



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE ELECTRICA**

**Trabajo Monográfico para optar al Título de
Ingeniero Eléctrico**

Título

**“Diseño de un sistema solar fotovoltaico para la electrificación de la
escuela Edwing Baltodano de la comarca la Aurora los Ángeles municipio
de Bluefields.”**

Autores:

- **Ruth Yaneli Obando Lumbi**
- **Carmen Georgina Hernández González**

Tutor:

ING. Ernesto Lira.

Managua, Viernes 28 de agosto del 2020

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios quien nos a permitido llegar hasta esta parte de nuestras vidas, quien nos brinda sabiduría, amor y paciencia , a nuestras madres y hermanas quienes nos brindaron su apoyo y fortaleza en el desarrollo de este, quienes nos han dado fuerza en el transcurso de nuestra carrera y nos han ayudado a concluir satisfactoriamente nuestro proyecto, a nuestro tutor quien no dudo en brindarnos sus conocimientos para concluir con éxito nuestro proyecto y a todas las personas que nos rodean y nos han dado fuerzas para seguir adelante.

RESUMEN

La energía solar en la actualidad es una de las técnicas más limpias de producción de energía. Los paneles solares constituyen uno de los métodos más simples que se pueden usar para convertir la energía del sol en energía eléctrica aprovechable, sin que ésta transformación produzcan subproductos peligrosos para el medio ambiente. El presente trabajo muestra el desarrollo de un proyecto para implementar un Sistema Fotovoltaico (SFV) para generar energía eléctrica en una Escuela Rural, sin electrificación que solo dependen de generadores eléctricos que contaminan el medio ambiente, siendo esta instalación simple, que emplea un energía gratuita y limpia, su operación es automática y silenciosa, requiere poco mantenimiento y es amigable con el medio ambiente.

INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes	3
JUSTIFICACIÓN.	5
OBJETIVOS.....	6
Objetivo General	6
Objetivo Especifico	6
Capítulo 1. FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA.	7
1.1. ENERGÍA SOLAR	7
1.1.1. Radiación solar	7
1.2. EL EFECTO FOTOVOLTAICO	8
1.3. CELDAS FOTOVOLTAICAS	9
1.3.1. Principio de funcionamiento de una celda fotovoltaica.	10
1.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.	10
1.4.1. Ventajas	10
1.4.2. Desventajas.	11
Capítulo 2. CONSIDERACIONES TEÓRICAS PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	11
2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO.	11
2.2 COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.	11
2.2.1 Paneles fotovoltaicos.	12
2.2.2 Controlador de carga.	17
2.2.3 El Acumuladores o baterías.	18
2.2.4 Inversor	23
2.3 FUNCIONES DE LOS DIODOS EN UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA. ..	23
2.3.1 Diodos de bloqueos.	23
2.3.2 Diodos de paso.	24
2.4 CABLEADO	24
2.5 PROTECCIÓN DE SOBRE CORRIENTE Y SOBRE VOLTAJE.	24
2.6 INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
2.7 UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.	25

2.8	OPERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	26
2.9.	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.	28
Capítulo 3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.		29
3.1	ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ELÉCTRICA EN LA ESCUELA EDWING BALDODANO.....	30
3.2	CÁLCULOS TÉCNICOS.....	30
3.2.1	Calculo del arreglo fotovoltaico.....	34
3.2.2	Calculo del banco de baterías del sistema fotovoltaico.....	38
3.2.3	Calculo del controlador de carga.	39
3.2.4	Calculo del inversor.	40
3.2.5	Calculo del calibre de los conductores de la instalación.	41
3.2.6	Calculo de sombras.	41
3.2.7	Presupuesto del Proyecto.	41
Capítulo 4. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....		43
4.1	Panel fotovoltaico (Risen solar technology).....	43
4.2	Batería Trojan SAGM 24 205 con malla de fibra de vidrio absorbente AGM de ciclo profundo, libre de mantenimiento 24V 216Ah.	45
4.3	Controlador de carga MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia), PT-100.	48
4.5	Inversor Magnum MS4024PAE 120/240V.	49
CONCLUSIONES DEL PROYECTO.....		50
ANEXOS.....		51
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		53
FUENTES CONSULTADAS POR INTERNET.....		54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Componentes de la radiación solar.....	6
Figura 1.2 Representación esquemática del Efecto Fotovoltaico.....	7
Figura 2.1 Diagrama Eléctrico de una instalación fotovoltaica.....	9
Figura 2.2 Diagrama físico de una instalación fotovoltaica.....	10
Figura 2.3 Irradiancia y horas solares pico durante un día soleado.....	11
Figura 2.4 Tipos de Paneles Solares.....	14
Figura 2.5 Regulador serie.....	15
Figura 2.6 Regulador paralelo.....	16
Figura 3.1. Promedio diario de incidencia solar en Bluefields.....	33
Figura4.1 Dimensiones del panel solar.....	39
Figura 4.2 Curvas de I – V del panel fotovoltaico.....	40
Figura 4.3 Porcentaje de capacidad disponible VS Temperatura.....	41
Figura 4.4 Auto descarga VS Tiempo.....	42
Figura 4.5 Dimensiones de la batería.....	42

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Dimensionamiento por área según la carga.....	31
Tabla 1.2 Censo de carga de la escuela Edwing Baltodano.....	32
Tabla 1.3. Energía consumida en la escuela Edwing Baltodano.....	33
Tabla 1.4 Coeficiente de rendimiento global	36

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Nicaragua existen zonas rurales sin beneficios al uso de energía eléctrica y una alternativa muy importante es implementar el uso de un auto consumo fotovoltaico que aporten de gran manera al desarrollo del país, Como resultado, el costo de instalar un sistema de energía solar es más barato que el costo de enviar las líneas de transmisión de la red eléctrica hasta esos lugares.

Por lo tanto, en Nicaragua se están consolidando inversiones en energías renovables como es el caso de la energía solar, para contribuir al desarrollo nacional en un marco de equidad social, crecimiento económico y preservación del medio ambiente, dicha energía presenta numerosas ventajas tales como la instalación simple, emplea un energía gratuita y limpia, su operación es automática y silenciosa, requiere poco mantenimiento y es amigable con el medio ambiente.

El motivo de implementar un sistema de energía solar fotovoltaico en el colegio Edwing Baltodano, que está ubicado en la comarca la Aurora los Ángeles del municipio de Bluefields es debido a que no cuenta con un servicio de energía eléctrica ya que suplen algunas de sus necesidades solo por las noches con un pequeño generador eléctrico a base de gasolina, uno de los principales problemas de este medio de generación es el ruido y los gases que emite durante su operación.

Debido a las circunstancias anteriores se decidió implementar el uso de paneles fotovoltaicos con el propósito de suplir necesidades tales como la iluminación, refrigeración y aparatos electrónicos ya que en dicha escuela solo cuentan con energía eléctrica por la noche y además fomentar el uso de energías renovables puesto que el uso de combustibles fósiles está generando grandes cambios climáticos en el planeta, como lo son el efecto invernadero, la precipitación ácida y el adelgazamiento de la capa de ozono.

Esta investigación abarca desde los antecedentes de los proyectos de energía solar, estudios realizados con anterioridad y resultados obtenidos, así como la descripción acerca del sistema fotovoltaico y sus componentes, un análisis de la demanda de energía en KWh, la realización del diseño del sistema fotovoltaico a través del software AutoCAD 2017 para la presentación de los planos eléctricos, la elaboración de los cálculos para la determinación de los componentes necesarios que contiene la instalación, y el presupuesto para saber qué tan factible será implementar este proyecto en la escuela antes mencionada.



Antecedentes

Debido a su localización, Nicaragua es un país con alto potencial de Energía Solar Fotovoltaica. Es más, toda la radiación que recibimos es casi el doble del que cuenta Alemania, uno de los mayores consumidores de paneles solares en el mundo.

Nicaragua fue un país pionero en el uso de Energía Solar para electrificación rural. Desde los ochenta, la empresa Ecamí colocó pequeños sistemas solares en zonas aisladas, catalogando más de 20 mil sistemas instalados.

Nicaragua quiere llegar a más de 90% de consumo de energías renovables a través de la inyección de energía solar a la red la transición podría acelerarse. Para el año 2013, poseían alrededor de 25 plantas eléctricas en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) a base de tecnologías eólica, hidroeléctrica, geotérmica y biomasa, las cuales alcanzaron una generación de 51% del total de la energía eléctrica existente, planteando como meta generar un 91% para el 2027. Actualmente la generación de energía renovable a base de dichas fuentes representa el 64%. Nicaragua cuenta con un potencial total para la generación con recursos renovables de 4500 MW, del que solamente se aprovechan 450 MW, equivalente al 10%.

En el 2018 se instaló 11 mil paneles solares que abarcaron los siguientes departamentos: Nueva Segovia, Jinotega, Matagalpa, Chontales, Boaco, Río San Juan, toda la costa del Caribe y esos paneles solares fueron instalados en viviendas, centros de salud, escuelas.

A nivel nacional durante el 2017 se llegó a un 56% de cobertura de fuentes renovables que en el 2018 incrementó para reducir la generación térmica con el fin de completar 1,500 megavatios de energía, que significa un 98% de capacidad instalada. Eso es basado de una planta solar de 12 megavatios ubicada cerca de Puerto Sandino, otra de 12 de megavatios en El Velero.

En el 2017 se cumplió la meta de un 94% de cobertura eléctrica del país; 4 mil 388 comunidades fueron electrificadas y 2.9 millones nuevos nicaragüenses tuvieron acceso a la energía.

SOLAR RESOURCE MAP

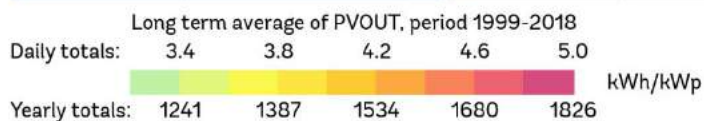
PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL NICARAGUA



WORLD BANK GROUP

ESMAP

SOLARGIS



This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

Potencial de energía fotovoltaica en Nicaragua.

JUSTIFICACIÓN.

La escuela Edwing Baltodano cuenta con 2200 estudiantes los cuales gozaran con el beneficio de una donación de aparatos electrónicos tales como computadoras, proyectores, fotocopadoras e impresoras para desarrollar una educación de calidad y disminuir los gastos en fotocopias e impresiones en trabajos que desempeñan los estudiantes, aparte de esto la escuela cuenta con un comedor el cual brinda alimentación a los estudiantes y este posee un refrigerador para guardar alimentos que lo ameritan.

Debido a la carencia de electrificación en dicha escuela estos equipos tienen la tendencia a dañarse por el desuso y a no ser utilizado este es el motivo por el cual realizaremos el estudio e implementación de un sistema de energía renovable a través del sol utilizando paneles fotovoltaicos ya que pretendemos que cada uno de los estudiantes y maestros gocen con el beneficio de dichas donaciones y así conozcan y tengan conocimientos de los estudios de generación eléctrica por paneles solares ya que es una energía limpia que no contamina el medio ambiente y no requiere de mucho mantenimiento y es una forma segura y económica de solventar las necesidades de consumo energético y además este estudio puede ser utilizado por ingenieros, técnicos y toda aquellas personas que tengan conocimientos básicos de la energía fotovoltaica y tengan el deseo de profundizar acerca del tema ya que este estudio tiene información completa de este tipo de energía.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar un sistema solar fotovoltaico para la electrificación de la escuela Edwing Baltodano de la comarca la Aurora los Ángeles Municipio de Bluefields.

