

Aplicaciones menores de Sistemas Fotovoltaicos

Minor Applications of Photovoltaic Systems

CAMPOS-CALDERA, Carla†*, ALDERETE-ALDERETE, Javier Enrique, MUÑOZ-MARQUEZ, Jesús y RUIZ -IBARRA, Jesús Antonio

Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Parral

ID 1^{er} Autor: *Carla Campos-Caldera* / ORC ID:0000-0001-6115-9320, Researcher ID Thomson:S-2523-2018, arXiv Author ID: ccampos, CVU-CONACYTID:172324

ID 1^{er} Coautor: *Javier Enrique, Alderete-Alderete* / ORC ID: 0000-0002-1401-3776, Researcher ID Thomson:S-2929-2018, arXiv Author ID: jalderete

ID 2^{do} Coautor: *Jesús, Muñoz-Marquez* / ORC ID:0000-0001-7373-89X, Researcher ID Thomson:S-2911-2018, arXiv Author ID: jmunoz57

ID 3^{er} Coautor: *Jesús Antonio, Ruiz-Ibarra* / ORC ID:0000-0002-2755-2812, Researcher ID Thomson:S-2919-2018, arXiv Author ID: jaruiz18

Recibido 3 de Febrero, 2018; Aceptado 30 Marzo, 2018

Resumen

Las energías renovables representan hoy en día la única alternativa viable de sustentabilidad en la generación continua de energía a nivel mundial. Remontándonos a la historia, la evolución tecnológica y el crecimiento de sociedades, cada vez más demandantes, han hecho que las energías presentes - hidrocarburos y carbono - sean insuficientes para abastecer los quehaceres diarios de la humanidad. En referencia a lo antes expuesto ha surgido el enfoque crucial por normar y condicionar el uso de los recursos naturales (presentes en todos los niveles jerárquicos de nuestra sociedad), mencionando que no es hasta el año 2000 que se considera seriamente producir energías limpias como medida cautelar. El presente trabajo está dedicado en mostrar la aplicación de al menos una de las formas de las energías limpias. La principal contribución que se reportará en este artículo será un suministro eléctrico alternativo al tradicional (CFE) para el funcionamiento de un aula de educación a distancia y una isla solar.

Fotovoltaico, Energía Limpia, Isla Solar

Abstract

Renewable energies represent nowadays the only viable alternative of sustainability in the continuous generation of energy worldwide. Going back to history, the technological evolution and the growth of societies, increasingly demanding, have made the present energies - hydrocarbons and carbon -, insufficient to supply the daily tasks of humanity. On the basis of the above, the crucial approach has emerged for regulating and conditioning the use of natural resources (present in all hierarchical levels of our society), mentioning that it is not until the year 2000 that clean energy is seriously considered as a preventive measure. The present work is dedicated to show the application of at least one of the forms of clean energy. The main contribution reported in this article will be an alternative electric power supply to the traditional one (CFE) for the operation of a distance education classroom and a solar island.

Photovoltaic, Clean Energy, Solar Island

Citación: CAMPOS-CALDERA, Carla, ALDERETE-ALDERETE, Javier Enrique, MUÑOZ-MARQUEZ, Jesús y RUIZ -IBARRA, Jesús Antonio. Aplicaciones menores de Sistemas Fotovoltaicos. Revista de Energías Renovables 2018. 2-4:8-18

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ccampos@itparral.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El presente trabajo tiene la intención de mostrar el análisis y diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía de un aula tipo dedicada para la educación a distancia y una isla solar en la que se conectarán dispositivos móviles menores (laptops, celulares) en la ciudad Hidalgo del Parral Chihuahua.

El desarrollo de la investigación pretende visualizar que es posible la generación de energía fotovoltaica en las diversas zonas geográficas de nuestro país, comenzando con la premisa de que la mayor parte del territorio Mexicano recibe en promedio una radiación global media diaria de 5 KWh/m².

En contraste a lo antes expuesto, podemos afirmar que las hidroeléctricas (suministro convencional de energía en la zona norte del país) no es el único medio de generación de energía, demostrándose un crecimiento exponencial de energía fotovoltaica en México de 2005 a la fecha (Caldera, 2018).

Las secciones que conforman este trabajo son 6, los conceptos básicos para el entendimiento de la teoría que plantea este documento se abordan en la primer sección, el diseño del sistema fotovoltaico (SF) para el aula a distancia y la isla solar se presenta en la segunda sección, las características técnicas de los componentes seleccionados de nuestro SF son tabulados en la tercer sección, el monitoreo del sistema se reporta en la cuarta sección, seguida de una quinta sección que presenta agradecimientos, las secciones del artículo finalizan con conclusiones y trabajos a futuro.

Conceptos Básicos

En esta sección se definen muchos de los términos mencionados a lo largo del artículo, conceptualizamos la diferencia entre celda y paneles o módulos solares así como cada uno de los elementos necesarios en un sistema fotovoltaico conectado a la red. Los 2 principales componentes para la producción de energía eléctrica en los sistemas fotovoltaicos son las celdas solares y el astro rey, el sol.

Una celda solar es un dispositivo formado de elementos semiconductores que al incidirse luz sobre su unión pn, los fotones absorbidos a la frecuencia adecuada transfieren una energía que es recuperada por colectores ubicados al final de los semiconductores, comercialmente las celdas fotovoltaicas que se comercializan tienen un rendimiento máximo del 15% (T=25°C) por una radiación incidente 1KW/m² y una tensión máxima de 0.58V con materiales como el silicio monocristalino, policristalino y arseniuro de galio o bien películas fotovoltaicas de silicio amorfo, telurio de cadmio y desileniuro de cobre.

