



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Implementación de sistema fotovoltaico  
aislado y de respaldo para dispositivos de  
control de personal

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO**

**P R E S E N T A**

EDGAR BRACAMONTES NÁJERA

**DIRECTORA DE TESIS**

DRA. ALEJANDRA CASTRO GONZÁLEZ



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020



## JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: M.I. Rigel Gámez Leal

VOCAL: Dra. Alejandra Castro González

SECRETARIO: Dra. Manuela Azucena Escobedo Izquierdo

1er SUPLENTE: M.I. Iván Urzúa Rosas

2do SUPLENTE: Dr. Sergio Quezada García

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

Autódromo Hermanos Rodríguez, Ciudad de México

ASESORA DEL TEMA:

Dra. Alejandra Castro González

SUSTENTANTE:

Edgar Bracamontes Nájera

---



---

## **Agradecimientos**

A mis padres María del Pilar Nájera Santamaría y Luis Raúl Bracamontes Martínez, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Por enseñarme a valorar las cosas, a darme cuenta de que los logros se alcanzan con esfuerzo diario y que nada es gratis en la vida. Por todos esos días de desvelo en el cual me procuraron y me alentaron a no rendirme y seguir adelante para tener herramientas para afrontar lo difícil de la vida.

A mi hermano Luis Alfredo, por ser una motivación de superación personal en mi vida académica y hacerme ver la necesidad que sufre la gente en las localidades más pobres del país para valorar lo que tenemos y respetar la vida de todo ser vivo.

A mi gran familia por creer en mí siempre dándome su cobijo para sentirme como un hijo más. Gracias por siempre darme su apoyo.

A mis amigos por seguir caminando a mi lado y darme su apoyo durante este tiempo.

A mi segunda casa la Facultad de Ingeniería por darme las armas necesarias para enfrentarme a la vida diaria como profesionista y persona. Gracias a esa gran gama de profesores que tuve a lo largo de este recorrido y sobre todo a la mejor universidad del mundo la UNAM por brindarme la mejor educación en las mejores instalaciones que cualquier universitario podría desear.

A la Dra. Alejandra Castro, por su apoyo, consejos, sus grandes ganas de seguir motivándome para terminar este proyecto de titulación, pero sobre todo a su gran paciencia y su confianza en mí. Gracias Doctora.

Y a mi novia Ana Karen por apoyarme en todo momento, presionarme y amenazarme para conseguir mi título universitario. Te amo.

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b>	<b>I</b>
<b>NOMENCLATURA</b>	<b>I</b>
<b>CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS</b>	<b>1</b>
<b>1.1 RADIACIÓN SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD</b>	<b>1</b>
1.1.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA	1
1.1.2 RESPALDO ENERGÉTICO CON GENERACIÓN FOTOVOLTAICA	2
1.1.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS A LA RED ELÉCTRICA (OFF-GRID)	3
<b>1.2 MÓDULO FOTOVOLTAICO</b>	<b>4</b>
<b>1.3 CONTROLADOR DE CARGA</b>	<b>6</b>
<b>1.4 BATERÍA</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA</b>	<b>10</b>
<b>2.1 CASO DE ESTUDIO</b>	<b>10</b>
2.1.1 GRAN PREMIO DE MÉXICO 2015, AUTÓDROMO HERMANOS RODRÍGUEZ, CIUDAD DE MÉXICO	10
<b>2.2 EMPRESAS INVOLUCRADAS</b>	<b>11</b>
2.2.1 EMPRESA DE ESPECTÁCULOS (EMPRESA A)	11
2.2.2 EMPRESA DE EFICIENCIA LABORAL (EMPRESA B)	11
2.2.3 EMPRESA DE DESARROLLO TECNOLÓGICO (EMPRESA C)	12
2.2.4 EMPRESA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA (EMPRESA D)	12
<b>2.3 PROBLEMÁTICAS</b>	<b>13</b>
2.3.1 PROBLEMÁTICA DE LA EMPRESA A	13
2.3.2 PROBLEMÁTICA DE LAS EMPRESAS B Y C	14
2.3.3 PROBLEMÁTICA DE LA EMPRESA D	15
<b>2.4 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS</b>	<b>15</b>
2.4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	16
<b>2.5 DIAGRAMA DE METODOLOGÍA</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS</b>	<b>19</b>
<b>3.1 CONDICIONES INICIALES DEL CASO DE ESTUDIO</b>	<b>19</b>
3.1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	19
<b>3.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO</b>	<b>21</b>
3.2.1 REQUERIMIENTO DIARIO DE ENERGÍA EN W.H	22

3.2.2	COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO	22
3.2.3	CÁLCULO DE EFICIENCIA TOTAL DEL SISTEMA	23
3.2.3.1	Eficiencia por efecto de temperatura $\eta_{TEM}$	23
3.2.3.2	Eficiencia del módulo fotovoltaico	26
3.2.3.3	Eficiencia del controlador	26
3.2.4	SELECCIÓN DE COMPONENTES	27
3.2.4.1	Selección del módulo fotovoltaico	27
3.2.4.2	Selección de controlador de carga	27
3.2.4.3	Selección de batería	28
3.2.4.4	Selección de fuente de corriente alterna/corriente directa	29
3.2.4.5	Selección de protecciones eléctricas	30
3.2.4.6	Selección de gabinete	31
<b>3.3</b>	<b>INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</b>	<b>33</b>
3.3.1	FORMAS DE INSTALACIÓN	33
3.3.1.1	Sistema de respaldo	34
3.3.1.2	Sistema aislado	34
<b>3.4</b>	<b>DESINSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</b>	<b>36</b>
<b>CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES</b>		<b>37</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>38</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico interconectado a la red (CFE, 2008) ....	2
Figura 2.1 Mapa de gradas y pista modificada para el gran premio de México (F1aldia, 2015a) ....	10
Figura 2.2 Equipo de control de personal Libera 300 (InfoBlock, 2013) .....	14
Figura 2.3 Localización de sistemas fotovoltaicos aislados y de respaldo (f1aldia, 2015b).....	16
Figura 2.4 Diagrama de flujo con metodología a seguir en el proyecto .....	18
Figura 3.1 Portal de la NASA meteorológico y de energía solar respecto a una locación (Eosweb, 2018) .....	19
Figura 3.2 Diagrama del sistema de respaldo de energía .....	21
Figura 3.3 Diagrama del sistema fotovoltaico aislado .....	21
Figura 3.4 Fuente de CA/CD modelo VOF-180-12 (Mouser,2018).....	29
Figura 3.5 Localización y orden de instalación de los sistemas aislados y de respaldo .....	33
Figura 3.6 Gabinete con fuente de CA/CD .....	34
Figura 3.7 Sistema aislado de control de personal .....	35
Figura 3.8 Medición de voltaje respecto al tiempo de batería en un sistema aislado .....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características eléctricas de un módulo fotovoltaico.....	6
Tabla 3.1 Datos meteorológicos y de energía solar respecto a locación.....	20
Tabla 3.2 Características eléctricas y horas de operación diarias de las cargas eléctricas.....	22
Tabla 3.3 Coeficientes de temperatura del módulo fotovoltaico obtenidos de la hoja de datos del modulo.....	24
Tabla 3.4 Hoja de datos del módulo fotovoltaico.....	27
Tabla 3.5 Hoja de datos del controlador .....	28
Tabla 3.6 Hoja de datos de batería.....	29
Tabla 3.7 Datos eléctricos de la fuente AC/DC.....	30
Tabla 3.8 Calculo de protecciones eléctricas comerciales.....	31
Tabla 3.9 Dimensiones de gabinete propuesto .....	31
Tabla 3.10 Dimensiones de los dispositivos del gabinete 1 y 2.....	32

## Nomenclatura

<b>A</b>	Ampere, unidad de corriente
<b>A.h</b>	Ampere-hora
<b>CA</b>	Corriente alterna
<b>CD</b>	Corriente directa
<b>CFE</b>	Comisión Federal de Electricidad
<b>CP</b>	Caballo de Potencia (HP por sus siglas en inglés Horse Power)
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>kW</b>	Kilowatt, unidad de potencia igual a 1000 W
<b>kW.h</b>	Kilowatt-hora, unidad de energía
<b>kWp</b>	Kilowatt pico
<b>SFV</b>	Sistema fotovoltaico
<b>W</b>	Watt, unidad de potencia
<b>kWh/m<sup>2</sup>-día</b>	Irradiación solar

## RESUMEN

En este trabajo se propone el diseño e instalación de un sistema fotovoltaico aislado y de respaldo para alimentar un sistema de control de personal con un consumo diario de 667.2 W.h y 55.6 A.h alimentados a 12 V en corriente directa los 7 días de la semana. Estos sistemas fueron colocados en los alrededores del Autódromo Hermanos Rodríguez para el evento del "Gran premio de México 2015" en la Ciudad de México. Se colocaron 4 sistemas fotovoltaicos aislados y 3 sistemas fotovoltaicos de respaldo en 7 puntos de los alrededores del evento. Estos sistemas se calcularon con una irradiancia solar de 4.9 kW.h/m<sup>2</sup> y una temperatura promedio de 24.9 °C. Se seleccionó un módulo fotovoltaico de 250 W que tendrá una potencia en sitio de 215.85 W teniendo una eficiencia del 86.34% respecto a las condiciones estándar de prueba. Se seleccionaron 2 baterías de 12 V en corriente directa conectadas en paralelo con una capacidad de 40 A.h a 20 h con tecnología química de plomo acido sellada libre de mantenimiento. El sistema fotovoltaico tiene una generación de 786.1 W ya considerando las eficiencias de los componentes utilizados y un banco de batería de 80 A.h a 20 h considerando 1 día de respaldo y 90 % de profundidad de descarga de la batería con un controlador de tecnología MPPT de 20 A. En los sistemas de respaldo se agregó una fuente de poder AC/DC de 180W y 12 V en corriente directa de salida la cual se conectó en un bus donde hace transferencia con el sistema fotovoltaico. Después de la instalación se corroboró el buen funcionamiento del sistema con un sistema de monitoreo de voltaje conectado en el bus de baterías del sistema corroborando un voltaje de flotación de 13.3 V en corriente directa en promedio antes de presencia de luz solar.

## INTRODUCCIÓN

La continua degradación del medio ambiente, debido a la generación de energía por medios convencionales, como las emisiones de CO<sub>2</sub>, hacen que las energías renovables y en especial la energía solar fotovoltaica aparezca en el mundo desarrollado como una opción cada vez más atractiva y necesaria. Durante los últimos años han proliferado los "tejados fotovoltaicos" en todo el mundo. Estas instalaciones fotovoltaicas en viviendas se conectan a la red de manera que la energía producida puede ser inyectada a dicha red y facturada a la compañía eléctrica, esta actividad cada vez es más común en México.

La energía solar fotovoltaica es un tipo de energía renovable obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamado célula solar de película fina. Este tipo de energía se usa para alimentar innumerables aparatos autónomos, para abastecer refugios, casas aisladas de la red eléctrica y para la producción de electricidad a gran escala a través de redes de distribución. Debido a la creciente demanda de energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas han avanzado considerablemente en los últimos años (Bullis, 2006).