Objetivo Especifico

- Describir que es un sistema fotovoltaico y sus componentes.
- Elaborar un análisis en base a la demanda en kWh en la escuela Edwing Baltodano para su óptimo diseño.
- Utilizar el software “AutoCAD 2017” para la presentación de los planos eléctricos del diseño del sistema fotovoltaico.
- Realizar los cálculos para la determinación de los componentes necesarios que contiene la instalación.
- Utilizar el programa Microsoft Excel para la elaboración de los cálculos y gráficos del sistema fotovoltaico.
- Elaborar el presupuesto para saber el valor económico del sistema fotovoltaico.
- Mencionar los beneficios proporcionados al centro escolar a través de las celdas solares fotovoltaicas.

Capítulo 1. FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA.

En este capítulo, se muestran los fundamentos teóricos sobre los cuales se basó el desarrollo e implementación del sistema solar fotovoltaico para la electrificación de la escuela Edwing Baltodano.

1.1. ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del Sol que es interceptada por la Tierra.

1.1.1. Radiación solar

Es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). Aproximadamente la mitad de las que recibimos, comprendidas entre $0.4\mu\text{m}$ y $0.7\mu\text{m}$, pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible. De la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta. La porción de esta radiación que no es absorbida por la atmósfera, es la que produce quemaduras en la piel a la gente que se expone muchas horas al día sin protección. La radiación solar interceptada por la Tierra constituye la principal fuente de energía renovable a nuestro alcance. La cantidad de energía solar captada por la Tierra anualmente es aproximadamente de $5,4 \times 10^{24}$ J, una cifra que representa 4.500 veces la energía que se consume.

Puede llegar de tres maneras:

- **Radiación Directa:** Es la llega directamente al foco solar, sin que sufra algún desvío en su camino.

- **Radiación Difusa:** Es la que sufre cambios en su dirección, principalmente debido a la reflexión (es el cambio en la dirección de un rayo de luz cuando este no logra traspasar la interfaz entre dos medios) y difusión de la atmósfera (es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro). La radiación se mide en kWh/m². (Kilo watts-hora por metro cuadrado).
- **Radiación reflejada:** Es la radiación reflejada por el suelo o por los objetos cercanos.

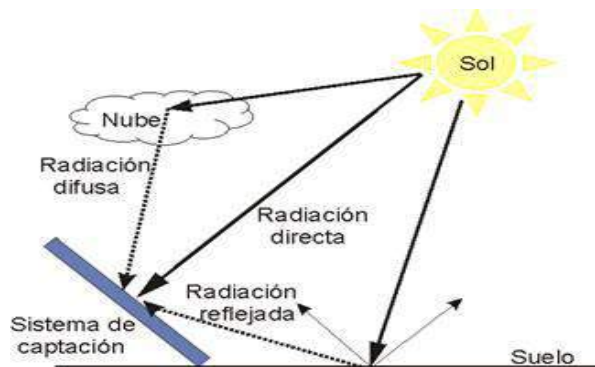


Figura 1.1 Componentes de la radiación solar.

1.2. EL EFECTO FOTOVOLTAICO

El fenómeno fotovoltaico fue descubierto en 1839 y las primeras celdas solares de selenio fueron desarrolladas en 1880. Sin embargo, no fue sino hasta 1950 que se desarrollaron las celdas de silicio Monocristalino que son las más utilizadas en la industria fotovoltaica. A finales de la década de los setentas las celdas fotovoltaicas comenzaban a ser utilizadas en aplicaciones terrestres como electrificación de pequeñas instalaciones (varios Watts de potencia) en sistemas de telecomunicación, televisión rural, entre otras.

El efecto fotovoltaico es la propiedad que tienen algunos materiales como es el de la celda solar de absorber fotones de luz y emitir electrones. Esto consiste en

que cuando los rayos solares (fotones de luz) inciden sobre la superficie del arreglo fotovoltaico, el cual está compuesto por dos delgadas láminas de silicio, P y N separadas por un semiconductor, al entrar en contacto con las partículas de luz y la superficie de la capa P se provoca una reacción (liberación de electrones de los átomos de silicio los cuales se encuentran en movimiento y pasan a través del semiconductor hasta la capa N) dando como resultado una diferencia de potencial con respecto a la capa N, generando una corriente eléctrica directa. [1]

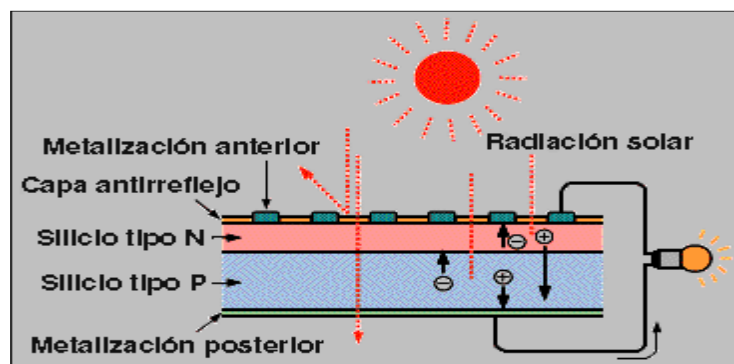


Figura 1.2 Representación esquemática del Efecto Fotovoltaico.

1.3. CELDAS FOTOVOLTAICAS.

Las celdas fotovoltaicas están formadas fundamentalmente por silicio. Este material es modificado químicamente para dar lugar a dos estructuras eléctricamente distintas entre sí, semiconductor tipo p y semiconductor tipo n una vez que estos elementos se ponen en contacto y se exponen a la radiación solar, los fotones que transportan la energía de la luz solar, al incidir sobre ellos, hacen que generen una corriente eléctrica, convirtiendo así la celda fotovoltaica en una pequeña pila generadora de energía eléctrica

Las celdas fotovoltaicas son capaces de generar corrientes de 2 a 4 amperes, a un voltaje de 0.46V a 0.48V utilizando como fuente la radiación luminosa, tienen

la propiedad de tener una gran conductividad y una ausencia total de resistividad eléctrica, están unidas a contactos de metal para completar el circuito eléctrico que se encuentran encapsuladas en vidrio o plástico. Las células se montan en serie sobre paneles para conseguir un voltaje adecuado.

1.3.1. Principio de funcionamiento de una celda fotovoltaica.

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia de potencial entre las capas. Esta tensión es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil después de dicho proceso esta energía es recogida y conducida hasta un inversor el cual convertirá la corriente de CD en corriente de CA, ya que si no la convirtiéramos su uso sería limitado para algunos aparatos, luego la corriente eléctrica es llevada a un controlador de carga, el cual tiene la función de enviar toda o parte de esta energía hasta el banco de baterías, en donde es almacenada, cuidando que no se excedan los límites de carga y descarga. La energía almacenada es utilizada para abastecer las cargas durante la noche o en días de baja insolación, o cuando el arreglo fotovoltaico es incapaz de satisfacer la demanda por sí solo.

1.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

1.4.1. Ventajas

- Las celdas solares son confiables y silenciosas, duran 30 años o más si se las recubre con vidrio o plástico.
- Pueden ser instaladas rápida y fácilmente, necesitan poco mantenimiento.
- Resistentes a las condiciones climatológicas.

- No tiene costos por uso de combustible.
- Reducen la contaminación sonora ya que operan silenciosamente.
- Los módulos pueden ser añadidos gradualmente para incrementar la energía disponible

1.4.2. Desventajas.

- Los costos actuales de las celdas fotovoltaicas son elevados, aunque se esperan que sean competitivos en unos 7 a 15 años.

Capítulo 2. CONSIDERACIONES TEÓRICAS PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.

2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de dispositivos cuya función es transformar la energía solar directamente en energía eléctrica, acondicionando esta última a los requerimientos de una aplicación determinada.

2.2 COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.

- Paneles Fotovoltaicos.
- Estructura y cimientos del arreglo.
- Reguladores de voltaje.
- Controlador de carga de batería.
- Inversor de corriente cd/ca o un rectificador ca/cd.
- Baterías de almacenamiento eléctrico.
- Instrumentos
- Cables e interruptores.

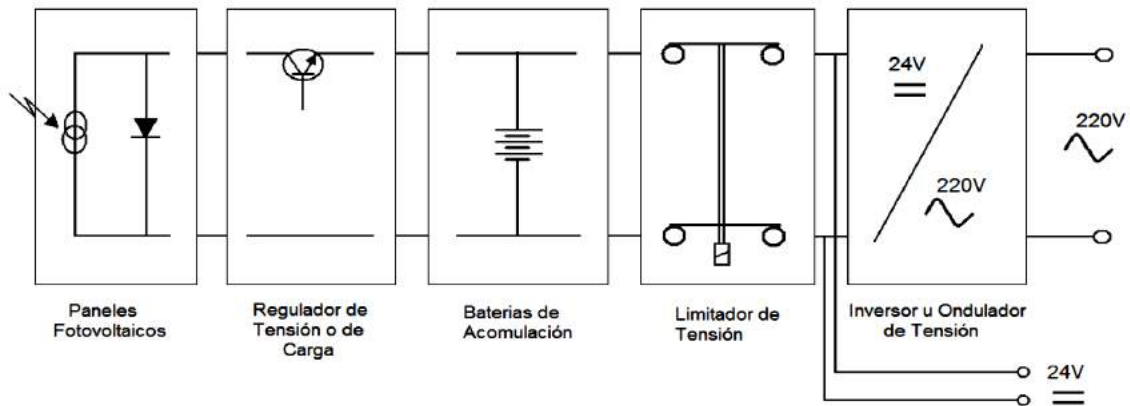


Figura 2.1 Diagrama Eléctrico de una instalación fotovoltaica.

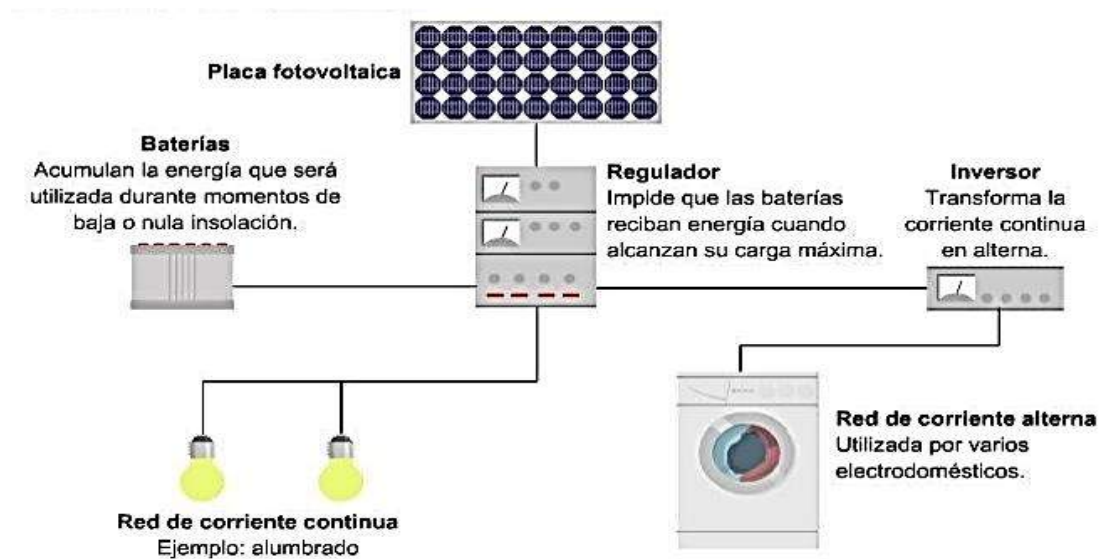


Figura 2.2 Diagrama físico de una instalación fotovoltaica.