El conjunto de celdas solares dentro de un arreglo matricial establece lo que comúnmente denominamos módulos o paneles solares cuyo estándar en el mercado tiene entre 30, 36, 60 o hasta 90 celdas en serie cuyos voltajes nominales van desde los 12V hasta los 36V.

El sol es la principal fuente de energía de nuestro planeta tierra, siendo su característica de radiación (se puede dividir en directa, difusa y reflejada) la que impacta en las aplicaciones fotovoltaicas, la integral del espectro de la radiación solar recibe el nombre de irradiancia y es un dato característico de la energía que el sol puede proporcionar, respecto a esto, la cantidad de energía por unidad de tiempo y superficie (constante solar) que incide en la cima de la atmósfera terrestre es $G=1353\text{W/m}^2$.

La constante G se ve atenuada por la propia atmósfera, masas de aire (tener en cuenta que una masa de aire es nombrada zenit), la superficie de la tierra, altura, latitud, condiciones climáticas (Escobedo, 2017) y los ángulos de incidencia de los rayos solares, hacen que G se normalice a un valor de $G=1000\text{W/m}^2$.

La incidencia de los rayos solares depende de la posición y la geometría que éste guarda respecto de la tierra (a lo largo del día y del año), es por ello que se explicaran conceptos como declinación del sol δ , posición solar (latitud ϕ , longitud λ , ángulo horario ω), la altura solar α , ángulo azimutal γ y zenital θ_z (Ibañez *et al*, 2005), (Pericas, 2017), (Oropeza, 2015). La declinación solar es el ángulo que forma el plano de la eclíptica con el plano del ecuador (Ibañez *et al*, 2005).

El plano de la eclíptica es la órbita que describe el movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol (trayectoria elíptica). Siendo que el eje de rotación de la tierra siempre forma un ángulo de 23.45° con la perpendicular al plano de la eclíptica.

El ángulo de declinación varía a lo largo del año entre 23.45° (solsticio de verano) y -23.45° (solsticio de invierno). En (Pericas, 2017) la declinación se define como el ángulo formado por la línea que une los centros de la tierra y el Sol (dirección de la radiación directa) y el plano ecuatorial.

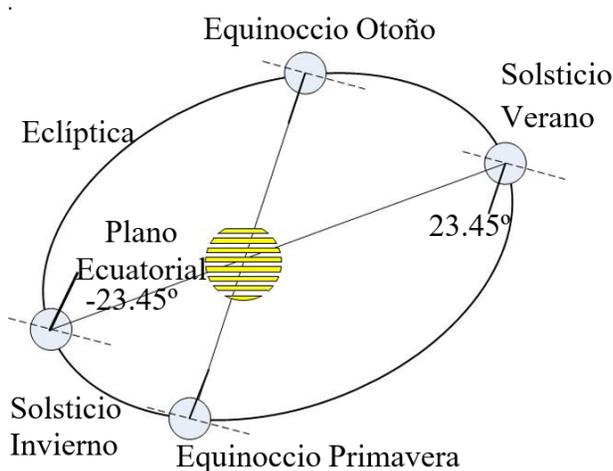


Figura 1 Declinación Solar
Fuente: Elaboración Propia

La posición de un punto en la tierra se determina por la latitud y longitud, el ángulo formado por la dirección radial y el plano ecuatorial es la latitud ϕ y la longitud es el ángulo formado por el plano meridional local y el plano meridional de Greenwich, figura 2.

El ángulo horario es equivalente a dar la hora solar local, se define 0 al mediodía solar e incrementa de 15° en 15° por cada hora que falta para llegar al mediodía. La altura solar es el ángulo formado por la dirección Sol – Tierra y el plano horizontal correspondiente al emplazamiento considerado (α en Figura 3).

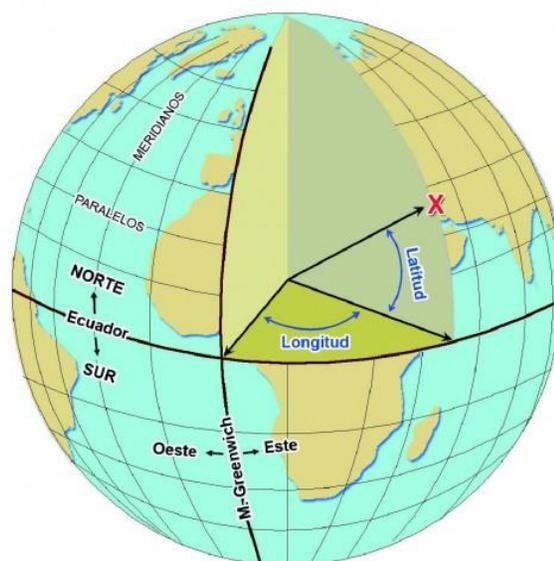


Figura 2 Posición solar
Fuente: Google

El ángulo azimutal (en figura 3, γ) es el ángulo formado por la proyección de la dirección Sol-Tierra sobre el plano horizontal local y la dirección sur, es positiva cuando se abre hacia el este y negativo cuando se abre hacia el oeste (Pericas, 2017).

La definición del ángulo zenital se facilita si imaginamos un observador en la tierra y marcamos sobre él una línea vertical, entonces el ángulo formado entre esta línea vertical y los rayos solares es el ángulo zenital (θ_z , figura 3).