Los módulos o paneles fotovoltaicos están formados por un cristal o lámina transparente superior y un cerramiento inferior entre los que queda encapsulado el sustrato conversor y sus conexiones eléctricas. La lámina inferior puede ser transparente, pero lo más frecuente es un plástico de ingeniería. Para encapsular las celdas fotovoltaicas, se suelen añadir unas láminas finas y transparentes que se funden para crear un sellado antihumedad, aislante, transparente y robusto. En el año 2010, aproximadamente el 87 % de las células se fabricaron con silicio, de las cuales con silicio monocristalino el 33.2 %, con policristalino el 52.9 %, y con amorfo el 5%; el 5.3 % con telurio de cadmio, el 1.2 % con cobre, indio y selenio (CIS), y el 2.4 % restante con otras tecnologías, según datos de la revista especializada Photon International (Lecue, 2011).

La corriente eléctrica directa (CD) que proporcionan los módulos fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna (CA) mediante un aparato electrónico llamado inversor, ya que los aparatos eléctricos convencionales funcionan con CA regularmente, el excedente de energía se puede inyectar a la red eléctrica.

México es un país con un excelente recurso solar. La irradiación diaria (promedio anual) sobre una superficie horizontal es superior a  $4.4 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{día}$ , en todo el territorio nacional y en algunos sitios es superior a  $6 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{día}$  (un valor de los más altos en el mundo). Además, por encontrarse cerca del ecuador, es relativamente constante a lo largo de todo el año. Con base en lo anterior, la explotación de la tecnología fotovoltaica en México brinda condiciones favorables para contribuir en forma importante a los requerimientos energéticos del país. Y su utilización puede resultar más rentable en comparación con muchos otros países. La tasa de retorno energético de esta tecnología, por su parte, es cada vez mayor. Con la tecnología actual, los paneles fotovoltaicos recuperan la energía necesaria para su fabricación en un período comprendido entre 6 meses, 1 año o 4 años; teniendo en cuenta que su vida útil media es superior a 30 años, producen electricidad limpia durante más del 95% de su ciclo de vida (Trebolle, 2013).

En México, al igual que en muchos otros países en desarrollo, el uso de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red tiene una penetración y desarrollo considerable. Por lo mismo, la experiencia que se tiene con esta forma de generación de energía eléctrica en particular es limitada. Sin embargo, la región noroeste del país presenta condiciones favorables para la generación distribuida de electricidad mediante sistemas fotovoltaicos conectados a la red, en virtud de que las condiciones de su sistema eléctrico (el cual se encuentra separado del sistema eléctrico nacional), las tarifas de energía, los patrones de uso de la electricidad y el recurso solar en la región, se combinan de manera tal que su utilización –bajo determinados esquemas de financiamiento– puede implicar importantes beneficios económicos, tanto al dueño del sistema fotovoltaico como a la compañía suministradora de energía eléctrica.

En entornos aislados, donde se requiere poca potencia eléctrica y el acceso a la red es difícil, como estaciones meteorológicas o repetidores de comunicaciones, ranchos apartados de las comunidades, se emplean sistemas fotovoltaicos como una alternativa económicamente viable. Para comprender la importancia de esta posibilidad, conviene tener en cuenta que

aproximadamente una cuarta parte de la población mundial no tiene acceso a la energía eléctrica.

### **OBJETIVO GENERAL**

Construir un sistema fotovoltaico aislado y de respaldo para dispositivos de control de personal en el evento del "Gran Premio de México 2015", en los alrededores del Autódromo Hermanos Rodríguez en la Ciudad de México, considerando las características del sitio de instalación y las necesidades energéticas de las cargas.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Los objetivos específicos del presente trabajo son:

- Revisar las características del sitio de instalación analizando la radiación solar, la temperatura ambiente y las sombras que pudieran perjudicar la generación de energía de los sistemas fotovoltaicos.
- Diseñar el sistema fotovoltaico aislado y de respaldo contemplando las necesidades eléctricas de las cargas.
- Construir los sistemas fotovoltaicos utilizando los componentes seleccionados en el diseño.
- Evaluar el sistema fotovoltaico instalado monitoreando el voltaje del banco de baterías.

# **CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS**

## **1.1 Radiación solar para la generación de electricidad**

Existen dos tecnologías para la generación de electricidad a partir de radiación solar: la fotovoltaica y la de concentración solar. Las celdas fotovoltaicas transforman directamente la radiación solar en electricidad, por medio de un fenómeno físico denominado efecto fotovoltaico. Las celdas fotovoltaicas se pueden utilizar en conexión con la red eléctrica, o bien en sitios aislados, por medio de sistemas que incluyen baterías.

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica (DC). La generación de energía eléctrica dependerá de las horas que el sol brille sobre el panel solar y del tipo y cantidad de módulos instalados, orientación, inclinación, radiación solar que les llegue, calidad de la instalación y la potencia nominal.

En las centrales de concentración solar, la radiación solar calienta un fluido, que mueve una máquina térmica la cual, a su vez, un generador eléctrico. El calentamiento del fluido se hace por lo general por medio de dispositivos ópticos que concentran la radiación solar, logrando altas temperaturas, del mismo modo en que con una lupa se puede quemar un pedazo de papel.

Las centrales de concentración solar tienen la ventaja adicional de que pueden permitir, mediante inversiones adicionales, almacenar la energía en forma de calor, de manera que es posible generar electricidad aun cuando no hay radiación solar. Ambas tecnologías, la fotovoltaica y la de concentración solar, se han desarrollado aceleradamente en los últimos años, alcanzando eficiencias de más de 15% (SENER, 2009).

### **1.1.1 Sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica**

En el caso particular de los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red, cuya principal aplicación se da en viviendas o edificaciones dentro de las zonas urbanas, los elementos convertidores (módulos fotovoltaicos) encargados de transformar la luz del sol en electricidad se instalan sobre el techo de las construcciones para proveer a éstos una mayor y mejor exposición a los rayos solares. En cuanto a la conexión eléctrica del sistema a la red, ésta se lleva a cabo a través de un inversor. La Figura 1.1 se muestra la configuración y conexión

típica de un sistema fotovoltaico conectado a la red. Como cualquier otra instalación eléctrica, estas instalaciones se habilitan con los medios apropiados para realizar, adecuadamente y en forma segura, la conexión y la desconexión eléctrica del sistema fotovoltaico de la red; y para proporcionar la adecuada protección al equipo y a las personas contra condiciones de operación no deseadas. Para tales efectos, se siguen las normas y recomendaciones de carácter general.

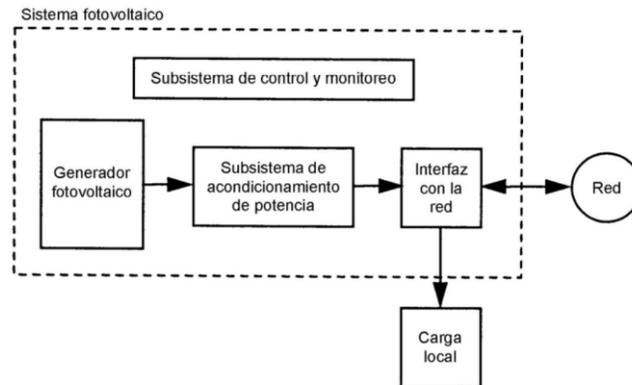


Figura 1.1 Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico interconectado a la red (CFE, 2008)

En una instalación como la mostrada, la energía eléctrica para alimentar las cargas en el inmueble puede venir (total o parcialmente) del sistema fotovoltaico o de la red eléctrica convencional indistintamente. En este esquema la fuente de energía que provee la energía eléctrica a las cargas es transparente en todo momento para el usuario, dado que la calidad de dicha energía generada por el sistema fotovoltaico es similar a la de la red eléctrica convencional. Cuando existe un déficit entre la demanda de electricidad en el inmueble respecto a la generación fotovoltaica, este diferencial es cubierto con electricidad proveniente de la red eléctrica convencional. En caso contrario, cuando se presenta un excedente entre la demanda respecto a la generación fotovoltaica, éste es directamente inyectado a la línea de distribución del proveedor del servicio eléctrico.

Estos sistemas tienen una vida útil de por lo menos 25 años. Los sistemas de energía solar interconectados a la red eléctrica son la mejor alternativa cuando se cuenta con el servicio de energía eléctrica de CFE como sucede en la mayoría de las ciudades del país (Gonzales y col., 2002).

### 1.1.2 Respaldo energético con generación fotovoltaica

Mientras que en los sistemas aislados la conexión a la red es redundante, el sistema de respaldo permite a las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red conseguir una

independencia temporal de la red pública de suministro eléctrico. En caso de producirse una caída de tensión, el sistema de respaldo continúa proporcionando electricidad a la red de la vivienda.

El sistema se compone principalmente del inversor cargador, una instalación fotovoltaica y un acumulador de batería. En funcionamiento normal, uno o varios inversores solares inyectan la electricidad de la instalación fotovoltaica a la red pública. El sistema de respaldo sólo se activará en caso de fallo de la red o caída de tensión. El mecanismo de conmutación desconecta entonces la instalación fotovoltaica y los consumidores de la red, según la normativa aplicable, y mantiene el suministro de la vivienda desde la batería. Como gestor del sistema, el inversor cargador coordina todas las operaciones de conmutación. En consecuencia, compensa de manera fiable cualquier fallo de la red.

En este caso, la instalación fotovoltaica actúa como fuente de energía para el suministro directo de los consumidores y para la carga de la batería. De este modo, se puede suministrar energía a los consumidores durante largos períodos de funcionamiento incluso en casos de corte de fluido eléctrico. La conexión de fuentes de energías renovables disponibles localmente permitirá prolongar la autonomía incluso cuando las capacidades de las baterías sean limitadas. El uso consistente del acoplamiento de CA es el requisito para una correcta interacción entre el sistema de respaldo y los inversores solares. Como síntesis ideal entre el funcionamiento de red pública y el de red aislada, el sistema de respaldo está atrayendo el interés de cada vez más operadores: ofrece excelentes alternativas en países en desarrollo y países recientemente industrializados con redes eléctricas inestables y puede representar también en los países un suplemento útil para las redes públicas. Según la opinión de los expertos, se prevé que en Europa aumenten los apagones prolongados y las caídas temporales del fluido eléctrico (SMA, 2009).

### **1.1.3 Sistemas fotovoltaicos aislados a la red eléctrica (off-grid)**

En este tipo de sistemas no es necesario que sean conectados a la red eléctrica, ya que solo se produce la energía necesaria para su consumo. En los sistemas aislados se pueden dividir en dos bloques que son:

- Aplicaciones espaciales: sirven para proporcionar energía eléctrica a elementos colocados por el ser humano en el espacio, tales como son los satélites de comunicación, la estación internacional espacial.
- Aplicaciones terrestres: son estas las que se tratarán en esta tesis ya que es a donde está enfocado el tema. En las que cabe destacar:
  - Telecomunicaciones: telefonía a nivel rural y de ciudad, vía radio, etc.

-Alumbrado público: se utiliza en zonas donde se complica el llevar una línea eléctrica convencional.

- Electrificación de zonas rurales, así como de ciudad y aislados: estas instalaciones, que se pueden realizar en cualquier lugar, están pensadas para países y regiones en desarrollo y todas aquellas zonas en donde no existe acceso a la red eléctrica convencional o en el caso de la ciudad fomentar el ahorro de energía mediante sistemas amigables, para los sistemas aislados como refugios de montaña.