2.2.1 Paneles fotovoltaicos.

El panel solar o módulo fotovoltaico es el conjunto básico de celdas fotovoltaicas, que viene encapsulado en cristal y en plástico para protegerlo del ambiente y la instalación. El módulo puede incluir desde menos de una docena hasta cerca de

100 celdas; cuya principal función es la de proporcionar energía a la instalación a partir de la irradiación solar, aprovechando el efecto fotoeléctrico.

Un panel solar está formado por la interconexión de varias células solares en serie y/o paralelo, para adaptar el panel a los niveles de tensión y corriente, puesto que cada célula puede suministrar 0,5 voltios. Para los paneles solares de uniones de silicio y con conexiones de células en serie, los valores de tensión por número de células rondan las 36 células para 12 voltios y 72 células para 24 voltios. [2]

Factores naturales incidentes en un módulo fotovoltaico.

➤ Insolación o Irradiación.

La insolación también es conocida como la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Este término tiene unidades de energía por área, comúnmente Watts hora por metro cuadrado (W-h/m²). Generalmente se reporta este valor como una acumulación de energía horaria, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Unas horas de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1,000 W/m². La energía útil que produce el arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe. La insolación es un parámetro clave en el diseño de sistemas solares. Los factores principales que afectan la insolación sobre una superficie captadora son las condiciones climáticas y el ángulo de la superficie captadora con respecto a la posición del sol.

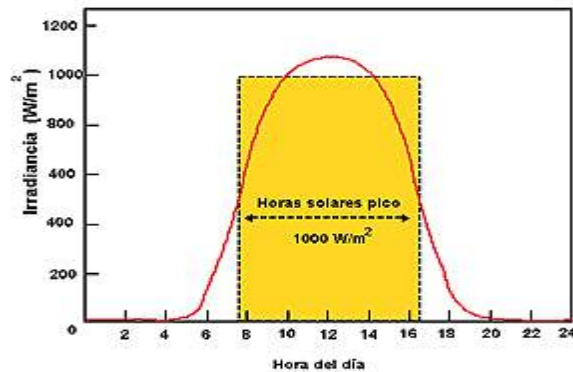


Figura 2.3 Irradiancia y horas solares pico durante un día soleado.

➤ **Angulo de Inclinación.**

El ángulo de inclinación es el que nos indica la forma en que se debe colocar el modulo fotovoltaico para obtener el mejor rendimiento de este dispositivo a través de los rayos del sol. Por lo general, los paneles solares son colocados sobre un techo o sobre una estructura y tienen una posición fija; no pueden seguir la trayectoria del sol en el cielo, hay que tomar en cuenta que al instalarlos hay que orientarlos hacia el sur geográfico. Esto se debe principalmente a que con esta inclinación, el panel solar tendrá un mejor rendimiento anual.

Parámetros eléctricos que definen los paneles solares:

- Potencia Máxima nominal (P_M).
- Voltaje nominal (V_N).
- Corriente máxima (I_M).
- Voltaje máximo (V_M).
- Voltaje a circuito abierto (V_{OC}).
- Corriente de cortocircuito (I_{SC}).

Clasificación de los paneles fotovoltaicos.

➤ Monocristalino.

Presenta una estructura completamente ordenada. Se obtiene de silicio puro fundido dopado con boro, se reconoce por su monocromía azulada oscura y metálica. La eficiencia de estos módulos ha llegado hasta el 17%.

➤ Policristalino.

Presenta una estructura ordenada por regiones separadas. Las zonas irregulares se traducen en una disminución del rendimiento. Se obtiene de Silicio, mezclado con Arsenio y Galio, se reconoce por que en su superficie se distinguen distintos tonos de azules y grises metálicos. Tienen un rendimiento menor que el Monocristalino, pero nada despreciable, de un 15% aproximadamente.

➤ Amorfo.

Presentan un alto grado de desorden y un gran número de defectos estructurales en su combinación química. Su proceso de fabricación es menos costoso que los anteriores, baja durabilidad, tiene un color homogéneo y su eficiencia es de un 6 a 10% y tiende a cero con su envejecimiento.

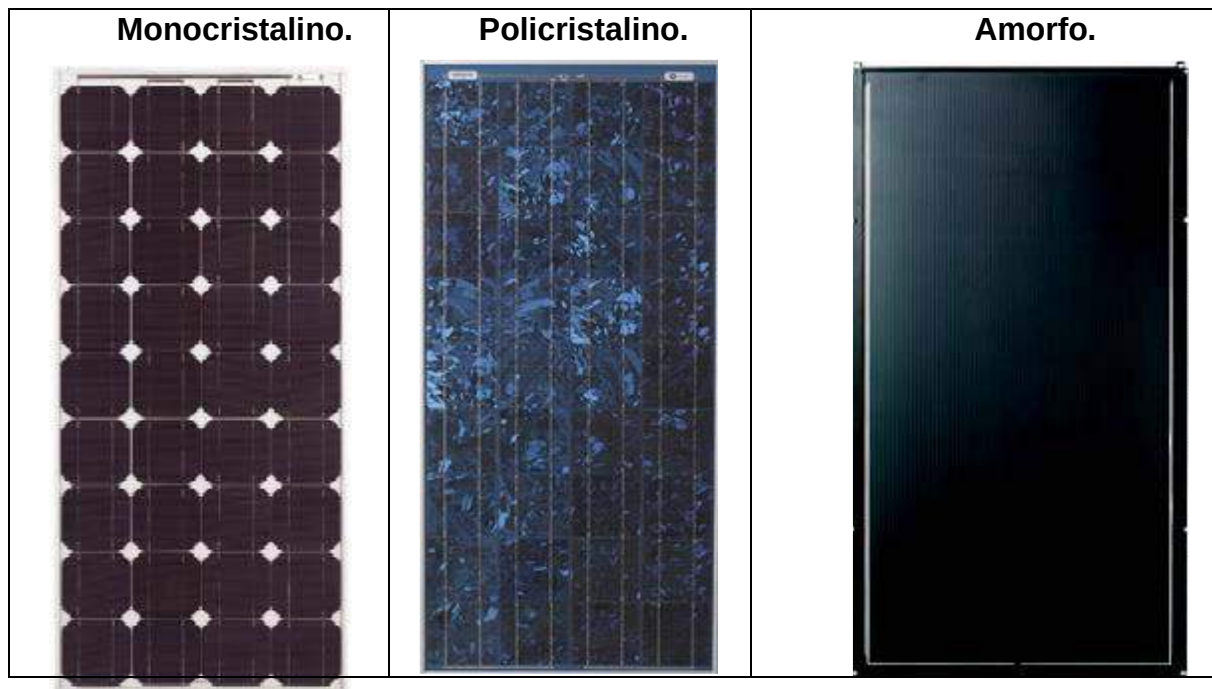


Figura 2.4 Tipos de Paneles Solares.

Interconexión de los paneles o módulos fotovoltaicos.

Para alcanzar la potencia deseada normalmente se necesitan varios paneles. Estos paneles se conectan en serie y en paralelo para alcanzar el voltaje deseado.

Al diseñar este arreglo se deben tomar en cuenta algunas reglas.

- La suma de potencia de todos los paneles debe ser igual o mayor que la potencia deseada.
- La suma de los voltajes de los paneles en serie debe ser igual al voltaje deseado para el panel.
- La suma de las corrientes de los paneles en paralelo debe ser igual a la corriente en paralelo del sistema.

2.2.2 Controlador de carga.

Es aquel que tiene la función de proteger a la batería contra las sobrecargas y contra las descargas excesivas que le pudieran producir daños irreversibles asegurando que el sistema trabaje con mayor eficiencia. Además, se emplea para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación. Los paneles fotovoltaicos pueden producir más electricidad de la que las baterías pueden almacenar, sobrecargar las baterías aumenta la pérdida del electrolito, disminuyendo así la vida útil de las baterías además de que es peligroso.

Los reguladores de carga son de dos tipos serie o shunt (paralelo). Ambos reguladores tienen un circuito de censer y regula la corriente hacia la batería cuando la tensión excede un umbral determinado. En instalaciones de baja potencia se utilizan los reguladores shunt (paralelo) y para potencias mayores los reguladores serie.

➤ Regulador serie.

El funcionamiento de este regulador es el de cortar el suministro de energía del generador fotovoltaico antes de que alcance la tensión máxima de la batería; es decir, cortar antes de que se llegue el nivel de sobrecarga.

En la figura 2. 5 Se observa el circuito básico de control serie con interruptores, los cuales se encargaran de que se esté cargando la batería o no (interruptor sobrecarga) y el otro que la batería entregue energía o no (interruptor sobredescarga).

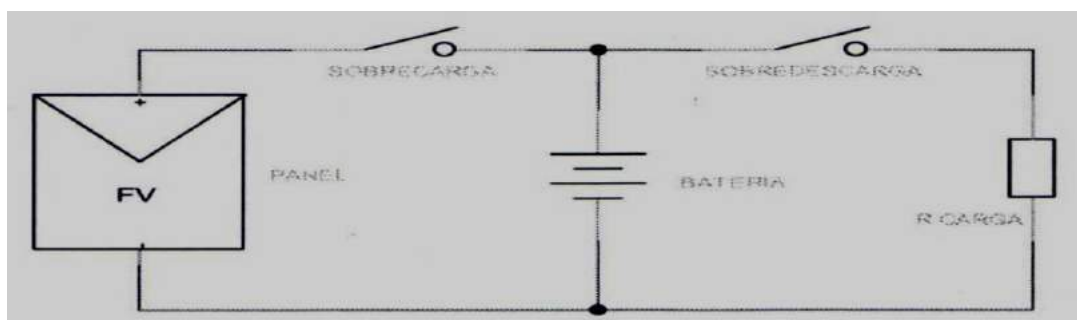


Figura 2.5 Regulador serie

➤ **Regulador shunt (paralelo).**

El funcionamiento de este regulador es de disipar potencia, con el fin de eliminar el exceso de energía generada. Consiste en un transistor situado en paralelo con el generador fotovoltaico, tal y como se muestra en la figura 2.6.