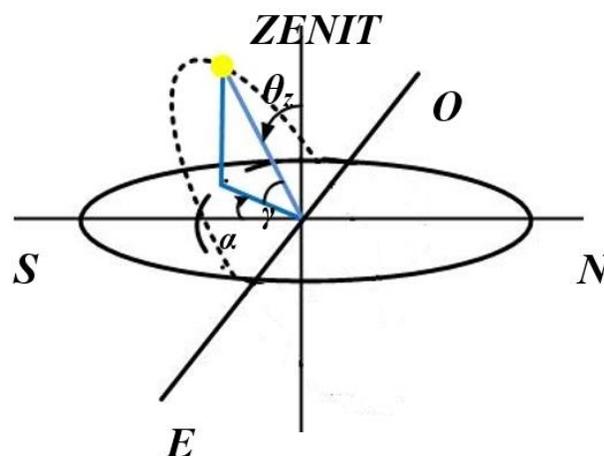


Figura 3 Altura solar, ángulo azimutal y ángulo zenital
Fuente: Elaboración Propia

No menos importante en los sistemas fotovoltaicos son las protecciones de los circuitos eléctricos, hablamos específicamente de interruptores termomagnéticos.

Los cuales al circular una corriente a través de su elemento bimetálico o electroimán que excede la corriente nominal al cual fue calibrado, interrumpe el paso de corriente en el circuito.

Diseño del sistema Fotovoltaico

En (Pericas, 2017) se establece que para la determinación del número de paneles solares se necesita conocer las horas solares pico y la potencia máxima que abastecerán los módulos solares. La potencia que deberán suministrar los paneles solares para el aula a distancia se desglosa en la tabla 1. Las horas solares pico h_{sp} necesarias para el cálculo del número de paneles n_m se obtienen a partir de la media de irradiación solar sobre una superficie inclinada en relación a la irradiancia estándar de referencia 1000 W/m^2 que el sol abastece, formula (1).

$$h_{sp} = \frac{G_t}{G} \quad (1)$$

Siendo G_t la media diaria mensual de radiación solar sobre una superficie inclinada (orientada al sur $\gamma = 0$, con la inclinación de los paneles $s = 27^\circ$). En (Pericas, 2017) se definen un procedimiento que permite determinar G_t a partir del conjunto de ecuaciones (2) y (3).

$$\bar{R} = (1 - f_m) \cdot \bar{R}_b + f_m \cdot f_d + \rho \cdot f_r \quad (2)$$

$$\bar{G}_t = \bar{R} \cdot \bar{G}_h \quad (3)$$

En (2) \bar{R} es el factor de proporcionalidad entre las dos medias mensuales de radiación, f_m es la fracción entre las medias mensuales de la radiación total difusa y radiación total, \bar{R}_b es la transmitancia de la atmósfera, f_d y f_r son factores de la incidencia de los rayos solares, siendo f_d radiación difusa y f_r radiación reflectiva. La \bar{G}_h , depende de la ubicación en dónde se instalarán los paneles solares (vea figura 4), es la media mensual de radiación diaria sobre una superficie horizontal y se obtiene en la página de la Nasa (NASA, 2018) proporcionando ϕ y λ de la región. La h_{sp} que se usará en (5) es el promedio anual de las horas pico del año 2017, el valor de h_{sp} - calculado en Excel aplicando (1) a (3) figuras 17 y 18 del Ápendice- corresponde al valor de \bar{G}_t cuando es expresada en $\text{KWh/m}^2\text{-dia}$.

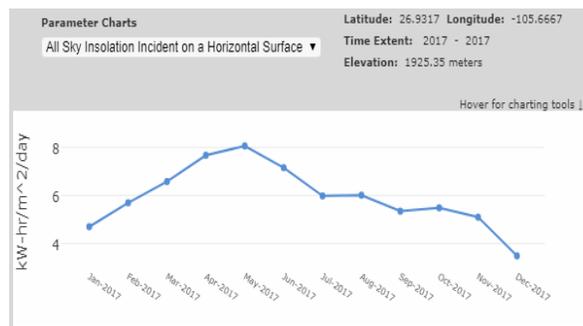


Figura 4 Valores \bar{G}_h

Fuente: NASA

La determinación del número de paneles solares n_m del SF necesarios para abastecer las cargas del aula a distancia (Tabla 1) necesitan el cálculo de E_s (formula 4), la potencia máxima nominal del panel solar P_{max} y las horas solares pico.

$$E_s = \frac{E_{dc}}{f_r} = \frac{4284 \text{Wh/dia}}{0.75} = 5712 \text{Wh/dia} \quad (4)$$

En (4), E_s indica la energía necesaria que los paneles solares deben suministrar, E_{dc} la energía de la carga, f_r un factor de rendimiento del sistema fotovoltaico, en nuestro caso decidimos que fuera igual a 0.75 (Pericas, 2017), algunos fabricantes dentro de la literatura han asignado a f_r valores comprendidos entre 0.85 y 0.9 (85% a 90% de eficiencia).

$$n_m = \frac{E_{dn}}{(P_{max})(h_{sp})} = \frac{5712 \text{Wh/dia}}{(250 \text{W})(6.56 \text{h})} = 3.48 \quad (5)$$

| Equipo | # | Potencia (W) | Tiempo Operación | Consumo (Wh) |
|----------------------|---|--------------|------------------|--------------|
| Laptop | 1 | 120 | 8 | 960 |
| Proyector | 1 | 200 | 8 | 1600 |
| Bocinas | 1 | 63.5 | 8 | 508 |
| Lámparas ahorradoras | 2 | 44 | 8 | 352 |
| Ventilador | 1 | 90 | 8 | 720 |
| Modem | 1 | 18 | 8 | 144 |
| Consumo Total | | 579.5 | | 4284 |

Tabla 1 Cargas del aula de Educación a distancia.