En el caso de los sistemas fotovoltaicos autónomos están conformados por los siguientes componentes los cuales en otro capítulo se abordará con más detalle. Los elementos de una instalación solar fotovoltaica son:

1. Célula fotovoltaica: es el elemento más primordial de la instalación. Convierte la energía del sol en energía eléctrica (como corriente continua). Está formado por la unión de paneles, para dotar a la instalación de la potencia necesaria.

2. Controlador de carga: punto de unión entre las células fotovoltaicas y los elementos de consumo de la instalación. Se encarga también de proteger las baterías de sobrecargas y proporciona a su salida la tensión continua para la instalación. Fija el valor de la tensión nominal a la que trabaja la instalación.

3. Batería: se presenta en instalaciones autónomas. Proporciona energía a la instalación durante los periodos sin luz solar o sin suficiente luminosidad. Acumula energía para la instalación.

4. Inversor: Convierte la corriente continua del sistema en corriente alterna, a 127 V de valor eficaz y frecuencia de 60 Hz, igual a la de la red eléctrica. Alimenta los aparatos que trabajan con corriente alterna (MGH, 2013).

## **1.2 Módulo fotovoltaico**

El módulo fotovoltaico es el componente que proporciona electricidad cuando incide sobre él la radiación solar. Está compuesto por celdas de silicio en las que tiene lugar una conversión directa de la energía electromagnética del sol en energía eléctrica. En general, las celdas solares en un módulo están conectadas en serie por sus propiedades eléctricas. El módulo fotovoltaico representa la unidad básica de un generador fotovoltaico. El voltaje nominal de operación del sistema debe estar relacionado con el voltaje nominal de los demás subsistemas (Labouret y Viloz, 2008).

El módulo fotovoltaico consta de diversas capas que recubren a las células por arriba y por abajo, con el fin de darles una protección mecánica, a la vez que además las protegen contra los agentes atmosféricos, especialmente el agua, que puede llegar a ser causante de la

oxidación de los contactos, con lo cual las células quedarían inservibles para la producción de energía (Alcor, 2008).

El módulo estándar generalmente se diseña para que pueda conectarse, directamente o a través de algún elemento de protección a una batería de 12V. Tomando en cuenta sobre voltajes para cargar la batería y compensar bajos voltajes en condiciones no ideales. Esto supone un número de celdas entre 32 y 36, que representa una tensión superior a 12V en el punto de máxima potencia aún en las peores condiciones de temperatura. Para comparar unos módulos fotovoltaicos con otros, se han especificado condiciones uniformes para determinar los datos eléctricos, son las llamadas condiciones de prueba estándar (CPE que por sus siglas en inglés es STC, Standard Test Conditions) (Labouret y Viloz, 2008):

- Radiación solar 1000W/m
- Espectro solar AM1.5
- Temperatura ambiente 25°C

Estas condiciones se incluyen en las fichas técnicas de los módulos, como se muestra en la Tabla 1.1. Cuando las pruebas de calidad del panel se obtienen con una iluminación inferior, se suele hacer a  $200 W/m^2$ . Se hace así en muchos casos ya que la radiación solar de  $1,000W/m^2$  es muy elevada en la mayoría de las situaciones normales. La potencia máxima de un módulo fotovoltaico bajo la luz del Sol es un parámetro esencial. Es el punto ideal de la curva característica corriente-tensión en condiciones estándar. Los valores de tensión y de corriente, son también muy importantes.

$$P_m = V_m * I_m \dots \dots (1-1)$$

Donde:

$P_m$ : Potencia máxima [W]

$V_m$  : Tensión máxima [V]

$I_m$ : Corriente máxima [A]

No sirve tener muchos watts si no cargan la batería. Si la tensión  $V_m$  (en condiciones estándar) es muy débil, la batería se podrá cargar bajo una fuerte iluminación solar y sin pérdidas en la línea, pero fuera de estas condiciones no se cargará. Un buen panel de 12V debe tener una tensión  $V_m$  en condiciones estándar, de 16-17V como mínimo. Y sobre todo en las regiones donde la radiación solar no está siempre al máximo. El módulo puede funcionar sin problemas por debajo de este valor, pero es la batería la que impondrá la tensión de funcionamiento (Labouret y Viloz, 2008).

Registrar las variaciones de esta tensión en función de la insolación puede dar una aproximación de la capacidad del panel para cargar una batería con radiación solar moderada (Labouret y Viloz, 2008).

Tabla 1.1 Características eléctricas de un módulo fotovoltaico (Solartec, 2015a)

Modelo de módulo	Potencia máxima (Pmax)	Tolerancia	Eficiencia del módulo $\eta_m$	Tensión en Pmax (Vmpp)	Intensidad en Pmax (Impp)	Tensión de circuito abierto (Voc)	Intensidad en cortocircuito (Isc)
YL250P-29b	250 W	-0 / +5 W	15,3 %	30.4 V	8.24 A	38.4 V	8.79 A
YL245P-29b	245 W	-0 / +5 W	15 %	30.2 V	8.11 A	37.8 V	8.63 A
YL240P-29b	240 W	-0 / +5 W	14.7 %	29.5 V	8.14 A	37.5 V	8.65 A
YL235P-29b	235 W	-0 / +5 W	14,4 %	29.5 V	7.97 A	37 V	8.54 A
YL230P-29b	230 W	-0 / +5 W	14.1 %	29.5 V	7.8 A	37 V	8.4 A

Las características eléctricas de las celdas policristalinas son similares a las monocristalinas. Sin embargo, existen algunas diferencias debidas a defectos de este material, alcanzándose unos rendimientos de conversión del 10 al 12%. En cuanto a la tecnología amorfa, produce módulos de un rendimiento del 6-8% con unión simple. En multiuniones se llega a un rendimiento de 10-12%. Todos estos rendimientos corresponden a datos obtenidos bajo una fuerte radiación, en condiciones estándar ( $1,000W/m^2$ , espectro AM 1.5 y 25°C) (Labouret y Viloz, 2008).

Los estándares de calidad con que se construyen los módulos fotovoltaicos son bastante elevados. Realmente, la calidad está en función directa de los materiales empleados, si bien es cierto que la manipulación y el almacenamiento de éstos deben ser controlados para evitar degradaciones en el tiempo de vida útil de los módulos. No obstante, la mayoría de los fabricantes acreditados y con experiencia dan a sus productos garantía de veinte años contra defectos de fabricación y disminución de potencia, lo cual hace pensar sobre el alto grado de fiabilidad de estos. A pesar de todo, se suele decir que un módulo es mejor que otro por la medida de su potencia, y éste es un punto absolutamente importante que requiere algún comentario. En primer lugar, no existe una célula igual a otra, y por extensión no existe un módulo igual a otro, siendo éste el motivo por el que los fabricantes suelen dar una variación de potencia de  $\pm 10\%$  para cada modelo, lo cual no quiere decir que uno sea mejor que otro, sino que da más potencia (Alcor, 2008).

### 1.3 Controlador de carga

Los controladores son dispositivos electrónicos encargados de controlar la carga de la batería con la energía eléctrica procedente de los módulos fotovoltaicos. Se disponen eléctricamente en serie entre el módulo fotovoltaico y los circuitos a alimentar (Méndez, 2010). La misión del controlador se centra, por lo tanto, en evitar que, debido a una sobrecarga excesiva proporcionada por el panel, éste pueda en algún momento causar

perjuicios al acumulador, acortando la vida del mismo. En definitiva, el controlador de carga es un equipo capaz de evitar la sobrecarga del acumulador a la vez que limita la tensión de la batería a unos valores adecuados para el mantenimiento (Alcor, 2008).

La misión del controlador de carga es de suma importancia en la mayoría de los casos, ya que trabaja con una fuente de energía totalmente variable y estacional. Suponiendo un consumo fijo durante todos los días del año. Si se calcula el número de módulos solares necesarios, se debe tomar como base la radiación promedio mínima para asegurar el correcto funcionamiento del sistema en la peor época. Sin embargo, esto da pie para pensar que, cuando llegue el verano, el valor de la irradiación pueda duplicarse, por lo que la producción sería el doble a la calculada para la estación invernal y, por el contrario, el consumo sería el mismo. Habitualmente, el control del estado de carga de las baterías se realiza mediante la medida de la tensión en bornes, usando los datos proporcionados por los diferentes fabricantes, ya que existe una relación entre estos dos parámetros. De esta forma, el circuito de control del regulador de carga sabe cuándo éste debe empezar a actuar limitando la corriente proporcionada por el grupo fotovoltaico. Esencialmente, existen dos grandes grupos de controladores: los de tipo shunt o paralelo y los de tipo serie PWM. La misión en ambos casos es la misma, y se diferencian en la forma de trabajo y prestaciones de cada uno de estos elementos (Alcor, 2008). El regulador shunt con tecnología MPPT, al detectar un valor de la tensión demasiado elevado, deriva la corriente a través de un dispositivo de baja resistencia, convirtiendo su energía en calor por efecto Joule, disipando dicho calor mediante unas aletas metálicas de diseño adecuado. Se comprenden las limitaciones, en cuanto a la potencia de las instalaciones, de este tipo de controladores, ya que la disipación de una potencia térmica grande conlleva problemas térmicos diversos. Los controladores serie, en vez de disipar energía, simplemente interrumpen el circuito cuando el voltaje alcanza un valor determinado. Estos aparatos se conectan en serie y su resistencia es despreciable cuando permiten paso de corriente. Un relé de alta fiabilidad, comandado por un dispositivo electrónico de control, se encarga de abrir o cerrar el circuito, según la tensión detectada (Fernández, 2010).

## **1.4 Batería**

El acumulador o batería es un dispositivo capaz de transformar una energía potencial química en energía eléctrica. Se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas en los procesos de carga o descarga (Alcor, 2008).

La energía solar llega a la Tierra de una forma variable no sólo respecto al día y la noche, sino también a la época del año, condiciones meteorológicas, etc. Algunas de estas variaciones son perfectamente predecibles, como las estaciones o la duración de la noche, pero no ocurre así con la nubosidad, que es mucho más aleatoria, lo que hace necesario la utilización de acumuladores o baterías capaces de alimentar el consumo previsto inicialmente durante los días que dure la perturbación (Alcor, 2008). La misión principal de

una batería dentro de un sistema solar fotovoltaico es la de acumular la energía producida para que se pueda utilizar en periodos donde la iluminación es escasa o incluso nula (Méndez, 2010).

Se encuentran diferentes tipos de baterías en el mercado, pero fundamentalmente se pueden hacer dos grandes grupos: las de níquel-cadmio (Ni-Cd) y las de plomo-ácido. Las primeras presentan unas cualidades excepcionales, pero debido a su elevado precio se usan con menos frecuencia. Por el contrario, las baterías de plomo-ácido en sus diferentes versiones son las más usadas para las aplicaciones solares, adaptándose a cualquier corriente de carga y teniendo un precio razonable (Alcor, 2008).