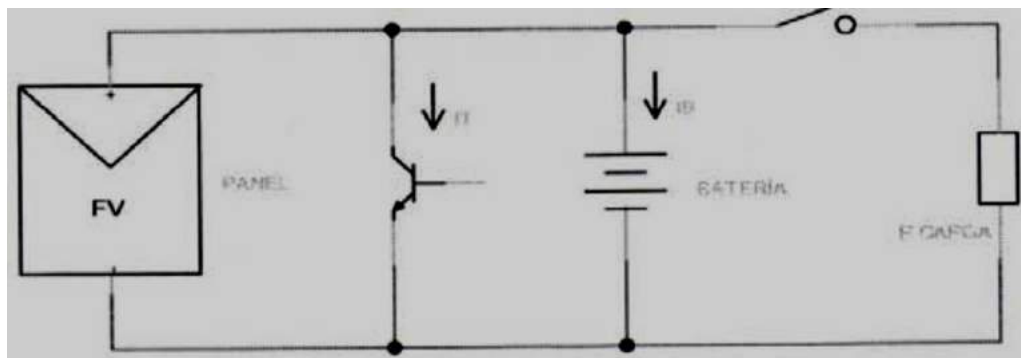


Figura 2.6 Regulador paralelo.

2.2.3 El Acumuladores o baterías.

Son el almacén de la energía eléctrica generada, permitiendo disponer de la energía eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados. Se determina el comportamiento de una batería fundamentalmente por dos factores: la capacidad en Amperes hora y la profundidad de la descarga. Los Amperes hora de una batería son simplemente el número de Amperes que proporciona multiplicado por el número de horas durante las que circula esa corriente. Sirve para determinar, en una instalación fotovoltaica, cuánto tiempo puede funcionar el sistema sin radiación luminosa que recargue las baterías. Esta medida de los días de autonomía es una de las partes importantes en el diseño de la instalación.

Una batería consta de pequeños acumuladores eléctricos de 2V integrados en el mismo elemento; tiene corriente continua a 6, 12, 24 o 48V. El acumulador es la celda que almacena energía a través de un proceso electroquímico. De este

modo, cuando hablamos de una batería de 12V, estamos hablando de un conjunto en serie de 6 celdas de plomo-ácido de 2V cada una. [2]

Tipos de Baterías

Una primera clasificación es en abiertas y cerradas, pero la distinción más importante es si son monoblock o estacionarias.

Según el acceso al electrolito tenemos:

- **Baterías Abiertas:** Poseen una tapa con tapones que permite abrir los vasos de la batería para poder rellenar el agua destilada necesaria para su correcto funcionamiento. Este tipo de baterías exige mantenimiento para vigilar el líquido del electrolito.
- **Baterías Cerradas o Selladas:** Llevan incorporadas una serie de válvulas que liberan los gases producidos en el caso de una carga excesiva. Estas baterías tienen un menor mantenimiento.

Según el estado del electrolito:

- **De Plomo ácido abiertas:** su electrolito es un líquido, normalmente ácido sulfúrico, y los electrodos son de Plomo. Son baterías abiertas y las más económicas, pero deben de utilizarse en ciclos de descarga poco profundos. Suelen durar en torno a los 400 ciclos de carga y descarga con profundidades de descarga del 20% y con esperanzas de vida útil que van de 2 a 3 años para las más económicas. Necesitan mantenimiento cada poco tiempo (recargar cada cierto tiempo el líquido con agua destilada).
- **Luego tenemos las de GEL y AGM,** que tienen regulación por válvula (VRLA) por lo que no es necesario echarles agua cada cierto tiempo por

lo que son cerradas. Estas 2 son utilizadas como electrolito también Plomo ácido, tienen una vida y un rendimiento mejor que las de plomo ácido abiertas.

- **Baterías de GEL:** son baterías cerradas con el electrolito gelatinoso anti salpicaduras, no emite gases tóxicos, no requieren ventilación ni mantenimiento. Son más caras que las de plomo ácido abiertas. Son las de mayor vida útil y con mayor número de ciclos de carga y descarga. Selladas y sin mantenimiento. Mejor respuesta de voltaje frente a la descarga. Se utilizan para aplicaciones de consumos medios y altos. Las más utilizadas a día de hoy.
- **Baterías AGM o Secas:** Estas baterías en lugar de tener el electrolito líquido lo tienen absorbido en unos separadores de fibra de vidrio. El líquido va absorbido en el interior de una especie de gasas de fibra de vidrio. Por este motivo también se suelen llamar baterías secas. Esta tecnología se llama Absorción Glass Mat (AGM). Son baterías cerradas, no necesitan ventilación y sin mantenimiento, mejor respuesta a corrientes elevadas y descargas profundas.

Según la forma de presentación de la batería tenemos:

- **Baterías Monobloque o MonoBlock**

En su interior contiene varias celdas o vasos conectados en serie y un electrolito común a todos ellos. Todo va recubierto por un conjunto exterior de un solo

bloque con la tapa, tapones y bornes. Si se estropea una celda hay que cambiar la batería entera ya que los vasos o celdas no son independientes. Pueden ser cerradas o abiertas.

Este tipo de baterías se suelen utilizar en ISFTV pequeñas, con bajos consumos como alarmas, bombillas, video vigilancia, etc. Si hay algún motor en la instalación que se alimenta no es recomendable este tipo de baterías.

Las monoblock podemos a su vez clasificarlas en función de cómo es su líquido: de Plomo Ácido, de Gel o de AGM.

➤ **Baterías Estacionarias**

Tienen como característica de operación más importante al ciclado; durante un ciclo diario, la batería se carga durante el día y se descarga durante la noche. La principal característica es que son capaces de permanecer largos periodos de tiempo totalmente cargadas y, además, son capaces de resistir descargas profundas de forma esporádica. Gracias a su mantenimiento mínimo, son la solución perfecta para grandes instalaciones fotovoltaicas en viviendas de uso habitual o empresas. Son las más utilizadas actualmente en las ISFTV por su relación calidad-precio.

La forma en que se presente el líquido del electrolito nos diferenciará unas de otras. Tendremos abiertas y cerradas y además de Plomo, de AGM y de GEL.

Las que se comercializan para ISFTV (Instalación solar Fotovoltaica)

Las baterías estacionarias suelen clasificarse en 2 tipos diferentes OPzS y OPzV:

- **Las OPzS** son de Plomo ácido líquido y abiertas por lo que requieren mantenimiento (normalmente cada 6 meses, depende recomendaciones del fabricante). Con el fin de poder detectar visualmente el nivel del electrolito,.
- **Las OPzV** son de GEL y cerradas por lo que no requieren mantenimiento. Son más caras que las OPzS.

Factores que pueden hacer variar la capacidad de una batería

- **Relación de carga y descarga.**

Si la batería es cargada o descargada a un ritmo diferente al especificado, la capacidad disponible puede aumentar o disminuir. La batería se descarga a un ritmo más lento, su capacidad aumentará ligeramente. Si el ritmo es más rápido, la capacidad se reducirá.

- **Temperatura.**

Otro factor que influye en la capacidad es la temperatura de la batería y la de su ambiente. El comportamiento de una batería se cataloga a una temperatura de 27 grados. Temperaturas más bajas reducen su capacidad significativamente. Temperaturas más altas producen un ligero aumento de su capacidad, pero esto puede incrementar la pérdida de agua y disminuir el número de ciclos de vida de la batería.

- **Profundidad de descarga.**

La profundidad de descarga es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga. Las baterías de "ciclo poco profundo" se diseñan para descargas del 10 al 25% de su capacidad total en

cada ciclo. La mayoría de las baterías de "ciclo profundo" fabricadas para aplicaciones fotovoltaicas se diseñan para descargas de hasta un 80% de su capacidad, sin dañarse. Los fabricantes de baterías de Níquel-Cadmio aseguran que pueden ser totalmente descargadas sin daño alguno. La profundidad de la descarga, no obstante, afecta incluso a las baterías de ciclo profundo. Cuanto mayor es la descarga, menor es el número de ciclos de carga que la batería puede tener.

2.2.4 Inversor

Dispositivo electrónico que tiene la función de transformar la corriente continua (de 12, 24 o 48 V) generada por las placas fotovoltaicas y es acumulada en las baterías para que después sea entregada, en corriente alterna (120V y 60 Hz) a los aparatos eléctricos que la necesitan.

2.3 FUNCIONES DE LOS DIODOS EN UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.

Los diodos son componentes electrónicos que permiten el flujo de corriente en una única dirección. En los sistemas fotovoltaicos generalmente se utilizan de dos formas: como diodos de bloqueo y como diodos de bypass. [1]

2.3.1 Diodos de bloqueos.

Son aquellos que impiden que la batería se descargue a través de los paneles fotovoltaicos en ausencia de luz solar, evitan también que el flujo de corriente se invierta entre bloques de paneles conectados en paralelo, cuando en uno o más de ellos se produce una sombra. Deben ser calculados tomando en consideración la máxima corriente que generará el arreglo fotovoltaico en condiciones de corto circuito.

2.3.2 Diodos de paso.

Son aquellos que protegen individualmente a cada panel de posibles daños ocasionados por sombras parciales. Deben ser utilizados en disposiciones en las que los módulos están conectados en serie. Generalmente no son necesarios en sistemas que funcionan a 24 V o menos.

2.4 CABLEADO

- El cable que se utiliza para interconectar celdas debe ser resistente a la luz solar.
- Los cables que bajan hacia las baterías deben estar cubiertos para la intemperie y deben ser de aislante de incombustible.
- Deben ser resistente a la corrosión y humedad.
- En caso de enterramiento deben estar a 41cm de profundidad.
- La caída de voltaje entre las celdas y el resto de los componentes del sistema debe ser menor de 1% del voltaje total.

2.5 PROTECCIÓN DE SOBRE CORRIENTE Y SOBRE VOLTAJE.

- Par evitar que una corriente excesiva dañe los cables y el resto de los componentes se deben instalar fusibles.
- Además, se contará con un interruptor que desconectará las celdas, para proteger el personal de excesivo voltaje cuando se requiera mantenimiento.

2.6 INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Las celdas fotovoltaicas deberán ser colocadas sobre el panel de montaje en una configuración rectangular simple.

Los paneles se montan orientados hacia el sur geográfico con una inclinación con respecto al horizonte, que corresponde al ángulo indicado para obtener la máxima ganancia durante el invierno.

Los paneles pueden montarse sobre el techo de una casa o sobre cualquier estructura adecuada. El lugar que se escoja, debe estar libre de cualquier sombra por pequeña que esta sea. Esto disminuiría ostentosamente el rendimiento del panel. Como regla general, se orientan los paneles de manera tal que la superficie colectora se encuentre perpendicular al sol del mediodía para el mes en el cual se desea la máxima ganancia.

Los paneles deben montarse con una distancia mínima de cualquier superficie, de aproximadamente 5 cm. para permitir la adecuada circulación del aire por su lado inferior, lo que evitará que se caliente en exceso y esto disminuya su rendimiento.

Para que un sistema fotovoltaico realmente pueda prestar un servicio confiable durante toda su vida útil, es necesario darle una gran importancia al correcto montaje del sistema. Cualquier defecto puede inducir a una reducción ostensible de su eficiencia y de su vida útil, que normalmente debiera ser de entre 20 y 30 años. [2]

2.7 UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.

➤ El módulo.