Fuente: Elaboración Propia

En las figura 5, se muestra las conexión del sistema fotovoltaico del aula a distancia, apreciándose 4 paneles solares en arreglo en paralelo con un microinversor encargado de transformar la tensión de CD entregada por los paneles a una señal de CA de 127V y una frecuencia de 60 Hz.

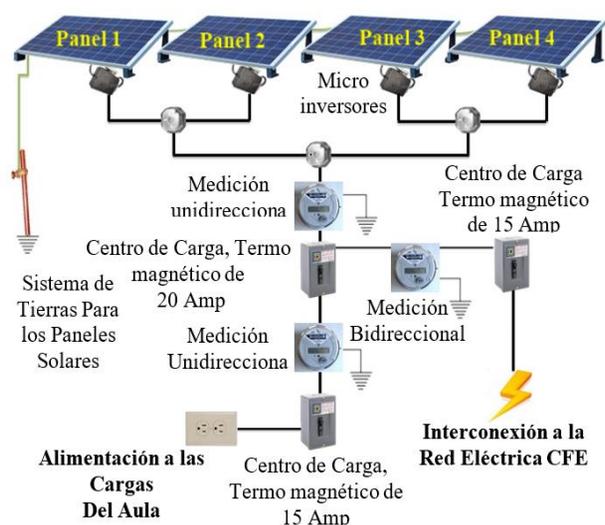


Figura 5 Conexión del sistema Fotovoltaico del aula a distancia

Fuente: *Elaboración Propia*

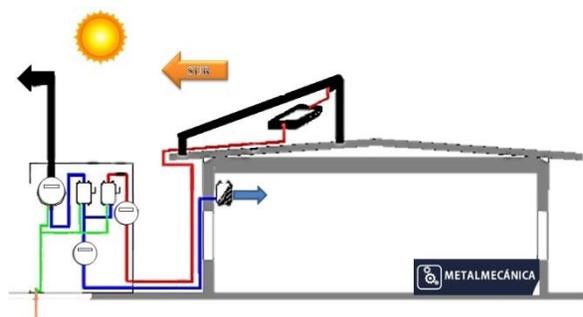


Figura 6 Esquemático de la instalación fotovoltaica

Fuente: *Elaboración Propia*

En figuras 5 y 6, los 4 micro-inversores se encuentran conectados en paralelo, mediante un alimentador (con cable de 3x10 AWG uso rudo) la energía se lleva al aula de educación a distancia dónde se localizan un medidor de energía, medio de interrupción y protección, en la figura 7, se aprecia el digrama unifilar (conexión monofásica).

Al interior del aula se cuenta con una segunda medición y protección para conectar la carga (Tabla 1); además de interconectarse el SF a un medidor bidireccional de energía que con su protección adecuada une la red de baja tensión al centro de carga de la alimentación tradicional del aula (CFE).

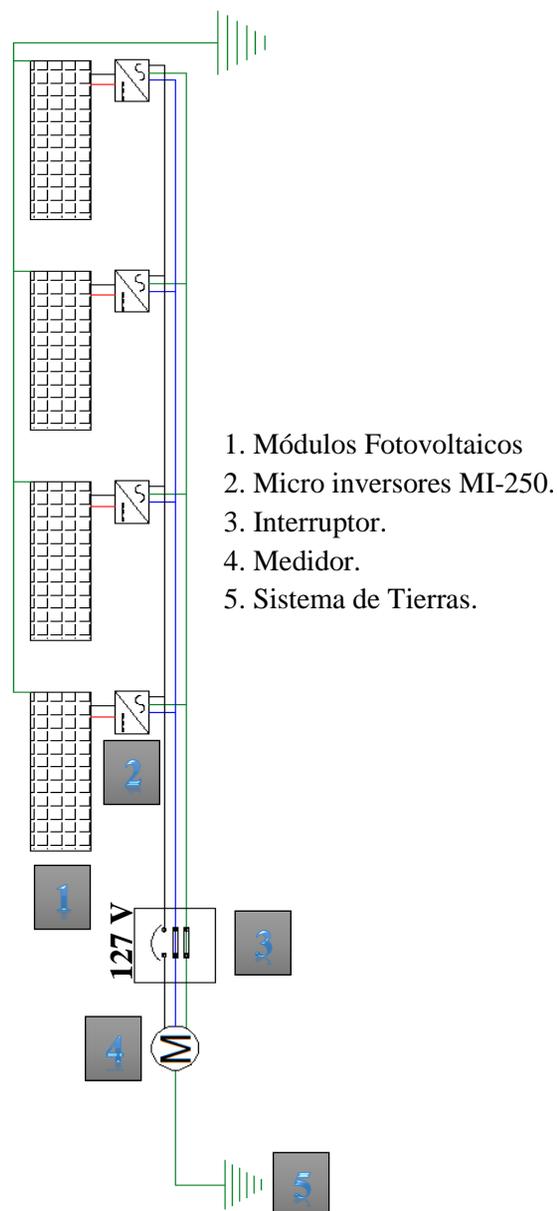


Figura 7 Diagrama unifilar para un sistema monofásico

Fuente: *Elaboración Propia*

El sistema fotovoltaico debe cumplir las protecciones contra alto voltaje, bajo voltaje, frecuencia, sobrecorriente y una protección denominada anti-isla que CFE exige en sus especificaciones, esta última con el fin de que si la energía de la red de CFE se interrumpe no se inyecte energía por parte del SF, es por ello que los microinversores poseen una protección integrada –diodo- que al no recibir voltaje de la red CFE desconectan los paneles solares para evitar esa inyección de energía a la red que pudiera provocar un accidente.