Las baterías para las instalaciones fotovoltaicas deben reunir unas especificaciones muy concretas de capacidad de acumulación y, sobre todo, de sus índices de carga con el módulo fotovoltaico y descarga sobre las aplicaciones, lo que ha determinado su elección mayoritaria a las de tipo de plomo-ácido. Tales baterías están compuestas por células o vasos con dos electrodos inmersos en un electrolito de ácido sulfúrico diluido en agua. La tensión de la batería se determina por el número de celdas que posea, siendo el voltaje de cada celda de 2V. Las características que definen el comportamiento de una batería son fundamentalmente:

- Capacidad de descarga en ampere-hora (Ah).
- Profundidad de la descarga
- Vida útil en ciclos

La capacidad de descarga de una batería se mide en ampere-hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga. Si este tiempo es muy corto, la capacidad de la batería disminuye, mientras que, si el tiempo de la descarga aumenta haciéndose ésta lenta, la capacidad de la batería aumenta. Se define la capacidad como la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado. Esta capacidad es el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que ésta actúa, calculada hasta que se alcanza la tensión final. En definitiva, si un acumulador de 180 Ah medido a 10 horas de descarga, significa que el acumulador puede trabajar a 18 A durante 10 horas (Alcor, 2008).

La geometría y el número de celdas conectadas en paralelo determinan la capacidad nominal de la batería. Sin embargo, no es un valor constante. Éste depende de la temperatura, el voltaje final de descarga y, sobre todo, la corriente de descarga. Si la batería se descarga lentamente, a corriente pequeña, más potencia podrá ser descargada a comparación de una descarga rápida con mayor corriente. Si la potencia total de una batería se descarga en 10 horas, una corriente mayor fluye a diferencia de una descarga de 100 horas. El voltaje nominal de una batería tipo plomo-ácido es de 2 V por celda. El voltaje en los electrodos varía de acuerdo con el estado de operación. Para proteger la batería se deben determinar dos valores, el voltaje máximo de carga y el voltaje mínimo de descarga (Alcor, 2008).

Se denomina profundidad de descarga al valor de la carga, en tanto por ciento con respecto a la total, que se ha sacado del acumulador en una descarga. Por ejemplo, si a una batería de 200 Ah se le ha sometido a una descarga de 80 Ah, esto da como resultado una profundidad de descarga del 40 % sobre la capacidad total de la batería. Se pueden dividir los acumuladores en dos tipos principales con tecnología de plomo-ácido: los de descarga superficial y los de descarga profunda (Alcor, 2008).

Al primer grupo pertenecen aquellas baterías cuya descarga rutinaria se encuentra entre el 0 y el 15% y esporádicamente pueden descargarse a valores más profundos (40 a 50%).

Este tipo de batería utiliza generalmente placas planas de plomo con aleación de antimonio, calcio, o una mezcla de estos dos componentes. El otro grupo de baterías, las de descarga profunda, lo forman aquellas que permiten sin deterioro muy apreciable descargas de hasta el 80% de su capacidad. Fijando su descarga media en un 20 a 25% en su uso diario. Los acumuladores de ciclo profundo incorporan bien placas planas o bien placas tubulares (Alcor, 2008).

Directamente relacionada con la profundidad de descarga está la vida de una batería. Ésta se expresa en ciclos, que se definen como el número de veces que se produce una carga - descarga. La vida de una batería depende también del espesor de las placas y de la concentración del electrolito, pero fundamentalmente está marcada por la profundidad de cada descarga, ya que, cuanto más profunda sea la descarga, el número de ciclos se hace menor y se llega antes al fin del acumulador (Alcor, 2008).

Desde hace unos años, algunos fabricantes de acumuladores han desarrollado un tipo de baterías sin mantenimiento con unas características similares a las estacionarias tradicionales, tanto por la clase de materiales utilizados como por las prestaciones que ofrecen. La razón de que no precisen mantenimiento se debe al hecho de estar dotadas de un electrolito en forma de gel, que las hacen muy idóneas para el uso en sistemas fotovoltaicos. A diferencia de las baterías de plomo-ácido, en las que se produce una pérdida de agua durante el ciclo de carga, en las baterías de gel se recombina el oxígeno liberado por las placas positivas con el hidrógeno, a través del electrolito, y por reacción electroquímica se convierte en agua. De esta manera se hace innecesaria la adición de agua durante toda la vida de la batería. Tienen los acumuladores estacionarios de gel una característica muy interesante en los sistemas fotovoltaicos: la facilidad y seguridad en el transporte, así como su versatilidad en cuanto a la disposición final, ya que pueden ponerse en cualquier posición sin pérdida de electrolito como ocurre en los tradicionales. Estas características los hacen muy interesantes para algunas instalaciones de difícil acceso (Alcor, 2008).

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Caso de estudio

El caso de estudio fue el control de personal en el evento del gran premio de México en el 2015 siendo un evento muy esperado por los amantes de la Formula 1™.

#### 2.1.1 Gran Premio de México 2015, Autódromo Hermanos Rodríguez, Ciudad de México

El Gran Premio de México es una carrera válida para el campeonato mundial de automóviles de Fórmula 1™ que se lleva a cabo en el Autódromo Hermanos Rodríguez en la Ciudad de México.

La primera vez se disputó como evento no válido para el campeonato en 1962, para luego ser incluido entre 1963 y 1970 y entre 1986 y 1992 (esta última tras la exclusión del circuito de Nurburgring de 4.5 km).

En julio de 2014 se anunció que se volvería a disputar el 1 de noviembre de 2015. De esta manera, México volvió a recibir una carrera de Fórmula 1™, 23 años después. El circuito se encuentra actualmente en uno de los proyectos de remodelación más ambiciosos que jamás ha visto un lugar deportivo. La mayor parte del trazado del circuito permanecerán intactos, pero hubo algunos cambios notables en el diseño señalada en la Figura 2.1, en vez de rodear el foro sol, ahora cruza en medio de él. Su vuelta al campeonato tuvo algunos problemas organizativos, que incluyeron la clausura de una grada y la amenaza por parte de vecinos de boicotear el Gran Premio.



Figura 2.1 Mapa de gradas y pista modificada para el gran premio de México (F1aldia, 2015a)

## **2.2 Empresas involucradas**

Diferentes empresas se encargaron de la remodelación del autódromo Hermanos Rodríguez. Cerca de 900 trabajadores cumplieron largas jornadas de trabajo diariamente por lo que el flujo de personal en las entradas del autódromo fue abundante a todas las horas del día, por esta razón fue complicado identificar a los trabajadores de cada una de las empresas. Para la empresa de espectáculos contratada fue necesario tener un control de administración del tiempo de trabajo y de todos los eventos asociados al mismo en sus trabajadores, para ello contrataron a la empresa B.

### **2.2.1 Empresa de espectáculos (empresa A)**

Es una compañía líder en el mercado del entretenimiento en México, Colombia y Centroamérica y uno de los participantes más destacados en el ámbito latinoamericano y mundial en la industria del espectáculo.

A través de un modelo único de integración vertical, el acceso único a una importante red de centros de espectáculos, una base de anunciantes conformada por los principales inversores publicitarios en el mercado, así como por las asociaciones y alianzas estratégicas que se han establecido con participantes experimentados en la industria global; ofrece diversas opciones de entretenimiento de talla mundial, las cuales incluyen conciertos, producciones teatrales, eventos deportivos, familiares, y culturales, entre otros, que cubren las necesidades de tiempo libre y esparcimiento de la audiencias.

Opera un parque de diversiones y un parque acuático en Bogotá, Colombia. Asimismo, comercializa el Centro Banamex en la ciudad de México, uno de los mayores y más importantes recintos de exposiciones y convenciones en el ámbito internacional. Igualmente, son reconocidos como el más destacado productor y organizador de eventos especiales y corporativos en México, y opera uno de los centros de contacto más profesionales y reconocidos en el mercado mexicano.

### **2.2.2 Empresa de eficiencia laboral (empresa B)**

Es una empresa integradora de soluciones tecnológicas, sus servicios dan al cliente beneficios tales como: Ahorros hasta del 8% del valor de la nómina, una importante reducción del trabajo inútil, disminución de rotación laboral, transparencia operativa entre

empleador y empleado, mejor calidad de vida para el trabajador y protección preventiva y eficaz del centro de trabajo. Los servicios y las soluciones que ofrece esta empresa son los siguientes:

#### SERVICIOS

- › Consultoría
- › Diseño
- › Implementación
- › Instalación
- › Mesa de Ayuda
- › Comunicación Dinámica

#### SOLUCIONES

- › Credencialización Inteligente
- › Administración de la Fuerza Laboral
- › Aseguramiento Patrimonial
- › Medición de Procesos

### **2.2.3 Empresa de desarrollo tecnológico (empresa C)**

Es una empresa ubicada en la Ciudad de México, especialista en la creación y desarrollo de productos tecnológicos. Es 100% mexicana y fue fundada en 1997 por sus dos socios. Dichos productos nacen de la necesidad de crear conocimiento e información útil para la generación de estrategias de negocio.

Al ser una empresa creadora de sus productos, tiene la capacidad de aportar a sus clientes, soluciones de alto valor agregado, especialmente adaptadas a sus necesidades y con bajo costo de propiedad. De igual manera, la Empresa C fomenta un ecosistema con sus socios de negocio, asegurando así, una red de comercialización, implementación y mesa de ayuda, brindando una cobertura nacional y un especialista para resolver cada una de las necesidades de sus clientes. Cabe mencionar, que en su desarrollo se utilizan sistemas de calidad avalados por los líderes de la industria de tecnologías de la información.

### **2.2.4 Empresa en eficiencia energética (empresa D)**

Empresa dedicada al desarrollo de la Ingeniería sustentable, buscando incrementar la eficiencia energética y el aprovechamiento de las energías renovables dentro y fuera de

México. Brinda soluciones prácticas para desarrollar el perfecto equilibrio entre una inversión inteligente y perdurable, impulsando proyectos amigables con el medio ambiente.

La empresa emplea fuentes alternas principalmente la del sol y el viento. La calidad de instalación de la empresa garantiza el cumplimiento del retorno de inversión pronosticado y, además, las instalaciones están respaldadas por más de 8 años de experiencia en el ramo energético y en cada una de ellas se esfuerza para desarrollar un equilibrio técnico y estético. Los servicios que ofrece esta empresa son los siguientes:

Servicios

- Diseño
- Consultoría
- Capacitación
- Instalación
- Gestión
- Mantenimiento

## **2.3 Problemáticas**

### **2.3.1 Problemática de la empresa A**

Diferentes empresas se encargaron de la remodelación del autódromo Hermanos Rodríguez. El personal estará comenzando a laborar en las instalaciones del Autódromo por etapas, la primera aproximadamente un mes y la segunda dos semanas antes del evento.

El objetivo de este proyecto será controlar la presencia del personal de servicios que estará trabajando antes y durante la carrera, 8,000 personas aproximadamente.

Se desea tener el control de personal de servicio en la segunda etapa, cerca de 900 trabajadores cumplieron largas jornadas de trabajo diariamente por lo que el flujo de personal en las entradas del autódromo fue abundante a todas las horas del día. Para la empresa A fue necesario tener un control de administración del tiempo de trabajo y de todos los eventos asociados al mismo en sus trabajadores contratados en la segunda etapa, para ello contrataron a la empresa B.