Se localiza en un sitio despejado que esté libre de objetos o árboles que puedan provocar sombras, puede ser sobre un poste metálico o de madera o sobre el techo de la casa, si éste lo permite.

➤ **Soporte de módulos.**

Su función es la de sujetar al módulo, colocando el módulo orientado hacia el sur, esto permite que los rayos del sol choquen sobre la superficie del módulo la mayor parte del día, y se obtiene así la mayor generación de energía del módulo fotovoltaico.

➤ **El controlador.**

El controlador debe estar colocado en un lugar protegido de la intemperie (de preferencia dentro de la casa), procure que la distancia entre éste y el módulo sea menor de 5 metros y la distancia entre el controlador y el acumulador sea menor de 1.5m (para el tendido del cable), de esta forma se minimizara las pérdidas de energía en el cable haciendo más confiable y eficiente su sistema.

➤ **El acumulador o batería.**

Debe estar colocado en un lugar protegido de la intemperie (puede ser dentro del lugar donde se va a instalar), con buena ventilación, para evitar la acumulación de gases generados por el acumulador, no se debe colocar el acumulador directamente sobre el piso.

2.8 OPERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

➤ **Operación Diurna**

Durante el día el módulo fotovoltaico genera energía eléctrica, la cual es conducida hacia el acumulador y éste a su vez alimenta las cargas.

➤ **Operación nocturna**

Durante la noche el controlador detecta que no existe generación del módulo fotovoltaico y abre el circuito Panel – Batería, con esto se elimina un posible regreso de energía. Normalmente durante la noche el controlador monitorea el voltaje de la batería tomando la acción que se requiera.

➤ **Corte por alto voltaje**

El controlador tiene preestablecido un voltaje de máxima carga en la batería, cuando esta llega al voltaje máximo, el controlador censa y desconecta el circuito Panel – Batería.

Después de un tiempo el voltaje de la batería tiende a disminuir cuando este voltaje es igual al de conexión de recarga el controlador vuelve a cerrar el circuito Panel – Batería este proceso suele repetirse varias veces durante días soleados. En este estado siempre existe disponibilidad de energía para las aplicaciones.

➤ **Corte por bajo voltaje**

Normalmente ocurre cuando se presentan varios días nublados continuos. Las aplicaciones siguen activas, el módulo fotovoltaico no es capaz de generar energía suficiente, y el voltaje de la batería tiende a disminuir, cuando éste llega al voltaje mínimo preestablecidos en el controlador, se abre el circuito Batería – Carga, desactivando todos los aparatos que en ese momento se encuentran conectados. Con esto se evitan daños irreversibles a la batería. Cuando se vuelve a tener un día soleado el voltaje en la batería se recupera hasta llegar al voltaje de reconexión de carga, en este estado nuevamente se cuenta con energía disponible para las aplicaciones.

2.9. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Es recomendable hacer por lo menos 3 revisiones periódicas en un sistema fotovoltaico por año, así se pueden detectar y corregir pequeños problemas, antes que lleven a una falla total en la operación del sistema, por esto se dice que el mantenimiento preventivo es el mejor mantenimiento.

Es indispensable revisar el sistema cuando está funcionando correctamente y no esperar a que la falla ocurra, es importante aprender del equipo y saber que se espera de él cuando está funcionando correctamente, de hecho, se puede hacer la mayor parte de la revisión, con un multímetro y algo de sentido común.

Muchas fallas son evitables si se hacen inspecciones y se toman acciones correctivas antes que el problema cause fallas en la operación del sistema. Esto es más fácil aun siguiendo la rutina básica:

- Revise las conexiones del sistema, las conexiones de las baterías pueden limpiarse y tratarse periódicamente, con anticorrosivos.
- Examine el nivel de densidad específica del electrolito (ácido) en la batería que esté de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, este chequeo debe hacerse después de una recarga completa al banco de baterías, con el nivel de electrolito de acuerdo con las especificaciones por el proveedor.
- Tome muestras del voltaje de cada batería cuando éstas estén bajo carga, si el voltaje de alguna difiere más de un 10% del promedio de los voltajes de las demás, indica que existe un problema con esa batería.
- Haga un reconocimiento en el sistema de cableado, si el cableado ha estado expuesto al sol o a la corrosión durante algún tiempo, es posible

que se puedan formar grietas en la cubierta de éste, esto provocará pérdidas de energía. Aísle lo mejor posible todos los conductores de energía para evitar este tipo de fallas.

- Registre que todas las cajas de conexiones estén correctamente selladas, incluyendo las del panel, controladores, etc., puntos de interconexiones, así mismo cerciórese si existe corrosión o daños causados por el agua.
- Inspeccione las piezas de la estructura soportante de los módulos. Al mover suavemente algún módulo del arreglo, vea si existe alguna pieza floja o suelta que pueda causar problemas.
- Revise la operación de los interruptores y fusibles, asegúrese que el movimiento del interruptor sea sólido, vea si existe corrosión tanto en los contactos como en los fusibles. [3]

Capítulo 3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.

Al momento de realizar el diseño de una instalación fotovoltaica es necesario adquirir la información esencial que nos permitirá realizar los respectivos cálculos para el dimensionamiento de todos los elementos a implementar.

En este capítulo analizaremos varios detalles sociales, técnicos, estructurales y eléctricos para el diseño antes mencionado.

3.1 ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ELÉCTRICA EN LA ESCUELA EDWING BALTODANO.

Actualmente la escuela no cuenta con electrificación ya que no han llegado las redes eléctricas debido a la localización de ella, sin embargo, obtienen energía a través de un generadores eléctrico a base de gasolina que se utilizan solo por las noches con el fin de suplir la iluminación, es de 3200W y poseen como único medio de conexión un solo toma corriente que suministra una tensión de 120V en el lateral del equipo, desde este punto se realiza la conexión a los diferentes circuitos de iluminación, ya que el uso del generador funciona por un determinado tiempo.

El combustible es el medio de combustión principal del generador eléctrico generalmente es gasolina extra o súper y es colocada en la parte superior del equipo el cual posee la capacidad de almacenaje de dos galones. Este equipo convierte el combustible en energía eléctrica a través de la combustión del diésel. Unos de los problemas más comunes con este medio de generación es el ruido y los gases que emiten durante su operación por eso es el motivo de implementación del uso de los paneles solares.

3.2 CÁLCULOS TÉCNICOS.

Para empezar con el cálculo se realiza un levantamiento de información que nos permite conocer el dimensionamiento de la escuela, la cantidad de equipos que se van a conectar al sistema, la potencia, corriente y el voltaje de cada uno de ellos. Mediante este estudio de carga que realizamos podemos conocer la potencia instalada, el tiempo de uso de los equipos y así determinamos el consumo de potencia mensual y diario que se registra en la escuela Edwing Baltodano. Con dicha información realizaremos una serie de cálculos para determinar la cantidad de componentes necesarios para la instalación de la energía fotovoltaica en dicha escuela.

Dimensiones			Equipos		Tomacorrientes
Largo	Ancho	Alto	Cantidad	Descripción	Cantidad
Aulas					
7	6	3	4	Lámparas led 1*14Watts	2
Dirección					
7	6	3	2	Lámparas led 1*14Watts	3
			1	computadora de escritorio	
			1	Teléfono	
Comedor					
4	6	3	2	Lámparas led 1*14Watts	3
Cocina					
3	6	3	2	Lámparas led 1*14 watts	2
			1	Refrigeradora	
Sala de computación					
8	6	3	6	Lámparas led 1*14Watts	15
			10	Computadoras	
			1	Impresora	
Sala de maestros					
4	6	3	2	Lámparas led 1*14Watts	3
Baños					
4	6	3	2	Lámparas led 1*14Watts	
Pasillos					
4	6	3	10	Lámparas led 1*14Watts	

Tabla 1.1 Dimensionamiento por área según la carga.

Censo de carga							
Area	Equipos	Cantidad	Amperios (A)	Amperaje total (A)	Voltaje(V)	Potencia (W)	Potencia total (W)
Aula #1	Lámparas Led 1*14Watts	4	0.1700	0.6800	120	14	56
Aula #2	Lámparas Led 1*14Watts	4	0.1700	0.6800	120	14	56
Aula #3	Lámparas Led 1*14Watts	4	0.1700	0.6800	120	14	56
Aula #4	Lámparas Led 1*14Watts	4	0.1700	0.6800	120	14	56
Aula #5	Lámparas Led 1*14Watts	4	0.1700	0.6800	120	14	56
Aula #6	Lámparas Led 1*14Watts	4	0.1700	0.6800	120	14	56
Aula #7	Lámparas Led 1*14Watts	4	0.1700	0.6800	120	14	56
Aula #8	Lámparas Led 1*14Watts	4	0.1700	0.6800	120	14	56
Total		32	1.36	5.44		112	448
Dirección	Lámparas Led 1*14Watts	2	0.1700	0.3400	120	14	28
	Computadora	1	1.75	1.7500	120	210	210
	Teléfono	1	0.04	0.0417	120	5	5
	Total		1.9617	2.1317		229	243
Comedor	Lámparas Led 1*14Watts	2	0.1700	0.3400	120	14	28
Cocina	Lámparas Led 1*14Watts	2	0.1700	0.3400	120	14	28
Sala de computacion	Lámparas Led 1*14Watts	6	0.17	1.02	120	14	84
	Computadoras	10	1.75	17.5	120	210	2100
	Impresora	1	0.66	0.66	120	80	80
Sala de maestros	Lámparas Led 1*14Watts	2	0.1700	0.34	120	14	28
Baños	Lámparas Led 1*14Watts	2	0.1700	0.34	120	14	28
Pasillos	Lámparas Led 1*14Watts	10	0.1700	1.7	120	14	140

Tabla 1.2 Censo de carga de la escuela Edwing Baltodano.

Equipo	Cantidad	Corriente (A)	Corriente Total (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Horas/Dias (h/dias)	Dias uso/semana	Energía (Wh/semana)		
Lámparas Led	56	0.17	9.30	120	14	784	6	5	23,520		
Teléfono	1	0.04	0.04	120	5	5	8	5	200		
Refrigerador	1	2.00	2.00	120	240	240	12	7	20,160		
Computadoras	11	1.75	19.25	120	210	2,310	8	5	92,400		
Impresoras	1	0.67	0.67	120	80	80	6	5	2,400		
Σ Total=		31.25			W/Total	3,419		Consumo total por semana (Wh/semana)	138,680	Consumo total por semana (kWh/semana)	138.68
					kW/total	3.419		Consumo total por mes (Wh/mes)	4,215,872	Consumo total por día (kWh/mes)	4,216

Tabla 1.3. Energía

consumida en la escuela Edwing Baltodano.

El promedio anual de incidencia solar en Bluefields (Atlántico sur) es de 3.732 Kwh / m² por día (mapa de energía solar incidente diaria – SWERA -UNEP). Sin embargo durante los meses de junio, julio y agosto esta incidencia podría fluctuar un 30%. (4)



Figura 3.1. Promedio diario de incidencia solar en Bluefields

3.2.1 Calculo del arreglo fotovoltaico.

➤ Dimensionamiento del módulo fotovoltaico.

