecánicos y electricistas A.C. 2014[Fecha de consulta: 15 de enero de 2016]
Disponibile en: <http://www.cime.org.mx/manualalumbrado.pdf>

- COSTA RICA. Biomass Users network(BUN-CA). Manuales sobre energía renovable: Solar fotovoltaica. 1ª Edición. San Jose, Costa Rica: Biomass Users network(BUN-CA), 2002. 42 p.
ISBN: 9968970891
- DIAZ, Juan Francisco. Eficiencia energética y Utopía. 7 de abril de 2015
<<https://juanfrancisco207.wordpress.com/2015/04/07/mecanismos-de-seguimiento-solar/>>
- EREN. Ente regional de Castilla y León. Energía Solar fotovoltaica Manual del Instalador. 1ª Edición. España: 2004, Junta de Castilla y León, 149 p.
- FARADAYOS, Tecnología Eléctrica. 2015
<http://faradayos.blogspot.com/2014/01/colores-cables-electricos-normas.html?_sm_au_=i5Vp687J1fZ6TSrn>
- LÓPEZ Monroy, Guillermo. Sistema de tierras en redes de distribución. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2012. 157p.
- MANTENIMIENTO de sistemas solares fotovoltaicos. [En línea]. Santiago de Cuba. Cuba solar: [Fecha de consulta: abril 2015]
Disponible en:
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia22/HTML/articulo02.htm>
- MANUAL de uso- Baterías ROLLS. [En línea]. Canadá: Web: Rolls Battery. [Fecha de consulta: enero 2015]
Disponible en: <http://rollsbattery.com/wp-content/uploads/manuals/ManualdeUsoBaterias.pdf>
- MENDOZA Rodriguez, Cesar Alberto. Viabilidad técnica- económica de una central solar termoeléctrica de colectores cilíndricos parabólicos para su implementación en México. Tesis (Ing. Eléctrica electrónica). Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2011. 165 p.

- MHEDUCATION. 2015
<<http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>>
- NATIONAL Fire Protection Association. (Estados Unidos). National Electrical Code(NEC). Estados Unidos de América: NFPA, 2011. 1497 p.
- NINGBO, Zhongce Electronics Co. LTD. 2015 < <http://china-solar.en.hisupplier.com/product-983686-Solar-Charge-Controller-User-Manual.html>>
- OBERGOZO, Carlos. AVIRILICA, Roberto. Energía solar fotovoltaica, Manual técnico para instalaciones domiciliarias. Perú, 2010: Green energy Consultoría y servicios SRL ©. 49 p.
- PAREJA Aparicio, Miguel. Energía Solar Fotovoltaica: Calculo de una instalación aislada. 2ª edición. Barcelona: Marcombo S.A, 2010. 199 p.
ISBN: 9788426715968
- PAREJA Aparicio, Miguel. Energía Solar Fotovoltaica: Radiación solar y su aprovechamiento energético. 1ª edición. Barcelona: Marcombo S.A, 2010. 320 p.
ISBN: 9788426715593
- SCENIHR, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Luxemburgo, European Commision. 2012.
- SDCC Series Solar Charge Controller – User Manual. [En línea] China: Power Remote, 2015 [Fecha de consulta: febrero 2015].
Disponibile en: <http://www.repowersolar.com/>
- SECRETARIA de energía(México). NOM-001-SEDE-2012: Instalaciones eléctricas (Utilización). México D.F, Diario oficial de la federación, 29 de noviembre de 2012. 1011p.

- SISTEMA de información geográfica para las energías renovables en México. Instituto de investigaciones eléctricas (IIE). 2011.
< <http://sag01.iie.org.mx/siger/>>
- STECA, Elektronik. 2016.
<<http://www.steca.com/index.php?Steca-Solarix-PRS-es>>
- TEKNOSOLAR, Tu tienda de la energía. Teknosolar Internet, S.L. 2005-2016
<<http://www.teknosolar.com>>

APÉNDICE A Niveles de Irradiación solar en la República Mexicana en kWh/m2

Fuente: - "Estudio para la electrificación con energías alternativas, utilizando celdas fotovoltaicas para electrificar el poblado de cañada colorada, municipio de Apaxco, estado de México", Tesis IPN