### 2.3.2 Problemática de las empresas B y C

La problemática que tuvieron la empresa A y la empresa C que son empresas socias fue la ausencia de alimentación eléctrica en alguno de los sitios donde se contemplaría la instalación de sus equipos. La empresa D fue contratada por dichas empresas para la implementación de energía fotovoltaica ya que estos equipos se instalarían en lugares al aire libre en la periferia del autódromo Hermanos Rodríguez. Donde la irradiancia solar se presenta la mayor parte de las horas solares diarias en las zonas de instalación de los equipos propuestos. Además de que los equipos trabajan en corriente directa a 12 V, por lo que no es necesario la implementación de un inversor para transformar la corriente directa en corriente alterna.

La empresa B junto con un sistema de chequeo de personal de la empresa C llamado Libera 300 (Figura 2.2) se encargaron de solucionar el problema con los trabajadores de la empresa A. Mediante la huella digital se tiene control exacto de las asistencias de su personal, del manejo de sus turnos, tiempo extra, y vacaciones, tiene la capacidad de entregar la información requerida con precisión y oportunidad.



*Figura 2.2 Equipo de control de personal Libera 300 (InfoBlock, 2013)*

El acceso de los trabajadores contratados por la empresa A en este evento fue por gran parte de la periferia del Autódromo Hermanos Rodríguez, por lo que se necesitaba tener un lector de huella para por lo menos 6 accesos a este.

### **2.3.3 Problemática de la empresa D**

La problemática de la empresa D fue el diseño ingenieril del sistema fotovoltaico aislado y el diseño para el montaje de los componentes del sistema fotovoltaico, así como su montaje y fijación de estos con las características que las empresas B y C requerían.

En este diseño se requerirá un panel solar que alimente a la batería lo suficiente para que la alimentación del sistema Libera 300 dure 24 horas y 7 días a la semana en las peores condiciones climáticas. La batería deberá tener la suficiente capacidad en Amperes-hora de capacidad para almacenar la energía suficiente y de sobra para alimentar al sistema a 12 Volts.

Es necesario un controlador para una carga de batería adecuada sin dañarla con una sobrecarga y para inyectar con un voltaje adecuado. Para este controlador se necesitará protecciones eléctricas todo esto montado en un gabinete con las dimensiones y características suficientes para éstos.

## **2.4 Localización geográfica de los sistemas fotovoltaicos aislados**

Se colocarán 7 sistemas fotovoltaicos aislados en 6 puertas del Autódromo Hermanos Rodríguez, donde dos de éstos también tendrán acceso al suministro eléctrico de CFE y el sistema solar funcionara como un respaldo eléctrico con generación fotovoltaica en este caso. Los sitios donde se instalarán dichos sistemas fueron la puerta 7, 8, 9A, 9, dos sistemas fotovoltaicos (de respaldo de energía) en la puerta 3 del palacio de los deportes y en la puerta 5 del Autódromo Hermanos Rodríguez. En la Figura 2.3 se muestra la localización de los sistemas de chequeo de personal.



Figura 2.3 Localización de sistemas fotovoltaicos aislados y de respaldo (f1aldia, 2015b)

### 2.4.1 Características de la carga del sistema fotovoltaico

Las cargas de este sistema se separan en el sistema de chequeo Libera 300 y el Modem TP Link TL-MR3220 donde se conectó una BAM USB de internet móvil para proporcionar de internet a los equipos de Libera 300.

Estas cargas estarán en funcionamiento en este proyecto 24 horas del día durante dos semanas.

#### Libera 300

Es la carga crítica del sistema, su función es ser la interfaz con el usuario para tener el control de personal que laborará en el evento del Gran Premio de México.

Las características eléctricas del dispositivo Libera 300 son:

- Voltaje de entrada: 12 volts de corriente directa (VDC)/.85 A
- Potencia promedio: 10 watts

Las características eléctricas del dispositivo Libera 300 en stand-by son:

- Voltaje de entrada: 12 volts de corriente directa (VDC)/.5 A
- Potencia promedio: 6 watts

Regulador de voltaje y batería de respaldo para 2 horas Cumple con la Norma Mexicana NOM de dispositivos de control electrónicos de bajo voltaje.

### **Modem TP Link TL-MR3220**

Su función es de proveer de internet a los equipos Libera 300 mediante la BAM USB

Las características eléctricas del dispositivo MR3220 son:

- Voltaje de entrada: 12 volts de corriente directa (VCD)/0.6 A
- Potencia promedio:8 watts

Bajo los estándares Inalámbricos IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b.

## **2.5 Diagrama de metodología**

En la Figura 2.4 se muestra la metodología que se siguió para el diseño de la solución del problema del sistema fotovoltaico aislado y de respaldo para la generación de la energía eléctrica en corriente directa requerida para el buen funcionamiento del sistema.

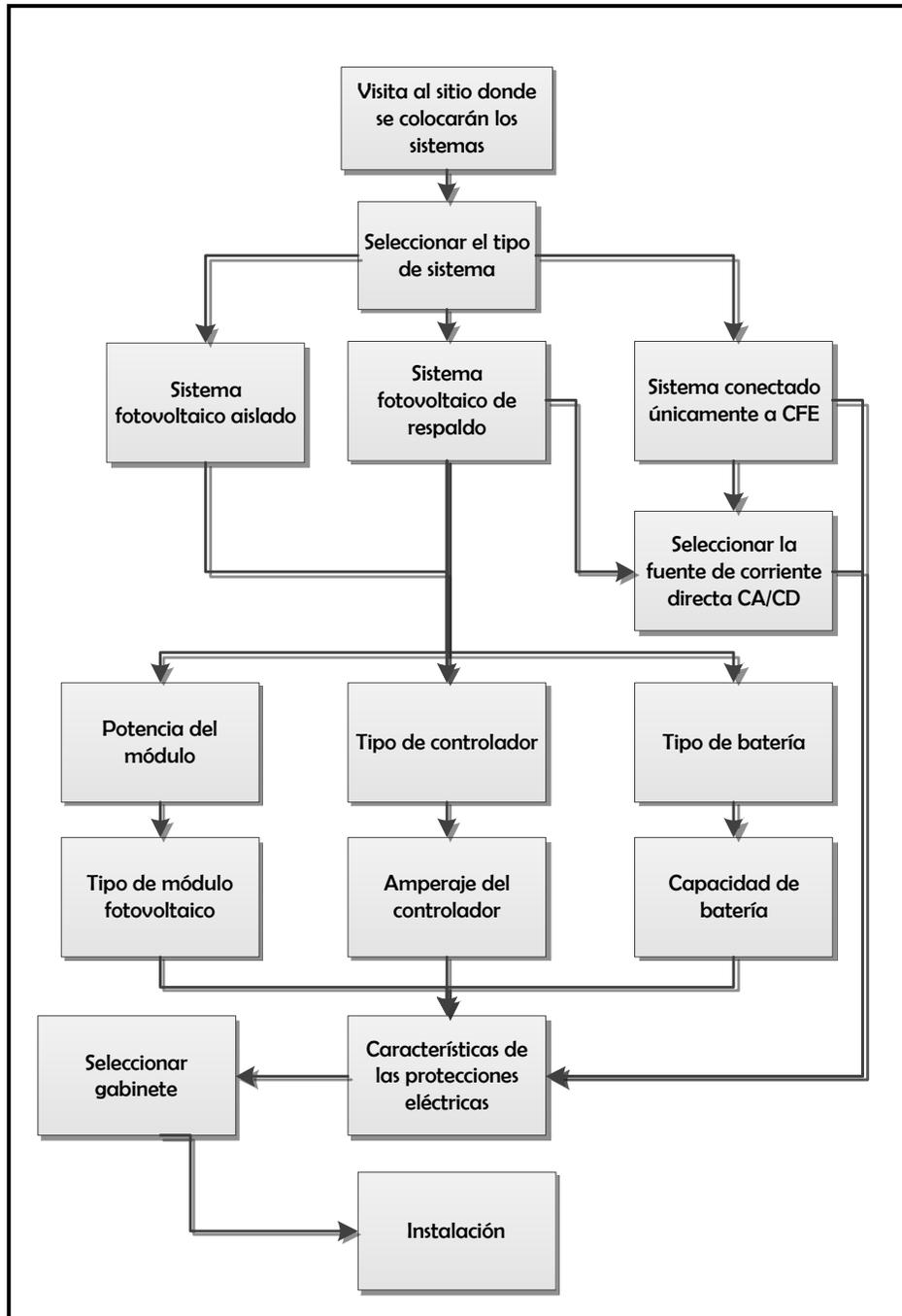


Figura 2.4 Diagrama de flujo con metodología a seguir en el proyecto

# CAPÍTULO 3. RESULTADOS

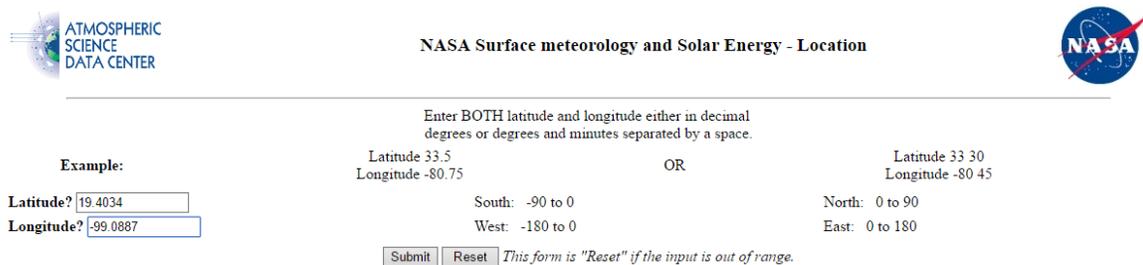
## 3.1 Condiciones iniciales del caso de estudio

Para hacer un direccionamiento de un sistema fotovoltaico de cualquier tipo se requiere conocer tanto características geográficas de donde se instalarán los sistemas como las características eléctricas y tiempo de funcionamiento de la carga.

### 3.1.1 Localización geográfica de los sistemas fotovoltaicos

Se colocarán 7 sistemas solares aislados en 5 puertas del autódromo hermanos Rodríguez donde dos de estos, también tendrán acceso al suministro eléctrico de CFE y el sistema solar funcionara como un respaldo eléctrico con generación fotovoltaica en este caso. Los sitios donde se instalarán dichos sistemas fueron la puerta 6, 9, 11, 13, 14 y en la puerta 1 del Palacio de los deportes. En la Figura 2.3 se muestra la localización de los sistemas de chequeo de personal. Estos se encuentran libres de sombra en el lugar de instalación.

Para este caso se usaron las coordenadas del Autódromo Hermanos Rodríguez proporcionadas por google Earth para identificar en la base meteorológica y energía solar de la NASA (*Eosweb, 2018*). Las coordenadas del sitio son: latitud 19.4034, longitud -99.0887, estos datos se ingresaron en la página de la NASA (*Eosweb, 2018*).



ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER

NASA Surface meteorology and Solar Energy - Location

Enter BOTH latitude and longitude either in decimal degrees or degrees and minutes separated by a space.

Example: Latitude 33.5 Longitude -80.75 OR Latitude 33 30 Longitude -80 45

Latitude?

Longitude?

South: -90 to 0 North: 0 to 90

West: -180 to 0 East: 0 to 180

This form is "Reset" if the input is out of range.