Las cargas establecidas para la isla solar considera la conexión de 4 equipos móviles menores (EMM) cuya máxima exigencia sería el trabajo de 2 laptops y 2 celulares en un lapso de 8 horas, con este dato la carga demandada por la isla sería de 2,208 W, por tanto aplicando (6) el número de módulos se calcula en (7).

$$E_{dn} = \frac{1200Wh/dia}{fr} = \frac{2208Wh/dia}{0.75}$$

$$E_{dn} = 2944Wh/dia \quad (6)$$

$$n_m = \frac{2944Wh/dia}{(250W)(6.56h)} = 1.795 \quad (7)$$

Obtenido el número de paneles para los SF, el microinversor que cada panel solar utilizará se selecciona considerando la máxima potencia del panel P_{max} y su voltaje de operación óptimo V_{mpp} (Tabla 3), las características técnicas de ambos componentes se detallan en la sección 3. En este punto sólo resta estimar los conductores y las protecciones de nuestro SF.

La selección de un conductor puede realizarse por 2 procedimientos, el primero (básico) es el cálculo por ampacidad, el segundo es por caída de tensión, prácticamente se recomienda utilizar los dos métodos para asegurar que el calibre del conductor sea el correcto. En este estudio, se presenta primero el cálculo por ampacidad y enseguida por caída de tensión.

Los conductores por Ampacidad del SF – conectado como circuito monofásico de 127V a 10A, con una potencia de 1000W con canalización CONDUIT PVC – se obtienen de acuerdo a la norma NOM-001-SEDE 2012 Tabla 310-15(b)(16) de (DOF 2012). El calibre seleccionado según la norma (figura 14 del Anexo 1) es el 14 AWG con aislantes THW-LS (se escoge este aislante por ser comercial) con una $I=20A$ (valor mínimo en la figura 14, Anexo 1), esta corriente abastecerá fácilmente la I_D demanda del circuito FV.

Sin embargo, tendremos que verificar que ni la temperatura ni la cantidad de cables afecten el rendimiento del calibre seleccionado, por ello se verifican los factores de corrección por temperatura f_{ct} y por agrupación (cantidad de cables en el conductor).

La I_D se puede calcular (si es que no sea desea emplear la $I=20A$ consultada en la tabla de la figura 14, Anexo 1) como se indica en (CCEEA, 2017), ecuación (8), en donde I_{SC} es la corriente de corto circuito del panel.

$$I_D = I_{SC} \times 1.25 \times 1.25 \quad (8)$$

La determinación de f_{ct} se hace consultando la temperatura a la que opera nuestro SF (30 °C) en la tabla 310-(15b)(16)(a)(figura 15 del Anexo 1) y se aprecia que el valor de corrección asignado por la norma es $f_{ct}=0.94$ si la temperatura ambiente oscila entre 31°C y 35°C.

La canalización del circuito monofásico del SF sólo lleva 3 conductores de corriente (fase, neutro y tierra) con 1 sólo cable activo, por lo que el factor de corrección f_c será la unidad, $f_c=1$, es decir, no se percibe disminución de capacidad en nuestros conductores, estos trabajarán al 100%.

Los factores de corrección antes definidos permiten determinar la corriente real I_R que el calibre seleccionado podrá manejar, aplicando la ecuación (9) se puede afirmar que el calibre seleccionado es ideal puesto que puede alimentar un circuito que consuma hasta 18.8A.

$$I_R = I \cdot f_{ct} \cdot f_c \quad (9)$$

El método por caída de tensión utiliza la fórmula (10) para circuitos monofásicos (Monterrey, 2013) y la tabla de impedancias (DOF, 2012).

$$AV = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot Z}{V_0} \times 100 \quad (10)$$

En (10), ΔV es el porcentaje de caída de tensión, L la longitud del circuito expresada en Km, I corriente nominal, Z impedancia y V_0 el voltaje de la línea a neutro. Nuestro SF tiene una $L=15m$, $I=7.4A$, $Z=9.2\Omega/Km$ (el valor Z se aprecia en la tabla de la figura 16 (Anexo 1) a partir del calibre 14 AWG) por lo que sustituyendo estos datos en (10), la caída de tensión es de 1.61%, valor mínimo comparado al 5% máximo permisible desde la acometida hasta el punto más lejano del circuito derivado (para el cálculo se consideró la distancia de 15 metros desde la acometida hasta el punto más lejano de nuestro circuito).

Por tanto la selección del calibre 14 AWG es la correcta, por recomendación del fabricante es aceptable incluso un calibre 12 AWG, por experiencia práctica se coloca el calibre 10 AWG.