Para obtener la capacidad del módulo fotovoltaico debemos utilizar los mapas de irradiación solar con el fin de determinar la cantidad de radiación solar recibida por metros cuadrados en dicha región.

De los valores obtenidos del mapa de radiación solar por lo general se obtiene el promedio más bajo en todo el año considerando la radiación más crítica de dicha localidad con ese factor se determina la hora solar pico (HSP) que posee una equivalencia de $1000W/m^2$ esta constante se divide por la irradiación solar promedio con el fin de tener las horas pico de irradiación.

$$HSP = \frac{\text{Irradiación promedio}}{1000W/m^2}$$

Remplazando los valores obtenemos los siguientes datos:

$$HSP = \frac{3732Wh/m^2}{1000 W/m^2} = 3.732 \text{ h}$$

➤ Calculo del angulo de inclinacion de los modulos fotovoltaicos.

Según la el atlas solar de la fuente SWERA UNEP el ángulo de inclinación para la máxima captación solar es de 13° orientando los paneles hacia el sur.

➤ **Rendimiento global de la instalación**

El coeficiente de rendimiento se indica en porcentaje y expresa la relación entre el rendimiento real y el rendimiento nominal de la instalación fotovoltaica. De esta forma indica qué proporción de la energía está realmente disponible para la alimentación tras haber descontado las pérdidas energéticas (p. ej. debido a pérdidas térmicas y a pérdidas por cableado) y el consumo propio para la operación.

Kb	Pérdidas en el proceso de acumulación	Kb
0.05	Acumulados nuevos, sin descargas intensas	0.05
0.1	Acumulados viejos, descargas intensas, temperaturas bajas	0.1
Ka	Autodescarga de la batería	Ka
0.002	Baterías de baja autodescarga, sin mantenimiento	0.002
0.005	Baterías estacionarias de energía solar	0.005
0.012	Baterías de alta autodescarga	0.012
Kc	Pérdidas por el rendimiento del inversor	Kc
0	No hay inversor en la instalación	0
0.05	Rendimiento inversor 95%	0.05
0.1	Rendimiento inversor 90%	0.1
0.15	Rendimiento inversor 85%	0.15
0.2	Rendimiento inversor < 85%	0.2
Kv	Otras pérdidas no consideradas	Kv
0.15	Si no se tiene en cuenta pérdidas en cableado y equipos	0.15
0.05	Si se ha realizado un estudio detallado de pérdidas en equipos	0.05
Pd	Profundidad de descarga máxima admisible	Pd
0.9	Batería descargada hasta el 90%	0.9
0.8	Batería descargada hasta el 80%	0.8
0.7	Batería descargada hasta el 70%	0.7
0.6	Batería descargada hasta el 60%	0.6
0.5	Batería descargada hasta el 50%	0.5
0.4	Batería descargada hasta el 40%	0.4
0.3	Batería descargada hasta el 30%	0.3
N	Número de días de autonomía	N
3	Vivienda fines de semana	3
5	Vivienda habitual	5
15	Instalaciones especiales con servicio prioritario	15
20	Instalaciones especiales alta fiabilidad	20
Kv	Pérdidas en el controlador de	Kv

carga		
0.1	Controlador de carga eficiente	0.1
0.15	Controlador de carga antiguo, poco eficiente	0.15

Tabla 1.4. Coeficientes del rendimiento global.

Fórmula para calcular el rendimiento de la instalación.

$$R = (1-K_b-K_c-K_r-K_v) (1-K_a * \frac{N}{Pd})$$

Donde:

K_b: Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador.

K_a: Fracción de energía que se pierde por autodescarga.

K_c: Pérdidas por el rendimiento del inversor.

K_r: Pérdidas en el controlador de carga

K_v: Otras pérdidas no consideradas anteriormente.

N: Número de días de autonomía para asegurar un servicio sin carga.

➤ **Coeficientes requeridos para la instalación fotovoltaica.**

P_d: Profundidad máxima de descarga admisible.

Acumuladores nuevos, sin descargas intensas Kb= 0.050

Baterías estacionarias de energía solar Ka= 0.005

Rendimiento inversor 90% Kc= 0.100

Controlador de carga eficiente Kr= 0.100

Si se ha realizado un estudio detallado de pérdidas en equipos Kv= 0.050

Batería descargada hasta el 80% Pd= 0.800

Vivienda habitual N= 5

Donde:

$$R = (1-0.050-0.100-0.100-0.050) (1-0.005 * \frac{5}{0.800})=0.6781$$

El rendimiento global de la instalación fotovoltaica es de 0.6781.

➤ **Cálculo del arreglo fotovoltaico.**

Hoja de características de los paneles para emplear en la instalación:

Denominación	Modulo solar	
Pmax	345	W
Vnom	24	V
Vpm	37.95	V
Ipm	9.6	A
Voc	46.3	V
Isc	9.6	A

1. Energía diaria a producir por los paneles:

$$\frac{\text{Consumo diario}}{\text{Rendimiento global}} = \frac{138680}{0.6781} = 29215.01 \text{ W/h}$$

2. Energía que produce un panel:

$$\frac{HSP}{I_{pm}} = \frac{3.73}{9.6} = 35.81 \text{ Ah/panel y dia}$$

3. Numero de paneles:

$$\frac{\text{Energia producida por los paneles}}{I_{pm} * HSP} = \frac{29215.01}{9.6 * 3.73} = 34$$

4. Potencia del campo fotovoltaico:

$$\# \text{paneles necesarios} * P_{max} = 34 * 345 = 11730W$$

5. Intensidad de corriente del campo fotovoltaico:

$$I_{pm} * \#paneles = 9.6 * 34 = 326A$$

Por lo tanto, se utilizarán 34 paneles de 345Wp, con una tensión de 37.95V y una corriente de 9.6A.

3.2.2 Calculo del banco de baterías del sistema fotovoltaico.

Para obtener la capacidad de la batería del sistema tanto en corriente como en potencia es necesario saber acerca de los días de autonomía que son los días que el sistema de energía solar puede funcionar sin recibir radiación solar. Otro factor importante es la capacidad de descarga de la batería este es un valor adimensional que depende de los días de autonomía. El voltaje de la batería es una constante del sistema que nos permite definir el nivel de tensión que va a funcionar los equipos y así también determinar la conexión de los paneles solares, todos estos factores vienen adjuntos a la ficha técnica de la batería que se va a implementar debido a que la operación, garantía y vida útil dependen de funcionamiento que tenga el equipo.

➤ Calculo de la capacidad del banco de baterías.

Hoja de características de la batería a emplear en la instalación:

Denominación	Batería	
Capacidad nominal	216	Ah
Voltaje nominal	24	V

1. Capacidad de acumulación del banco de baterías:

$$\frac{\text{Energía diaria necesaria} * \text{días de autonomía} / V_{\text{banco de baterías}}}{\text{Profundidad de descarga} / 100}$$

$$= \frac{(29215.01 * 5) / 24}{80 / 100} = 7608Ah$$

2. Numero de baterías:

$$\frac{\text{Capacidad de acumulación en el banco de baterías}}{\text{Capacidad nominal}} = \frac{7608}{216} = 36$$

Por lo tanto, se utilizarán 36 baterías de 24V TROJAN con malla de fibra de vidrio absorbente (AGM) de ciclo profundo y libre de mantenimiento.

3.2.3 Calculo del controlador de carga.

Hoja de características del regulador seleccionado:

Denominación	Solar	
Voltaje	24	V
Intensidad	360	A

1. Intensidad máxima del regulador:

Intensidad maxima de corriente de los paneles * 1.1 = $326.4 * 1.1 = 359.04A$

Utilizaremos cuatro controladores de carga MAGNUM- POWER TRACK-100 (PT-100) conectados en paralelo.

3.2.4 Calculo del inversor.

CÁLCULO DEL INVERSOR

Rellenar solo las celdas que están en blanco.

Descripción	Número	P(W)	Horas / día	Días de uso / semana	Energía (Wh/semana)	% simultaneidad	Potencia simultánea (W)
Iluminación	56	14	6	5	23520	50%	392
Telefono	1	5	8	5	200	100%	5
Refrigerador	1	240	12	7	20160	100%	240
Computadora	11	210	8	5	92400	100%	2310
Impresora	1	80	6	5	2400	80%	64

Potencia total consumos: 3419 W

Potencia
simultanea

Potencia máxima consumidor: 240 W =3011W

Potencia mínima del inversor : 3613 W

Tensión del sistema: 24 V

El inversor se determina con la potencia de cada una de las cargas que es de 3613W con respecto a ese valor se concluye que el tipo de inversor que se necesite es:

Un inversor MAGNUM 4000W, 24VDC-120VAC onda senoidal pura serie MS4024

3.2.5 Calculo del calibre de los conductores de la instalación.

Para el calculo de la sección de cable, en los distintos tramos de nuestra instalación fotovoltaica, se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = (2 * L * I) / (\kappa * \Delta V) \text{ [mm}^2\text{]}$$

Donde: L = longitud del cable, I = intensidad (A), κ = conductividad (m/ Ω mm²), ΔV = caída de tensión

Utilizaremos Conductor eléctricos #10 AWG

3.2.6 Calculo de sombras.

El emplazamiento de los captadores solares debe estar libre de las sombras proyectadas de obstáculos alejados (como una montaña, un edificio o un gran árbol), y obstáculos próximos (como una chimenea, un alero del tejado o la vegetación estacional). Las sombras son unos de los mayores enemigos que podemos encontrarnos a la hora de instalar placas solares, por lo que debemos estar muy atentos para evitarlas lo máximo posible, la existencia de sombras sobre parte de un panel fotovoltaico produce la entrada en funcionamiento de los diodos “Bypass” de la caja de conexiones y esto provoca escalones en la curva I-V del mismo, es decir, su producción se reduce. Cuando una célula o grupo de células se sombrea, pasa de producir electricidad a consumirla, lo que puede provocar sobrecalentamiento y hasta la destrucción de la célula (lo que se conoce como **Punto Caliente** o **Hot Spot**), por ello la existencia de los **diodos “Bypass”** que hacen de puenteo de la corriente eléctrica para evitar que esto suceda.

3.2.7 Presupuesto del Proyecto.

PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICO					
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal	Impuesto	Total Final
Modulo Solar RST 345W, 37.95V	34	191.46	6,509.64	-	\$ 6,509.64
Batería Sellada Trojan 24V, 216AH	36	550.00	19,800.00	-	\$ 19,800.00
Inversor Magnum MS4024PAE 4500W,120/240VAC,18/34 VDC	1	2,434.14	2,434.14	365.12	\$ 2,799.26
Regulador Power Tracx 100A MPPT PT/100	4	750.00	3,000.00	414.00	\$ 3,414.00
Kid de accesorios eléctricos (Varios componentes)	1	1,000.00	1,000.00	150.00	\$ 1,150.00
Estructura para modulo Solar	1	700.00	700.00	105.00	\$ 805.00
Servicio de mano de obra por Instalación	1	800.00	800.00	120.00	\$ 920.00
Servicio de transporte	1	300.00	300.00	45.00	\$ 345.00
Sub total					\$ 35,742.90
Total Impuesto					\$ 1,199.12
Total General					\$ 36,942.02
Tasa de Cambio					35.10
Equivalente Córdobas					C\$1,296,664.90
Valor en letras:	Un millón doscientos noventa y seis mil seiscientos sesenta y cuatro córdobas con nueve centavos.				