Figura 3.1 Portal de la NASA meteorológico y de energía solar respecto a una locación (*Eosweb, 2018*)

Los dos parámetros buscados fueron:

- Parámetros de inclinación para paneles solares -> Radiación en una superficie inclinada ecuatorial-
- Meteorología (temperatura) -> temperatura del aire a 10m

De la primera sección de la Tabla 3.1 lo que fue importante es el renglón donde la inclinación corresponda con la latitud del lugar. En este caso, la inclinación será 19°. Notar que el renglón inmediatamente superior corresponde al ángulo de inclinación igual a la latitud - 15° y el renglón inmediatamente inferior a la latitud +15°. Recordar que, para sistemas fotovoltaicos con soporte fijo, el ángulo óptimo de inclinación para todo el año es la latitud local. Si se quiere maximizar la producción en invierno (hemisferio norte), el ángulo de inclinación Entonces deberá ser la latitud + 15°, pero si por el contrario, se quiere maximizar la producción en verano (hemisferio norte), se deberá tomar considerar latitud -15°.

En la segunda sección de la Tabla 3.1 lo que fue importante es el valor del mes más caluroso y más frío del año. Conocer la temperatura ambiente del lugar donde será instalado el sistema fotovoltaico es muy importante porque es un factor que afecta la eficiencia del sistema.

*Tabla 3.1 Datos meteorológicos y de energía solar respecto a locación*

Lat 19.403 Lon -99.089	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Inclinación 0	4.74	5.68	6.47	6.38	6.21	5.57	5.48	5.31	4.88	4.87	4.77	4.34	5.39
Inclinación 4	5	5.9	6.61	6.41	6.16	5.61	5.51	5.31	4.93	5	5	4.57	5.5
<b>Inclinación 19</b>	5.78	6.51	6.88	6.29	5.79	5.59	5.46	5.14	<b>4.97</b>	5.33	5.68	5.29	5.72
Inclinación 34	6.23	6.76	6.77	5.86	5.14	5.3	5.15	4.73	4.77	5.38	6.05	5.71	5.65
Inclinación 90	4.85	4.5	3.47	2.18	1.75	2.43	2.29	1.83	2.35	3.34	4.52	4.47	3.16

Lat 19.403 Lon -99.089	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Mínimo	7.42	8.47	10.3	12.8	14.2	14.6	13.7	13.6	13.7	11.9	9.86	8.03	11.5
Máximo	18.8	20.7	23.2	24.8	<b>24.9</b>	23	22.7	23	21.6	20.5	19.8	18.9	21.8

## 3.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Ya sabiendo las características que requiere el sistema fotovoltaico respecto a su localización y características eléctricas de las cargas se comenzó a dimensionar el sistema fotovoltaico. El diagrama unifilar ayudará a ver más claramente la conexión de los equipos requeridos. En la Figura 3.2 se representa el sistema que funciona como sistema de respaldo con generación fotovoltaica.

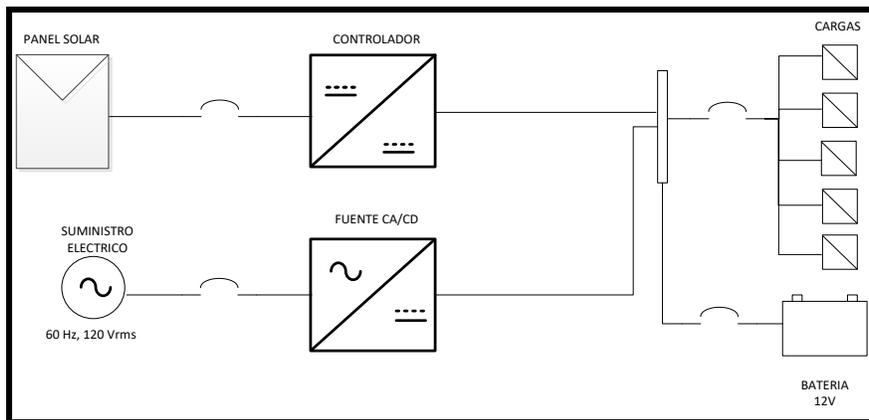


Figura 3.2 Diagrama del sistema de respaldo de energía

En la Figura 3.3 se representa el sistema que funciona como sistema fotovoltaico aislado. Este sistema ya no cuenta con un suministro eléctrico en corriente alterna por lo tanto se eliminó la fuente CA/CD.

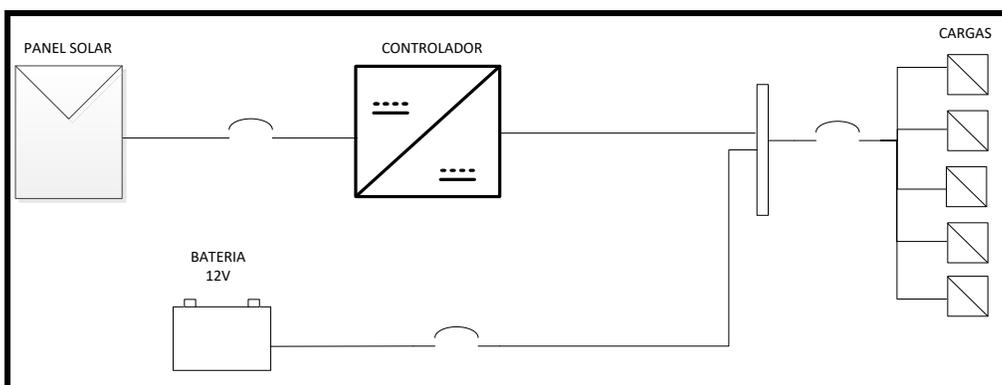


Figura 3.3 Diagrama del sistema fotovoltaico aislado

### 3.2.1 Requerimiento diario de energía en W.h

Por ser un sistema fotovoltaico aislado es de suma importancia conocer los datos precisos de todas las cargas que serán alimentadas por el sistema (Tabla 3.2). Es de vital importancia conocer las horas que se utilizan las cargas durante el día para tener el consumo en W.h de lo que se va a alimentar con el sistema fotovoltaico aislado. En este caso son dos cargas las que se alimentarán con el sistema solar aislado y su consumo diario es de 960 W.h.

Tabla 3.2 Características eléctricas y horas de operación diarias de las cargas eléctricas

CARGA	Voltaje en CD (V)	Potencia nominal (W)	Corriente (A)	Cantidad de cargas	Carga total (W)	Horas de operación diarias (h)	Consumo diario (Wh)	Amp-h
Libera 300	12	10	0.8335	4	40.08	4	160.32	13.6
Libera 300 en Stand-By	12	6	0.33	4	15.84	20	316.8	26.4
Modem TP Link TL-MR3220	12	8	0.66	1	7.92	24	190.08	15.84
<b>Total</b>							<b>667.2</b>	<b>55.6</b>

Si la carga no se usa diario, se deberá ponderar la energía consumida al día ( $E_c$ ) de acuerdo con el número de días de uso. Por ejemplo, para una cabaña que se usa sólo fines de semana (2 días a la semana) se tiene que:

$$\text{Energía consumida ponderada} = E_c * (2/7) \dots \dots (3 - 1)$$

Para este caso, la carga se utilizó 7 días de la semana por lo que no es necesario hacer este cálculo.

### 3.2.2 Componentes del sistema fotovoltaico aislado

Los componentes del sistema fotovoltaico aislado son:

- Módulo fotovoltaico
- Controlador
- Batería
- Inversor (en caso de tener cargas en CA)

### 3.2.3 Cálculo de eficiencia total del sistema

En la relación anterior, la energía consumida debe expresarse como un valor de consumo promedio al día, mientras que la energía generada se deberá de estimar al considerar las horas pico promedio diarias de la localidad. Existen varios factores que el dimensionador debe conocer para poder estimar las energías a generar y a consumir. Dentro de éstos están los geográficos, tecnológicos y energéticos.

Los factores geográficos influyen en el recurso solar y el desempeño diario del arreglo FV, mientras que los energéticos afectan directamente la estimación de la energía a consumir. Hay que tener presente las eficiencias de todos los elementos involucrados, desde que se genera la electricidad hasta que se consume. Dentro de los factores tecnológicos está el conocimiento de la tecnología que se usará tanto para generar la energía como para acondicionarla (seguidores de máxima potencia, controladores de carga, inversores).

Teniendo eso presente es fácil llegar a escribir una relación algebraica, partiendo del balance de energía, entre la energía generada  $E_G$  por el arreglo FV y la consumida  $E_C$  por las cargas y todos los demás elementos de acondicionamiento de energía, ambas en unidades de watt-hora. Así se establece que:

$$E_G = E_C / \eta_T \quad . . . . . (3 - 2)$$

Para calcular la eficiencia global del sistema se tomó en cuenta ciertos factores bastante importantes para un cálculo de rendimiento del sistema más real:

- ❖ Eficiencia por efecto de la temperatura  $\eta_{TEM}$  de
- ❖ Eficiencia del arreglo fotovoltaico  $\eta_{AFV}$
- ❖ Eficiencia del controlador  $\eta_{CON}$
- ❖ Eficiencia del banco de baterías  $\eta_{BAT}$ 
  - Dato que se calcula que en promedio es 85%.

#### 3.2.3.1 Eficiencia por efecto de temperatura $\eta_{TEM}$

Es el resultado de un análisis del efecto de la temperatura en el módulo fotovoltaico con las condiciones ambientales del sitio. La temperatura es uno de los factores más importantes

que repercuten en las características eléctricas de un módulo FV. Los efectos son los siguientes:

- a) El voltaje cae
- b) La corriente aumenta
- c) La potencia cae y por tanto la eficiencia disminuye

Matemáticamente estos efectos se expresan mediante los llamados coeficientes de temperatura (Tabla 3.3):

- $\alpha$  para corriente
- $\beta$  para voltaje
- $\gamma$  para potencia

*Tabla 3.3 Coeficientes de temperatura del módulo fotovoltaico obtenidos de la hoja de datos del módulo*

Coeficiente	Valor en %/°C
Corriente de corto circuito $I_{sc}(\alpha)$	0.062
Voltaje de circuito abierto $V_{oc}(\beta_{V_{oc}})$	-0.33
Voltaje máximo $V_M(\beta_{V_M})$	-0.45
Potencia máxima $V_M(\gamma)$	-0.45

Las celdas fotovoltaicas son caracterizadas en los laboratorios a una temperatura ambiente de 20°C. Sin embargo, la temperatura de una celda en funcionamiento será mucho mayor a la temperatura del ambiente en el que se encuentra. Esto se ve reflejado en la hoja de datos del módulo bajo los parámetros eléctricos en condiciones de temperatura nominal de la celda en funcionamiento (TNCF que por sus siglas en inglés es NOCT, Nominal Operating Cell Temperature).

Para estimar la temperatura a la que va a trabajar una celda FV en campo, es necesario saber la temperatura ambiente máxima promedio mensual del mes con insolación más bajo en la localización geográfica en donde será instalado el sistema FV. En la Tabla 3.1 se puede notar que el mes con insolación más bajo para una inclinación igual a 19 grados es de 4.97 en el mes de septiembre por lo tanto la temperatura que se contemplará será la máxima en este mes. Con este dato de temperatura ambiente máxima en el sitio se pudo calcular la temperatura de la célula en el sitio.

Cuando las células se colocan en módulos, se cubren a menudo con revestimiento anti reflectante y con un laminado especial para evitar la degradación de la célula. La carcasa del módulo es generalmente de metal, que proporciona fuerza física para el módulo. Cuando

las células fotovoltaicas están colocadas en el módulo, pueden caracterizarse por tener una temperatura de la célula de funcionamiento nominal (por sus NOCT).