Las protecciones del circuito fueron interruptores termo magnéticos, el cálculo de su capacidad toma en cuenta un voltaje $V = 127$ Volts, con potencia $P = 1000$ Watts y factor de potencia $f_p = 0.9$ para el SF, por lo tanto aplicando la formula (11), tenemos una I_p de protección que tiene un valor de 8.75A.

$$I_p = \frac{P}{V \cdot f_p} \quad (11)$$

Al valor calculado de I_p se le aumenta un 25% por motivos de seguridad, por lo que al multiplicar I_p por 1.25 su valor final es de 10.93A, este valor es la base de la I que nuestro interruptor termomagnético debe soportar.

Comercialmente, los termomagnéticos se encuentran en valores de 10, 15 y 20 A, según la I_p calculada se elige el valor próximo superior, esto nos arroja un termo magnético de 15 A, similar al que se muestra en la imagen.



Figura 8 Interruptor termomagnético

Fuente: Google

Características Técnicas del sistema.

En la sección *Diseño del sistema fotovoltaico* se establecen la cantidad de módulos solares para abastecer la carga del aula a distancia y la isla solar, por optimización de rendimiento, los paneles tienen una P_{max} de 250 W.

El modelo de los paneles es IUSASOL y cumplen los requisitos normativos de IEC y UL, los microinversores son de la misma marca puesto que sus características mecánicas y eléctricas (Tablas 2, 3 y 4) se ajustaron a los requisitos técnicos y de presupuesto establecidos para nuestro proyecto.

En la tabla 2, los 4 paneles operan bajo un rango de temperatura -40°C a $+80^{\circ}\text{C}$, ante un sistema de voltaje máximo 1000V (IEC)/600VDC(UL) con rango máximo de fusible en serie de 15A y una tolerancia en potencia del +3%. Los módulos se van ubicar en la ciudad de Hidalgo del Parral Chihuahua, México, geográficamente se localiza a una latitud norte de 26.93167° y a una longitud oeste de -105.40 , Figura 8.

Los paneles solares basan su orientación (PLACE, 1984), (Del Sol, 2008) en la ubicación geográfica de la región Hidalgo del Parral Chihuahua la cual se encuentra a una latitud $\phi = 26.93^{\circ}$ al norte del ecuador, por lo que la captación más óptima de los rayos solares se logrará guiando los paneles al sur.

La inclinación de los módulos depende de la altura solar, el ángulo zenital, la latitud de nuestra zona geográfica y la declinación δ , como ya se afirmó en la sección II tomamos la practicidad de colocar los paneles en un rango de $\pm 10^{\circ}$ en referencia a la latitud de nuestra región.

Físicamente la herramienta SunSeeker facilitó la ubicación sur necesaria para nuestros paneles y su elevación se logró mediante una herramienta de nivel que puede fácilmente descargarse en cualquier celular figura 10 y 11.



Figura 9 Hidalgo del Parral Chihuahua

Fuente: © Google Maps



Figura 10 Herramienta SunSeeker
Fuente: ©Google

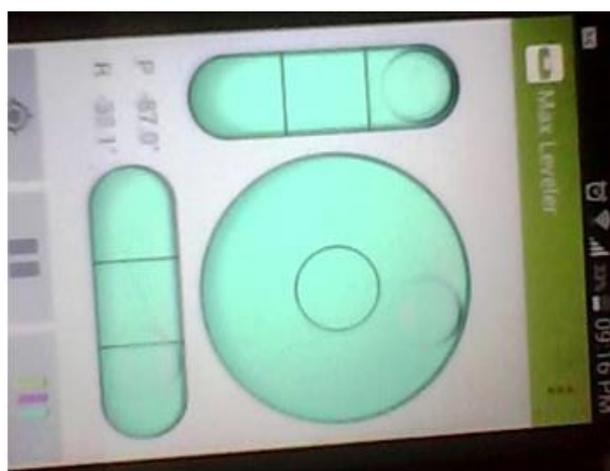


Figura 11 Herramienta Max Leveler

| Tipo de celda | Policristalina |
|---------------------|--|
| Arreglo de la celda | 60 (6 x 10) |
| Dimensiones | 1668x 982 x 46.2 mm (largo, ancho,alto) |
| Peso | 19 Kg (44.1 Lb) |
| Cubierta Frontal | Vidrio Alta transmisividad texturado y templado de 3.2 mm |
| Material del marco | Aleación de aluminio (6063) anodizado, con toma de tierra. |
| Encapsulante | Eva, Back Sheet, Field Resistent a la interperie. |

Tabla 2 Características mecánicas de los paneles
Fuente: Elaboración Propia

| | Panel 1 | Panel 2 | Panel 3 | Panel 4 |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Potencia máxima nominal (P _{max}) [W] | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Voltaje de operación óptimo (V _{mpp}) [V] | 30.42 | 30.42 | 30.14 | 28.93 |
| Corriente de operación óptima (I _{mpp}) [A] | 8.44 | 8.34 | 8.33 | 8.8 |
| Voltaje de circuito abierto (Voc) [V] | 38.33 | 37.84 | 37.74 | 37.75 |
| Corriente de corto circuito (Isc) [A] | 8.94 | 8.93 | 8.95 | 9.53 |

Tabla 3 Características Eléctricas de los paneles
Fuente: Elaboración Propia

| | |
|----------------------------|-----------|
| Potencia Máxima de Entrada | 250W |
| Tensión de Entrada | 25-40 VCC |
| Frecuencia Nominal | 60 HZ |
| Tensión Nominal de Salida | 127 VCA |

Tabla 4 Características Eléctricas del inversor MI-01-250
Fuente: Elaboración Propia

Monitoreo del Sistema

El SF posee 3 medidores, 1 de ellos bidireccional, que permiten verificar en todo instante las características de energía generada (paneles solares), los otros 2 medidores son unidireccionales y registran la energía demandada (Cargas Tabla 1) e inyectada (en la red de la Escuela, CFE).