Capítulo 4. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

4.1 Panel fotovoltaico (Risen solar technology).

Panel solar (risen solar technology). Módulo Policristalino de 345W. Risen energy es un fabricante mundial líder en productos solares fotovoltaicos de alto rendimiento.

El modulo Serie RSM72-6 es robusto con 72 celdas (6*12).

Características:

- Marca global financiable de nivel uno con fabricación automatizada de vanguardia
- 12 años de garantía.
- Fiabilidad garantizada y garantías de calidad estrictas mucho más allá de los requisitos certificados
- Certificado para soportar condiciones ambientales severas superficies anti-reflectante y anti-suciedad, minimiza la perdida de energía por la suciedad y el polvo, severa neblina de sal, amoniaco y resistencia a la arena de bloques para entornos de granjas y desiertos junto al mar. Excelente carga mecánica 2400Pa y carga de nieve de 5400Pa de resistencia.

Especificaciones:

Datos técnicos RSM72-6-345

Potencia máx. (Pmax): 345W

Tensión MPP (Vmpp): 37.95 V

Corriente MPP (Impp): 9.10^a

Tensión en circuito abierto (Voc): 46.30 V



Corriente de cortocircuito (Isc): 9.60 A
Temperatura de Operación: 46°C a $\pm 2^\circ\text{C}$
Coeficiente de temperatura (Pmpp): $-0,39\ \%/^{\circ}\text{C}$
Coeficiente de temperatura (Voc): $-0,32\ \%/^{\circ}\text{C}$
Coeficiente de temperatura (Isc): $0.055\ \%/^{\circ}\text{C}$
Tensión máx. del sistema: 1500 V

Dimensiones y Peso:

Largo: 1956mm, Ancho: 992mm, Grueso: 40mm
Peso: 22kg

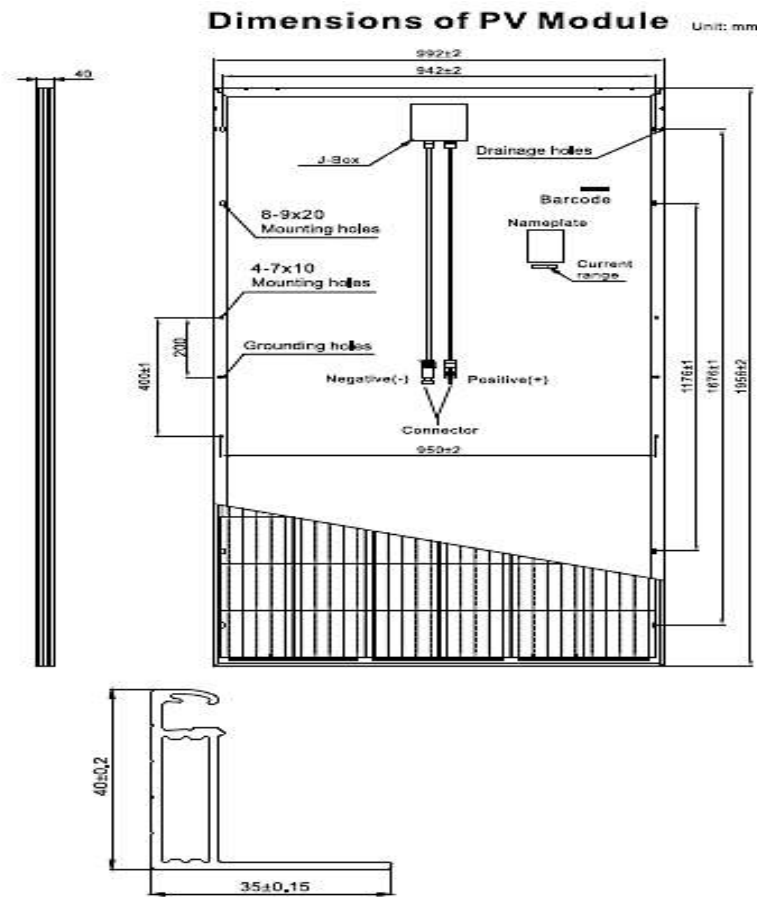
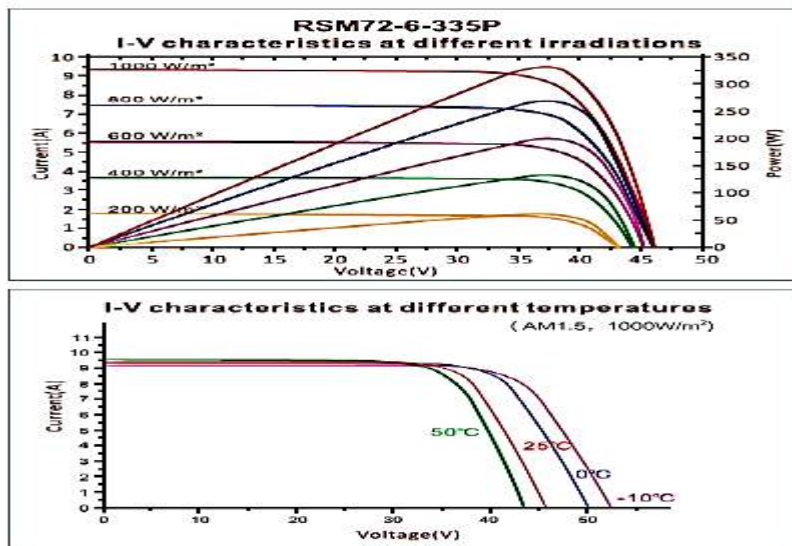


Figura 4.1 Dimensiones del panel solar.



Curvas de I-V bajo diferentes radiaciones.

Curvas de I-V bajo diferentes temperaturas.

Figura 4.2 Curvas

de I – V del panel fotovoltaico.

4.2 Batería Trojan SAGM 24 205 con malla de fibra de vidrio absorbente AGM de ciclo profundo, libre de mantenimiento 24V 216Ah.

Presentan un número de elementos de diseño para suministrar un óptimo desempeño. Las palcas robustas extienden el ciclo de vida de las baterías AGM de Trojan y un separador de fibra de vidrio que sirve para aislar las placas positivas y negativas mientras actúa como un panel secante para absorber el electrolito. El separador es mantenido bajo compresión entre las placas para asegurar contacto con las superficies de las mismas. Un diseño de rejilla diseñado por computadora es optimizado para densidad de alta potencia y una válvula de presión unilateral ignífuga evita la acumulación de excesiva presión. Las baterías AGM de Trojan de ciclo profundo son tolerantes a bajas temperaturas y resistentes a impactos y



vibración y poseen una resistencia interna para voltaje de descarga más alto y eficiencia de carga más alta.

Especificaciones de la batería

Voltaje nominal: 24V

Largo: 380 mm (14.97")

Ancho: 176 mm (6.94")

Altura: 357 mm (14.07")

Peso: 59 Kg. (131 lbs)

Capacidad: 216 AH a 100 horas de descarga

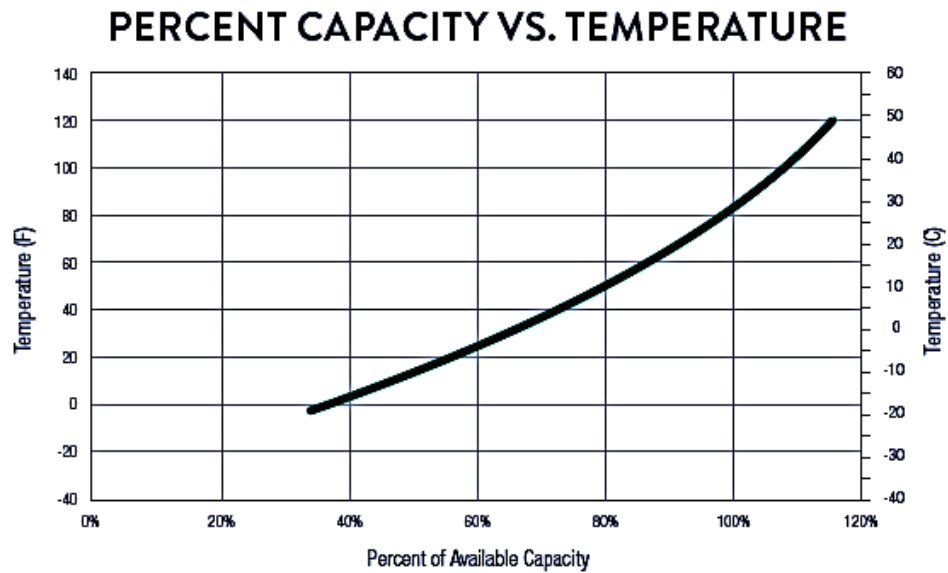


Figura 4.3 Porcentaje de capacidad disponible VS Temperatura.

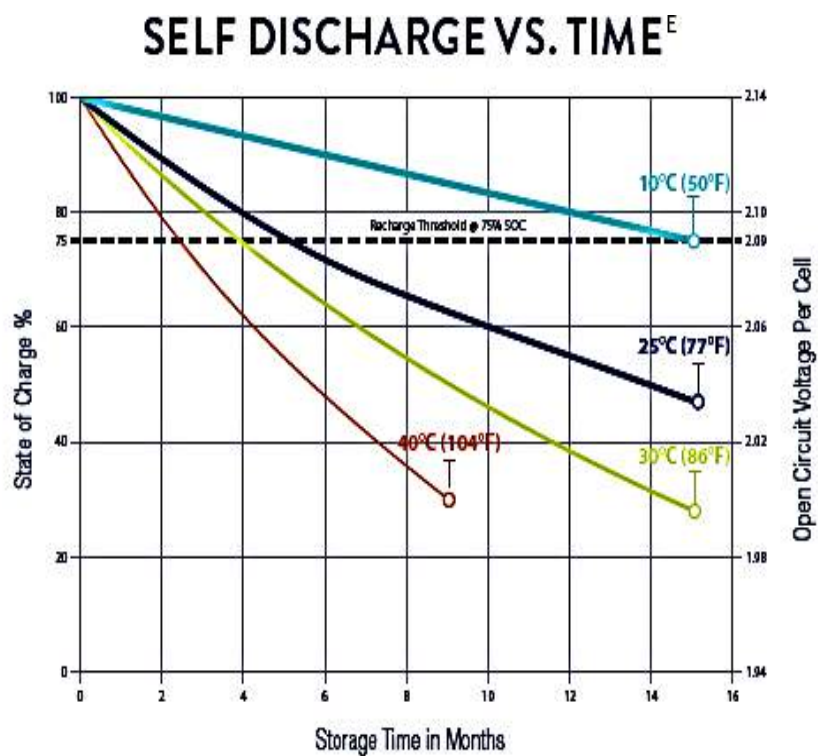


Figura 4.4 Auto descarga VS Tiempo.