Estado	Ciudad	KWh/m2												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Sonora	Hermosillo	4	4.6	5.4	6.6	8.3	8.6	6.9	6.6	6.7	6	4.7	3.9	6
Sonora	Guaymas	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.1	5.6	6
Chihuahua	Chihuahua	4.1	4.9	6	7.4	8.2	8.1	6.8	6.2	5.7	5.2	4.6	3.8	5.9
Coahuila	Piedras Negras	3.1	3.6	4.2	4.5	4.8	6	6.7	6.3	4.9	4.1	3.3	2.9	4.5
Coahuila	Saltillo	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.6	5.2	4.4	3.6	3.3	4.8
Nuevo León	Monterrey	3.2	3.6	4.1	4.3	4.8	5.5	6.1	5.6	5	3.8	3.3	3	4.4
San Luis Potosí	Rio Verde	3.6	4	4.6	4.9	5.4	5.6	5.8	5.8	5.1	4.3	3.7	3.3	4.7
San Luis Potosí	San Luis Potosí	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6	5.5	4.7	4.2	3.7	5.4
Zacatecas	Zacatecas (La Bufa)	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	5.8
Campeche	Campeche	4	4.1	5.5	5.8	5.5	4.9	4.9	5.1	4.7	4.4	4.2	3.7	4.7
Guanajuato	Guanajuato	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6	6	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	5.6
Colima	Colima	4.4	5.1	5.3	5.8	6	5.2	4.9	5	4.6	4.4	4.4	3.9	4.9
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4	5.6
Guerrero	Chilpancingo	4.1	4.5	4.9	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.7	4.4	4.1	3.8	4.7
Guerrero	Acapulco	4.8	5.3	6.1	5.9	5.6	5.1	5.3	5.4	4.9	5.2	5	4.7	5.3
Nayarit	Tepic	4	4.7	5.2	5.8	6.1	5.7	5.2	5.3	4.8	4.6	4.5	4.2	5
Veracruz	Tuxpan	3.1	3.8	4.4	4.8	4.7	4.4	4.7	5.5	4.4	4.1	3.4	3.1	4.2
Veracruz	Córdoba	3.1	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	3.7
Veracruz	Orizaba	3.3	3.5	3.9	4.2	4.9	4.4	4.5	4.6	4.3	3.6	3.3	3.1	4
Veracruz	Jalapa	3.2	3.5	3.8	4.3	4.6	4.4	4.9	5	4.4	3.7	3.3	3	4
Veracruz	Veracruz	3.7	4.5	4.9	5.1	5.1	4.8	4.7	5.1	4.6	4.8	4.1	3.6	4.6
Chiapas	Comitán	4.1	4.4	4.8	4.9	5.1	4.8	5.5	5.5	4.8	4	4	3.7	4.6
Chiapas	Arriaga	5.1	5.4	5.5	5.9	5.6	5.2	5.9	5.5	5.1	5.3	5.1	4.7	5.4
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	4.7
Chiapas	San Cristóbal	4	4.3	4.5	4.5	4.8	4.7	5.4	5.3	4.6	4.2	3.9	3.7	4.5
Chiapas	Tapachula	5.4	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	4.6	4.1	4.3	4.1	4.7
Quintana Roo	Chetumal	3.9	4.7	5.4	5.7	5.3	4.7	4.9	5	4.5	4.4	4	3.7	4.7
Quintana Roo	Cozumel	3.9	4.6	5.3	5.7	5.2	4.8	4.9	4.9	4.6	4.4	4	3.8	4.7

Oaxaca	Salina Cruz	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.8
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6	5.4	5.9	5.6	5	4.9	4.8	4.4	5.3
Jalisco	Ocotlán	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	5.9
Jalisco	Lagos de Moreno	4.5	5.3	6.1	6.7	7.2	6.1	5.8	5.6	5.5	5	4.7	4	5.5
Jalisco	Guadalajara	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4	5.6
Durango	Durango	4.4	5.4	6.5	7	7.5	6.8	6	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	5.7
Tamaulipas	Soto la Marina	3.4	4.2	4.9	4.9	5.1	5.3	5.4	5.4	4.9	4.6	3.7	3.2	4.6
Tamaulipas	Tampico	3.3	4.1	4.7	6.4	5	4.9	4.9	4.9	4.6	4.6	3.7	3.2	4.5
Yucatán	Progreso	4.1	4.9	5.4	5.5	5.3	5.1	5.3	5.3	5	5	4.4	4	4.9
Yucatán	Valladolid	3.7	4.1	3.1	5.4	5.7	5.3	5.4	5.4	4.9	4.2	3.8	3.5	4.5
Yucatán	Mérida	3.7	4	4.6	5.2	5.7	5.5	5.7	5.5	5	4.2	3.8	3.4	4.7
Baja California	La Paz	4.4	5.5	6	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	5.7
Baja California	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	5.5
Baja California	Mexicali	4.1	4.4	5	5.6	6.6	7.3	7	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	5.5
Sinaloa	Culiacán	3.6	4.2	4.8	5.4	6.2	6.2	5.4	5.1	5.2	4.6	4.2	3.4	4.9
Querétaro	Querétaro	5	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5	4.4	5.9
D.F.	Tacubaya	4.4	5.2	5.8	5.8	5.7	5.1	4.9	4.9	4.7	4.4	4.2	3.8	4.9
México	Toluca	4.4	4.9	5.3	5.3	5.2	5.2	4.9	4.9	4.6	4.4	4.2	3.9	4.8
México	Chapingo	4.5	5.1	5.6	5.6	5.9	5.4	5.2	5.2	5	4.7	4.6	3.9	5.1
Tlaxcala	Tlaxcala	4.6	5.1	5.5	5.5	5.6	5.2	5.3	5.2	5.1	4.9	4.7	4	5.1
Puebla	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.2	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5	4.7	4.4	5.5
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.1	5.6	5.6	6	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	5.4
Michoacán	Morelia	4.2	4.9	5.5	5.5	5.9	5.2	5	5.1	4.9	4.6	4.3	3.7	4.9