Los datos reflejados por nuestros medidores en cierto modo son validados por el modulo de adquisición 9063 de la compañía LabVolt.

El sistema adquisitor de LabVolt consta de 4 entradas de alto voltaje, 2 salidas análogas, 8 entradas análogas, 3 entradas digitales y 9 salidas digitales (figura 12) que permiten analizar y monitorear voltaje, corriente, potencia, frecuencia además de analizar armónicos y graficar espectros de frecuencias (Lab-Volt Ltd., 2009).

Las terminales utilizadas del modulo 9063 para nuestro proyecto fueron las entradas de alto voltaje cuyos rangos de medición oscila entre 80 – 800V, 4 – 40A, potencia en W y energía en Wh, almacenando así la información de energía de nuestro sistema fotovoltaico.

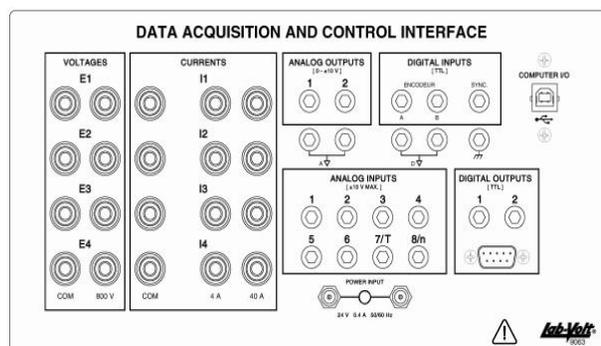


Figura 12 Panel Frontal del módulo 9063
Fuente: Lab-Volt Ltd

El módulo 9063 a través de su interfaz LVDAC-EMS refleja los datos de energía de nuestro sistema, figura 13 y 14.



Figura 13 Interfaz LabVolt
Fuente: Lab-Volt Ltd

Los datos visualizados por la interfaz LVDAC-EMS comprueba que en menos 2 horas se llegó a producir 1000 W (figura 13) durante un día de monitoreo en que las condiciones climáticas no eran muy favorables (día nublado), en un día con condiciones óptimas y una no tan alta exigencia de las cargas, la mayor parte de la energía generada se inyecta a la red, la cantidad máxima de energía que los paneles generaron por hora fue 558Wh.



Figura 14 Interfaz LabVolt, día óptimo
Fuente: Lab-Volt Ltd

Es importante mantener las condiciones óptimas de la instalación del SF afin de que la producción energética no vea afectado su rendimiento (Sandoval, 2018).

Anexo 1

| Tamaño o Designación | Temperatura nominal del conductor (véase Tabla 310-13) | | | | | |
|----------------------|--|----------------------------|---|----------|-------------|---------------------------|
| | 60 °C | | 75 °C | | 90 °C | |
| | TIPOS | TIPOS | TIPOS | TIPOS | TIPOS | TIPOS |
| mm ² | TW*, CCE, TWD-JV | RHW*, THHW*, THW*, TT, USE | MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THHW-L, XHHW*, XHHW-2, USE-2 FEP*, FEPB* | UF* | RHW*, XHHW* | RHW-2, XHHW*, XHHW-2, DRS |
| | Cobre | | | Aluminio | | |
| 0,824 | 18 | --- | 14 | --- | --- | --- |
| 1,31 | 16 | --- | 18 | --- | --- | --- |
| 2,08 | 14 | 20* | 20* | --- | --- | --- |
| 3,31 | 12 | 25* | 25* | --- | --- | --- |
| 5,26 | 10 | 30 | 35* | 40* | --- | --- |
| 8,37 | 8 | 40 | 50 | 55 | --- | --- |
| 13,3 | 6 | 55 | 65 | 75 | 40 | 50 |
| | | | | | 60 | |

Figura 15 Tabla 310-(15b) (16) Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores asilados para 0 a 2000V nominales y 60° C a 90 ° C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrado, para una temperatura de 30 ° C Fuente: DOF 2012

| Temperatura ambiente en °C | Factores de corrección | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Para temperaturas ambientes distintas de 30 °C, multiplicar la anterior capacidad de conducción de corriente por el correspondiente factor de los siguientes | | | | | | | | | |
| 21-25 | 1,08 | 1,00 | 1,05 | 1,04 | 1,00 | 1,08 | 1,00 | 1,05 | 1,04 | 1,00 |
| 26-30 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 31-35 | 0,91 | 0,91 | 0,94 | 0,96 | 0,96 | 0,91 | 0,94 | 0,94 | 0,96 | 0,96 |
| 36-40 | 0,82 | 0,82 | 0,88 | 0,91 | 0,91 | 0,82 | 0,88 | 0,88 | 0,91 | 0,91 |
| 41-45 | 0,71 | 0,71 | 0,82 | 0,87 | 0,87 | 0,71 | 0,82 | 0,82 | 0,87 | 0,87 |
| 46-50 | 0,58 | 0,58 | 0,75 | 0,82 | 0,82 | 0,58 | 0,75 | 0,75 | 0,82 | 0,82 |
| 51-55 | 0,41 | 0,41 | 0,67 | 0,76 | 0,76 | 0,41 | 0,67 | 0,67 | 0,76 | 0,76 |
| 56-60 | --- | --- | 0,58 | 0,71 | 0,71 | --- | 0,58 | 0,58 | 0,71 | 0,71 |
| 61-70 | --- | --- | 0,33 | 0,58 | 0,58 | --- | 0,33 | 0,33 | 0,58 | 0,58 |
| 71-80 | --- | --- | --- | 0,41 | 0,41 | --- | --- | --- | 0,41 | 0,41 |