BATTERY DIMENSIONS (shown with MB, height is 15.57 (395) with LT)

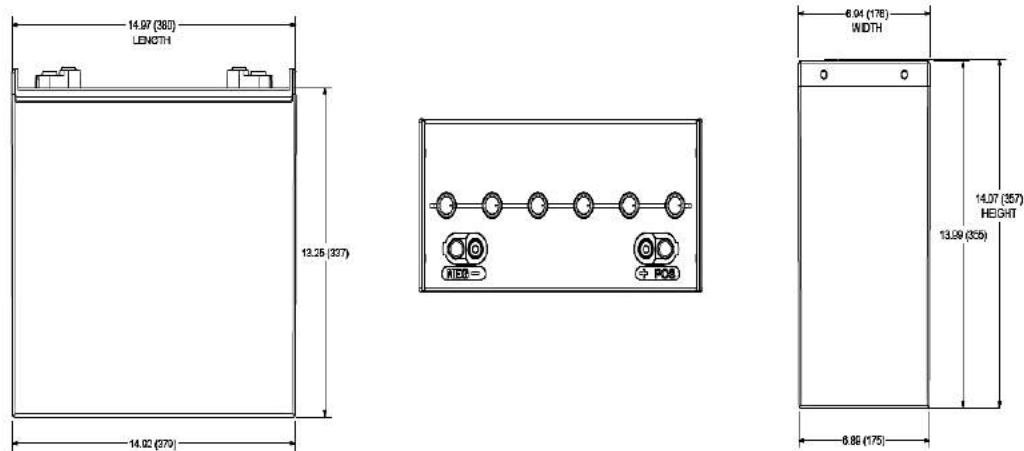


Figura 4.5 Dimensiones de la batería.

4.3 Controlador de carga MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia), PT-100.

El PT-100 es un controlador de carga MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia) diseñado para generar la máxima energía disponible en la matriz fotovoltaica y entregarla a las baterías. El algoritmo MPPT del PT-100 encuentra el punto de potencia máximo de generación de energía y opera en este punto mientras se regula la corriente de salida a 100 amperios y la tensión de la batería para poder recargarla completamente.

CARACTERÍSTICAS

- **Eficiencia alta:** El PT-100 proporciona una eficiencia de conversión típica del 99% y utiliza menos de cuatro vatios de potencia en modo nocturno.
- **Opciones de voltaje:** Compatible con sistemas de baterías de 12, 24 o 48V con detección automática del voltaje del sistema. El PT-100 producirá hasta 100 amperios independientemente del voltaje de la batería.
- **Potencia de salida y campo fotovoltaico:** Cada equipo puede generar hasta 6600W. El campo fotovoltaico puede sobredimensionarse ya que el equipo limita la salida a 100 A
- **GFDI:** Indicador/detector de fallos a tierra del campo fotovoltaico integrado con diagnóstico de fallos.
- **Indicadores LED y pantalla:** Múltiples indicadores LED y gran pantalla LED digital en el panel frontal con la información del sistema.
- **Protección electrónica extendida:** Protección por exceso de temperatura por reducción de la potencia de salida cuando la temperatura es muy alta, protección de cortocircuito del campo fotovoltaico, protección



por exceso de corriente de salida y re alimentación inversa durante la noche.

- **Método de regulación del cargador:** Carga automática de 3 etapas Bulk (intensidad máxima), Absorbtion (absorción) y Float (flotación) con ecualización manual.
- **Garantía 5 años.**

4.5 Inversor Magnum MS4024PAE 120/240V.

El inversor MS4024PAE 120/240V es un inversor de onda sinusoidal pura diseñado específicamente para las aplicaciones de energía renovables más exigentes, la serie MS-PAE, es potente fácil de usar y lo mejor de todo rentable,



Datos técnicos de MS4024PAE.

Potencia de salida: 4500W de potencia continua 5800 W de potencia máxima

Voltaje de entrada: 18V~34VDC

Voltaje de salida: 120/240 VCA

Corriente de entrada continua máxima: 266ACD

Forma de onda de salida: Onda sinusoidal pura.

Pico de eficiencia: Superior al 93%

Frecuencia de salida y precisión: 60 Hz +- 0.1 Hz

Protecciones contra sobrecorriente: con dos circuitos superpuestos.

Protección contra sobre temperatura: transformador, MOSFETS y batería.

CONCLUSIONES DEL PROYECTO.

Se logró detallar los aspectos fundamentales de la energía fotovoltaica, los componentes necesarios para su óptimo diseño y los beneficios que nos ofrece, específicamente para solucionar el problema de electrificación en comunidades rurales como es en la escuela Edwing Baltodano del municipio de Bluefields que por su localización todavía no cuentan con el servicio de energía eléctrica.

El estudio nos permite visualizar que es posible utilizar con éxito fuentes renovables de energía eléctrica debido a la múltiples ventajas que tiene ya que ayuda a la conservación del medio ambiente, da seguridad, comunicación, educación, conservación de alimentos y recreación. Esta fuente de energía experimentara un gran impulso en los próximos años y al mismo tiempo abrirá un gran abanico de posibilidades a la industria fotovoltaica y a los inversionistas públicos o privados que apuesten por esta tecnología.

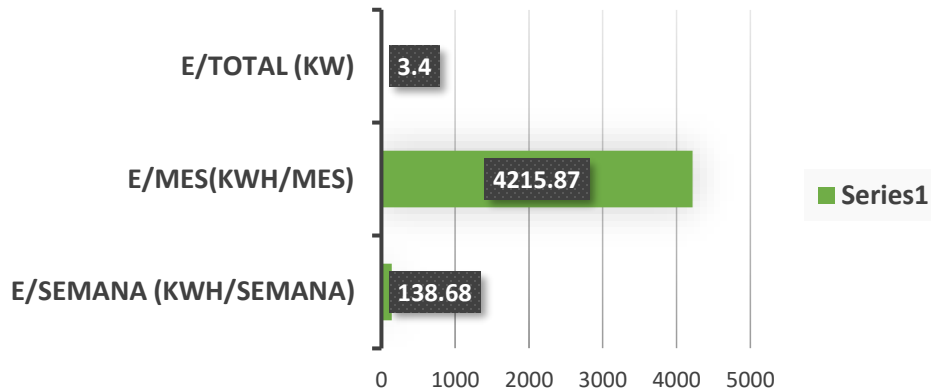
Mediante la propuesta podemos asegurar que los objetivos planteados han sido alcanzados en tiempo y forma, realizando primero el estudio de viabilidad de la zona, levantamiento de censo de carga, cálculos de los equipos necesarios para la generación de energía fotovoltaica en base a la demanda en kWh/diaria.

Para finalizar se realizó un estudio para demostrar la viabilidad del sistema fotovoltaico como una opción energética alternativa, el período de recuperación se estima en 15 años aproximadamente, esto significa a corto plazo una rentabilidad enorme, considerando contribuimos a la reducción del calentamiento global.

ANEXOS

Gráfico de Energía consumida.

Energía Consumida en la Escuela Edwing Baltodano.



Gasto utilizando el Generador Eléctrico.

Gastos Incurridos en Generador Eléctrico a base de gasolina

	Gasolina	Notas
Precio Unitario	C\$130.00	
Cant Gls.	32	1
Costo Total Mensual	C\$4,160.00	
Costo Total Anual	C\$49,920.00	2

Notas:

- 1 Dos Generadores consumen 8 galones a la semana, 4gls c/u.
- 2 Suponiendo que el precio de combustible se mantuvo en todo el año

Gasto utilizando los Paneles Fotovoltaicos.

Proyección

Inversión Inicial Panel Fotovoltaico	C\$1,296,664.90	
Vida útil proyectada	15.00	años
Costo Anual	C\$86,444.33	C\$1.73

Cabe señalar que en el noveno año el costo aumentará debido a que requerirá la compra de 36 baterías. Ya que tienen una vida útil proyectada de 8 años.

Simulación de la Factura de Energía Eléctrica según el consumo generado por mes.

Tarifa T-0

Consumo mensual de 4,216 KWH

Detalle de Importe	Importe C\$
Consumo de Energía Kwh	6,408.32
Alumbrado Público	9.05
Comercialización	35.08
I.N.E. 35%	0.35
I.V.A 15%	961.25
Total a Pagar en Córdoba	C\$ 7,414.05

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Tesis de estudio para la electrificación con energías alternativas, utilizando celdas fotovoltaicas para electrificar el poblado de cañada colorada, municipio de apaxco, estado de México, recuperado de:

[https://www.academia.edu/9616415/INSTITUTO POLIT%C3%89CNICO NACIONAL ESCUELASUPERIORDEINGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA JOS%C3%89_CARILLO_Y%C3%81%C3%91EZ_JES%C3%9AS_ISIDRO_ENRIQUE_MORALES_L%C3%93PEZ](https://www.academia.edu/9616415/INSTITUTO_POLIT%C3%89CNICO_NACIONAL_ESCUELASUPERIORDEINGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA JOS%C3%89_CARILLO_Y%C3%81%C3%91EZ_JES%C3%9AS_ISIDRO_ENRIQUE_MORALES_L%C3%93PEZ)

2. Energía solar fotovoltaica: Calculo de una instalación aislada, de Miguel Pareja Aparicio, recuperado de:

<https://www.casadellibro.com/libro-energia-solar-fotovoltaica-calculo-de-una-instalacion-aislada/9788426722300/2610647>

3. Estudio, diseño o implementación de un sistema de energía solar en la comuna Puerto Roma de la Isla de Mondragón del Golfo de Guayaquil, provincia de Guayas, recuperado de:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6553/1/UPS-GT000602.pdf>

4. Evaluación de recursos de energía solar y eólica (SWERA), recuperado de:

[https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_\(SWERA\)](https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_(SWERA))

5. Tesis de Diseño de un sistema solar fotovoltaico de bajo consumo para uso domiciliario en comunidades rurales fuera del Sistema Interconectado Nacional, recuperado de:

<http://ribuni.uni.edu.ni/1172/1/80491.pdf>

6. Propuesta de generación eléctrica a través de un sistema solar fotovoltaico para uso Domiciliar, recuperado de:

<http://ribuni.uni.edu.ni/1168/1/80521.pdf>

FUENTES CONSULTADAS POR INTERNET.

1. [https://issuu.com/nataliayuliano/docs/hector l. gasquet -
energía fotovoltaica](https://issuu.com/nataliayuliano/docs/hector_l._gasquet_-_energ%C3%ADa_fotovoltaica)
2. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/efecto-de-las-sombras-en-un-panel-solar-fotovoltaico/>
3. <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/energia-solar/instalacion-captadores-solares.html>
4. <https://tecnosolab.com/noticias/distancia-entre-filas-de-paneles-solares/>
5. <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>
6. <http://www.monografias.com/trabajos61/sistema-hibrido-eolico-fotovoltaico/Image28031.jpg>
7. [http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2002/solarcells spani
sha.htm](http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2002/solarcells_spanish.htm).
8. <http://www.portalsolar.com/energia-solar-paneles-solares.html>.