El NOCT es la temperatura de las células y llega cuando funcionan a circuito abierto a una temperatura ambiente de 20 °C a 1.5 AM condiciones de irradiancia,  $G = 0.8 \text{ kW/m}^2$  y una velocidad del viento de menos de 1 m/s . Para las variaciones de la temperatura ambiente e irradiación, la temperatura de la célula puede estimarse con bastante precisión con la siguiente ecuación:

$$T_{\text{célula}} = T_{\text{ambiente}} + \left( \frac{\text{NOCT}-20}{0.8} \right) G = 55.35^{\circ}\text{C} \quad . . . . . (3 - 3)$$

Donde:

$$G = 1 \text{ kW/m}^2$$

$$\text{NOCT} = 45^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ambiente}} = 21.6^{\circ}\text{C}$$

Los efectos combinados de la irradiancia y la temperatura ambiente en el rendimiento celular merecen ser consideradas cuidadosamente. Dado que la potencia de la célula baja con el aumento de temperatura en la NOCT.

Una vez estimada la temperatura de celda en sitio, se calculó el diferencial de temperatura, es decir, a cuántos grados centígrados arriba o abajo de las condiciones NOCT trabajarán los módulos FV. Este dato permitirá calcular los parámetros eléctricos (VM, IM y PM) más cercanos a la realidad donde el que se tomó más en cuenta para la eficiencia por efecto de temperatura será la potencia en sitio.

La diferencia de temperatura se calcula restando la temperatura de las pruebas en condiciones estándar (STC) a la temperatura ambiente antes calculada.

$$\text{Diferencia de temperatura} = T_{\text{célula}} - T_{\text{STC}} = 30.35^{\circ}\text{C} \quad . . . . . (3 - 4)$$

Donde:

$$T_{\text{célula}} = 55.35^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{STC}} = 25^{\circ}\text{C}$$

Se calculó la potencia del módulo en el sitio. El porcentaje de caída por efecto de temperatura  $P_M (\gamma)$  del módulo FV de acuerdo a las STC (*condiciones estándar de prueba*) lo provee la hoja de datos del módulo FV que proporciona el fabricante.

$$P_M \text{ en sitio} = P_M * \left( 1 + \frac{(P_M (\gamma) * \text{Diferencia de temperatura})}{100} \right) = 215.856 \text{ W} \quad . . . . . (3 - 4)$$

Donde:

$$P_M (\gamma) = -0.45 \% / ^\circ C$$

$$\text{Diferencia de temperatura} = 30.35^\circ C$$

Sabiendo la potencia del módulo en STC y la potencia del módulo en el sitio se puede calcular el porcentaje de pérdidas por efecto térmico que ayuda a hacer un mejor dimensionamiento del proyecto.

$$\eta_{TEM} = \frac{P_M \text{ en sitio}}{P_M \text{ en STC}} * 100 = 86.34\% \quad . . . . . (3 - 5)$$

### 3.2.3.2 Eficiencia del módulo fotovoltaico

Se toma generalmente de la hoja de datos del fabricante del módulo FV seleccionado y se toma la eficiencia del módulo fotovoltaico ( $\eta_{AFV}$ ) a 10 años para un sistema aislado la cual es una eficiencia del 90% para este módulo. En este caso se podría haber tomado una eficiencia más cercana al 100% dado que el módulo solar se utilizará esporádicamente, solo los días de esté y eventos futuros.

### 3.2.3.3 Eficiencia del controlador

La eficiencia del controlador de carga ( $\eta_{CON}$ ) se toma de la hoja de datos del fabricante por lo general, el cual es una eficiencia de 97% para este modelo de controlador.

### 3.2.4 Selección de componentes

#### 3.2.4.1 Selección del módulo fotovoltaico

Se seleccionó un módulo fotovoltaico de 250 W marca Solartec por tres razones:

1. La potencia del panel es la necesaria para cubrir el consumo de la carga contemplada.
2. La garantía se aplica dentro del país y es más fácil aplicarla.
3. El precio del módulo es bajo.

La hoja de datos del módulo policristalino de 250– PV (Tabla 3.4) ayuda a conocer los parámetros eléctricos, mecánicos y térmicos del módulo fotovoltaico para poder conocer y calcular los efectos térmicos y la eficiencia a 10 años.

Tabla 3.4 Hoja de datos del módulo fotovoltaico (Solartec, 2015b).

Modelo	S60PC-240		S60PC-245		S60PC-250		S60PC-255		S60PC-260	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Condiciones de medición										
Voltaje de circuito abierto (Voc)	35.70 V	35.64 V	36.10 V	36.04 V	36.30 V	36.24 V	36.40 V	36.34 V	36.70 V	36.64 V
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmpp)	30.00 V	29.24 V	30.40 V	30.34 V	30.60 V	30.54 V	30.70 V	30.64 V	30.90 V	30.84 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8.57 A	6.87 A	8.63 A	6.92 A	8.71 A	6.98 A	8.80 A	7.05 A	8.89 A	7.13 A
Corriente en el punto de máxima potencia (Impp)	8.00 A	6.41 A	8.05 A	6.45 A	8.17 A	6.55 A	8.30 A	6.65A	8.42 A	6.75 A
Potencia máxima (Pmax)	240 W	191 W	245 W	195 W	250 W	200 W	255 W	203 W	260 W	208 W
Eficiencia del módulo	14.78%		15.08%		15.39%		15.70%		16.01%	
<b>Coefficiente de Temperatura</b>										
de Isc ( $\alpha$ )	+0.01% / °C		de Voc ( $\beta$ )	-0.31% / °C			de Pmax ( $\gamma$ )	-0.50% / °C		

#### 3.2.4.2 Selección de controlador de carga

El controlador de carga del sistema fotovoltaico aislado seleccionado fue de 20 amperes con tecnología seguidor de punto de máxima potencia (por sus siglas en ingles es MPPT, Maximum Power Point Traker). Éste se seleccionó por las siguientes razones:

1. El controlador con tecnología MPPT aprovecha en todo momento la generación de los módulos Fotovoltaicos a comparación de la tecnología de modulación por ancho de pulsos (por sus siglas en ingles es PWM, Pulse-Width Modulation) que necesita ciertos parámetros de voltaje para cargar las baterías teniendo por lo tanto cargas intermitentes en la batería y menor aprovechamiento de la generación fotovoltaica.

2. Acuerdos con el proveedor y equipo en existencia en el momento.
3. Parámetros físicos, mecánicos, eléctricos y térmicos con características adecuadas para el sistema fotovoltaico aislado.

La hoja de datos del controlador MPPT 20 A 100 VCD (Tabla 3.5) ayudará a conocer el parámetro eléctrico y físico que asegura que el dispositivo tiene las características necesarias para el sistema y también para conocer la eficiencia del controlador que tendrá un impacto en la eficiencia total del sistema.

*Tabla 3.5 Hoja de datos del controlador (Epsolar, 2013)*

Descripción	Parámetros
Voltaje Nominal	12VDC / 24VDC Automático
Corriente máxima de descarga	20 A
Voltaje máximo de baterías	32 V
Voltaje máximo de módulos	150VDC
Potencia máxima de entrada	12V / 585W 24V / 5170W
Autoconsumo	<10mA (24V)
Caída del voltaje máxima en carga	≤0.26V
Caída del voltaje máxima en descarga	≤0.15V
Comunicación	TTL232 / 8pin RJ45

### 3.2.4.3 Selección de batería

Se seleccionaron dos baterías de 12 VCD con una capacidad de 40 Amperes-hora @ 20 horas de plomo -ácido por las siguientes razones:

1. El voltaje de la batería es el mismo que el requerido por las cargas a alimentar.
2. La capacidad de las dos baterías conectadas en paralelo a 20 horas es la necesaria para alimentar la carga durante las horas requeridas siendo un banco de 80 A.h.
3. La tecnología de plomo-ácido es más barata y al 100% de profundidad de descarga garantiza 260 ciclos de descarga por lo que, si se descarga una vez al día por lo menos durará 260 días garantizando que esta batería durará sin problemas las dos semanas.
4. Es muy fácil de conseguir en el mercado.
5. La hoja de datos de la batería 12 VCD, 40A-h (Tabla 3.6) ayudará a conocer el parámetro eléctrico y físico que asegura que el dispositivo tiene las características necesarias para el sistema.

Tabla 3.6 Hoja de datos de batería (Mouser,2018)

Fabricante:	CSB
Categoría del producto:	Batería de ácido de plomo sellado
Restricciones de envío:	
RoHS:	No aplicable
Voltaje de salida:	12 V
Capacidad:	40 Ah
Estilo de terminación:	Pestaña
Aplicación:	Equipos de cámaras
Química:	Plomo ácido
Altura:	168.5 mm
Recargable / No recargable:	Recargable
Tipo:	Sellada
Ancho:	165 mm
Marca:	CSB
Tipo de producto:	Batería de plomo ácido
Cantidad de empaque de fábrica:	1
Subcategoría:	Batería
Peso de la unidad:	12.63 kg

#### 3.2.4.4 Selección de fuente de corriente alterna/corriente directa

La fuente de CA/CD modelo VOF-180-12 (Figura 3.4) se utilizará en el sistema para proveer de energía eléctrica al sistema en caso de tener una toma de corriente cercana y así tener dos opciones de alimentación del sistema, la proveída del panel solar y baterías y la proveída por CFE ya que es muy importante que esté en funcionamiento las 24 horas del día.



Figura 3.4 Fuente de CA/CD modelo VOF-180-12 (Mouser,2018)

Esta fuente fue sugerida y proveída por la empresa B, la hoja de datos ayuda a conocer el parámetro eléctrico que asegura que el dispositivo tiene las características necesarias para el sistema.

Tabla 3.7 Datos eléctricos de la fuente AC/DC (Mouser,2018)

Potencia de salida:	180 W
Voltaje de entrada:	80 VAC to 264 VAC
Número de salidas:	1 Salida
Voltaje de salida-Canal 1:	12 VDC
Corriente de salida-Canal 1:	15 A
Longitud:	101.6 mm
Ancho:	50.8 mm
Altura:	19.05 mm
Industria:	Comercial
Serie:	<a href="#">VOF-180</a>
Armazón abierto / Blindado:	Marco cerrado
Empaquetado:	Si
Producto:	AC/DC Fuente de poder
Marca:	CUI
Estilo de montaje:	Chassis
Regulación de carga:	Regulada
Temperatura de trabajo máxima:	+ 70 C
Temperatura de trabajo mínima:	- 40 C
Tipo de producto:	AC-DC
<a href="#">Cantidad de empaque de fábrica:</a>	72
Subcategoría:	AC-DC
Peso de la unidad:	200 g

### 3.2.4.5 Selección de protecciones eléctricas

Las protecciones eléctricas como interruptores termomagnéticos, interruptores de falla a tierra y fusibles o combinación de ellos tienen varios propósitos fundamentales como proteger los conductores y el equipo instalado contra efectos excesivos de temperatura, proteger de una sobre corriente (corriente eléctrica en exceso causada por una sobre carga, un corto circuito o una falla a tierra) o interrumpir el flujo de corriente eléctrica en caso de una falla en el sistema eléctrico para proteger al personal y pueda manipular el sistema sin riesgo de un choque eléctrico.

En este caso, se utilizará interruptores termomagnéticos para proteger los dispositivos de una sobrecorriente y tener la opción de interrumpir el flujo de corriente, se calcula el valor de la corriente de protección:

$$I_{Protección} = 1.25 * I_{Nominal} \dots \dots (3 - 6)$$

Donde:

$I_{Protección}$  = Valor de la protección en amperes

$I_{Nominal}$  = Corriente de la carga del dispositivo a proteger

La Tabla 3.8 muestra el cálculo para obtener los valores de los interruptores termomagnéticos (ITM) seleccionados para el sistema.

*Tabla 3.8 Cálculo de protecciones eléctricas comerciales*

Columna1	POTENCIA W	VOLTAJE V	CORRIENTE A	ITM CALCULADO	ITM COMERCIAL SUGERIDA
MÓDULO FOTOVOLTAICO	250	36.3	8.71	10.888	13
CONTROLADOR	260	12	20	25	25
CARGAS ELÉCTRICAS	48	12	4	5	6
FUENTE CA/CD	180	127	1.417	1.772	2

### 3.2.4.6 Selección de gabinete

El gabinete que se seleccionó fue de la marca ABB IP65 modelo M128120020 y platina atornillable. Este gabinete seleccionó por sus dimensiones, su protección para intemperie, su fabricación en plástico, su tapa sin puerta y su calidad.

Las dimensiones del gabinete se muestran en la Tabla 3.9.

*Tabla 3.9 Dimensiones de gabinete propuesto*

Dimensiones	Alto (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )
Gabinete	27.5	22	14	605	8,470

Para este sistema se utilizarán dos gabinetes del mismo modelo. En la Tabla 3.10 se colocarán los componentes y dimensiones que tendrá cada gabinete.

Tabla 3.10 Dimensiones de los dispositivos del gabinete 1 y 2

Gabinete 1	Alto (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Volumen (mm <sup>3</sup> )
Controlador	16.8	9.7	6.8	162.96	1,108
ITM PLS6-C6	0.805	2	7.05	1.61	11
ITM PLS6-C10	0.805	2	7.05	1.61	11
ITM PLS6-C20	0.805	2	7.05	1.61	11
Bloque repartidor 2 POLOS RM- 100/7	6.3	3.8	6.2	23.94	148
			Total	191.73	1,291

Gabinete2	Alto (cm <sup>2</sup> )	Ancho (cm)	Profundidad (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )
Router	20.4	13.8	4.4	281.52	1,239
BAM	8	2	1	16	16
Fuente de CA/CD	12	5	2.5	60	150
ITM PLS6-C3	8.05	2	7.05	16.1	114
Bloque repartidor 2 POLOS RM- 100/7	6	3.8	6.2	22.8	141
			TOTAL	396.42	1,660

Conociendo el área total de todos los dispositivos que se colocarán en cada uno de los dos gabinetes, se puede saber si el gabinete seleccionado es del tamaño correcto para la instalación de estos y tener espacio suficiente para el cableado. En este caso el área total ocupado por los dispositivos es del 38% en el gabinete 1 y de 65% ocupado en el gabinete 2, no se supera el  $\pm 15\%$  del 50% de ocupación, por lo tanto, hay espacio suficiente para manipular en el armado de los gabinetes.

### 3.3 Instalación de los sistemas fotovoltaicos

Después de terminar el diseño y el prototipo de la estructura metálica que serviría para la instalación del sistema fotovoltaico y los sistemas de control de personal se comenzó la instalación de los 7 sistemas dentro y a los alrededores del Autódromo Hermano Rodríguez.

En la Figura 3.5 se muestra del 1 a 7 el orden en que se fueron instalando los 7 sistemas.



Figura 3.5 Localización y orden de instalación de los sistemas aislados y de respaldo

#### 3.3.1 Formas de instalación

Los sistemas se dividieron en dos tipos, sistemas de respaldo y sistemas aislado. Esto dependió de si había una toma eléctrica cercana al sitio de instalación o no.

### 3.3.1.1 Sistema de respaldo

Se optó por hacer sistemas de respaldo en los sitios de instalación mencionados donde se tuviera una toma de energía eléctrica cercana para tener redundancia en la alimentación eléctrica para los sistemas de control de personal y poder asegurar su funcionamiento con las dos opciones, sistema fotovoltaico aislado y fuente de corriente alterna/corriente directa.

En estos sistemas de respaldo la principal fuente de energía fue de la fuente de corriente alterna /corriente directa conectado directamente al bus de cargas y en caso de que llegara a fallar la red eléctrica entraría en su lugar el sistema aislado por medio del controlador de carga a cargar nuevamente las baterías con energía solar. Los sistemas de respaldo se instalaron en los puntos 4, 5 y 6 de la Figura 3.5.

En la Figura 3.6 se observa la fuente de CA/CD en la parte inferior del Modem TP Link TL-MR3220 la cual alimenta a las cargas y a la batería.



*Figura 3.6 Gabinete con fuente de CA/CD*

### 3.3.1.2 Sistema aislado

Los sistemas aislados se colocaron en los puntos 1, 2, 3 y 7 de la Figura 3.5. Estos sistemas se instalaron sin la fuente de corriente alterna/corriente directa y los interruptores electromagnéticos respectivos a esta. Se colocaron los módulos solares con inclinación al sur a 15° cuidando que el sitio de instalación no proyectara sombras sobre el módulo solar

durante el transcurso del día, en estos casos las bases de la estructura se colocaron sobre tierra y se fijaron con estacas metálicas (Figura 3.7) en los cuatro puntos de las bases cuadradas de los 4 sistemas de control de personal y en la base central donde se colocaron las baterías, gabinetes y módulo fotovoltaico.



*Figura 3.7 Sistema aislado de control de personal*

El día siguiente a su instalación, se colocó un aparato de monitoreo de voltaje en las terminales del polo positivo y negativo del bus de baterías para ver la carga y descarga de ella durante 3 días.

En la Figura 3.8 se puede ver el periodo de carga, flotación y descarga de la batería. Este rango se encuentra entre 11 y 15 volts. Un dato importante en los datos rescatados es el mínimo valor de voltaje que se obtuvo durante los 3 días. Se puede ver que es 13.3 VCD solo por 0.2 VCD por debajo del valor de voltaje de flotación de la ficha técnica de la batería. También se puede ver que el voltaje máximo fue de 14.45 VCD que es el voltaje adecuado de carga para este modelo de batería. Esto lo regula el controlador de carga.



Figura 3.8 Medición de voltaje respecto al tiempo de batería en un sistema aislado

### 3.4 Desinstalación de los sistemas fotovoltaicos

Se llevó a cabo la desinstalación el día siguiente al evento del Gran Premio de México sin complicaciones, se desconectó, se desarmó y se guardó todo en las camionetas para el traslado a bodega de la empresa B con precaución de no maltratar ningún equipo excepto los módulos fotovoltaicos. En bodega se guardó para un futuro evento donde contraten a la empresa B de nuevo y se tenga la necesidad de utilizar este tipo de sistema aislado de nuevo.

Los módulos fotovoltaicos se donaron a la empresa D para su utilización en instalaciones fotovoltaicas interconectadas a la red eléctrica.

## **CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES**

Los dispositivos seleccionados tanto como módulo, baterías y controlador fueron los correctos para el buen funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos. Gracias a la logística llevada a cabo, se pudo concretar cada una de las tareas programadas en tiempo y forma. La empresa D solo tuvo un atraso ya que la empresa que la subcontrato no compró el controlador adecuado que se le solicitó. Asimismo, la empresa B tuvo problemas con el anclaje de la estructura en tierra ya que las anclas se compraron eran más lisas y tendían a salirse por no tener suficiente coeficiente de fricción entre el ancla y la tierra así que tuvieron que mandar a fabricar nuevas anclas con más estrías para aumentar el agarre entre la tierra y la ancla. Esto demoró a la empresa D para poder hacer las conexiones entre módulos fotovoltaicos, controlador, baterías y cargas.

Al final se terminó el trabajo con éxito de parte de la empresa D ya que la otra empresa tuvo problemas con su equipo de control de personal, pero también lograron resolverlo con éxito y en tiempo.

## Bibliografía

- Alcor, E. 2008. Instalaciones solares fotovoltaicas. Editorial Progensa. Pág. 339. Madrid, España.
- Bullis, K. 2006. Electricidad solar a gran escala y económica. *Technology Review*. 43: 38-43.
- Eosweb NASA. 2018. Portal de la NASA meteorológico y de energía solar respecto a una locación. Publicado por NASA prediction of worldwide energy resources. Virginia, E.E.U.U.
- Epsolar. 2013. Hoja de datos del controlador Trecer AN(10A-40A). Publicación de Epsolar technology CO. Huizhou, China.
- F1aldia. 2015a. Mapa de gradas y pista modificada para el gran premio de México 2015. Publicación de F1aldia. Madrid, España.
- F1aldia 2015b. Localización de sistemas fotovoltaicos aislados y de respaldo. Publicación de F1aldia. Madrid, España.
- CFE, 2008. Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico interconectado a la red. Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW. México.
- González, R., Medrano, C., Lagunas, J. 2002. Pequeños Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica. Informe técnico anual IIE. Ciudad de México, México.
- InfoBlock. 2013. Equipo de control de personal Libera 300. Publicado por InfoBlock building your informationstrategy. Ciudad de México, México.
- Fernández, J. 2010. Compendio de energía solar: Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica. Editorial. Editorial Mundi Prensa. Pág. 539. Madrid, España.
- Labouret, A. y M. Viloz. 2008. Energía Solar Fotovoltaica. Manual Práctico adaptado al Código Técnico de la Edificación (CTE). Editorial Antonio Madrid. Pág. 334. Madrid, España.
- Lecue, A. 2010. Situación actual de la energía solar fotovoltaica en el mundo según el plan de energías renovables periodo 2011-2020. *VitualPro*. Núm. 12(2): 1-13.
- Mouser. 2018. Fuente de CA/CD modelo VOF-180-12. Publicado por Mouser Electronics. Texas, E.E.U.U.
- Mouser. 2018. Hoja de datos de batería. CSB GP 12400. Publicado por Mouser Electronics. Texas, E.E.U.U.

Méndez, M. 2010. Energía Solar Térmica. Editorial Fundación Confemetal. Pág. 37-38. Madrid, España.

Miller, G. 2013. Componentes de una instalación solar fotovoltaica. Mc Graw Hill. Pág. 10-16. California, E.E.U.U.

SENER. 2009. Energías Renovables para el Desarrollo sustentable en México. Secretaría de Energía. México.

SMA. 2009. Suministro de electricidad en redes solares aisladas y de respaldo. Publicado por SMA Solar Technology. Kassel, Alemania.

Solartec 2015a. Características eléctricas de un módulo fotovoltaico. Policristalino S60PC-250. Publicado por Solartec SA. Buenos Aires, Argentina.

Solartec 2015b. Hoja de datos del módulo fotovoltaico. Policristalino S60PC-250. Publicado por Solartec SA. Buenos Aires, Argentina.

Trebolle, D. 2013. Red de Políticas de Energía Renovable para el Siglo XXI. **Technology Review**. Núm 14: 1–80.