Figura 16 Tabla 310-(15b)(16) Factores de corrección Fuente: DOF 2012

| Tamaño o Designación AWG / kcmil | RESISTENCIA ELECTRICA CA, REACTANCIA INDUCTIVA E IMPEDANCIA PARA CABLES DE 600 V, OPERANDO A 75° C EN UN SISTEMA TRIFASICO A 60 HZ: 3 CABLES UNIPOLARES EN UN MISMO DUCTO (CONTINUACIÓN) | | |
|----------------------------------|--|---------------------|------------------|
| | Ω/km, al neutro | | |
| | *Impedancia Z de conductores de Cobre | | |
| | Factor de potencia = 0,9* | | |
| | Ducto de PVC | Conduit de aluminio | Conduit de acero |
| 14 | 9,2 | 9,2 | 9,3 |
| 12 | 6,0 | 6,0 | 6,0 |
| 10 | 3,6 | 3,6 | 3,6 |
| 8 | 2,4 | 2,4 | 2,4 |
| 6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| 4 | 0,98 | 0,98 | 1,0 |
| 3 | 0,81 | 0,81 | 0,82 |
| 2 | 0,63 | 0,65 | 0,67 |
| 1 | 0,51 | 0,54 | 0,55 |
| 1/0 | 0,42 | 0,45 | 0,43 |
| 2/0 | 0,36 | 0,36 | 0,37 |
| 3/0 | 0,29 | 0,30 | 0,31 |
| 4/0 | 0,24 | 0,26 | 0,26 |
| 250 | 0,21 | 0,23 | 0,23 |
| 300 | 0,19 | 0,20 | 0,21 |

Figura 17 Tabla 310-(15b) (16) Impedancias Fuente: DOF 2012

| Mes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
|------------|-----|-----------|-------------|------------|-------------|-----------|-----------|------------|--------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Enero | 17 | 0.2040151 | 1371.96234 | 20.309082 | 0.1874711 | 1.1780222 | 78.70046 | 228408194 | 16.888 | 1.1780222 | 13202184 | 0.7108143 | 0.1888877 | 1.5484894 |
| Febrero | 47 | 0.4000677 | 1384.749356 | -12.546681 | 0.1172816 | 1.4531818 | 81.269978 | 270791.79 | 20.448 | 1.4531818 | 1665228.64 | 0.71145 | 0.1662952 | 1.5484894 |
| Marzo | 75 | 1.2192647 | 1395.70253 | -2.4277481 | 0.02131487 | 1.5403123 | 88.397276 | 3211775.18 | 23.652 | 1.5403123 | 3751514.25 | 0.712649 | 0.1689722 | 1.5484894 |
| Abril | 100 | 1.8790506 | 1362.21267 | 8.6488167 | 0.0484922 | 1.6328864 | 94.860552 | 3869521.31 | 27.612 | 1.6328864 | 5411376.36 | 0.7140178 | 0.1700275 | 1.5484894 |
| Mayo | 115 | 2.1219178 | 1351.53839 | 18.791791 | -0.17197409 | 1.7405153 | 99.94189 | 3946463.31 | 29.616 | 1.7405153 | 6488073.2 | 0.7151892 | 0.1690287 | 0.8712796 |
| Junio | 142 | 1.7878142 | 1388.82183 | 21.89161 | -0.2174205 | 1.7897291 | 102.54848 | 4026915.77 | 29.78 | 1.7897291 | 6108768.81 | 0.687751 | 0.2044281 | 0.8221954 |
| Julio | 186 | 1.4844126 | 1388.82619 | 21.3890154 | -0.15748508 | 1.7495474 | 101.18676 | 3979502.96 | 21.401 | 1.7495474 | 5833214.33 | 0.5405303 | 0.1846765 | 0.8444517 |
| Agosto | 228 | 1.3248204 | 1320.48176 | 13.4810986 | -0.12399392 | 1.6930287 | 97.01821 | 3772729.38 | 21.8 | 1.6930287 | 5307924.87 | 0.5721297 | 0.1812356 | 0.9384872 |
| Septiembre | 258 | 4.4421233 | 1346.60056 | 2.2880781 | -0.15719389 | 1.5925212 | 91.20275 | 3203215.96 | 21.88 | 1.5925212 | 3864041.85 | 0.5668289 | 0.2185405 | 1.0004867 |
| Octubre | 288 | 4.9170142 | 1364.17373 | -3.991972 | 0.08617435 | 1.4841505 | 85.054489 | 2862381.68 | 19.892 | 1.4841505 | 3685477.11 | 0.4880411 | 0.2251812 | 1.3878491 |
| Noviembre | 318 | 5.4781261 | 1384.749356 | -18.911587 | 0.17408136 | 1.3952387 | 79.964811 | 2198777.81 | 18.288 | 1.3952387 | 3547618.28 | 0.7897318 | 0.1509189 | 1.4832214 |
| Diciembre | 344 | 3.0128887 | 1384.749356 | -12.686216 | 0.21881016 | 1.3325251 | 77.487846 | 2200751.81 | 12.458 | 1.3325251 | 3488181.58 | 0.8790333 | 0.2000217 | 1.6064867 |

Figura 18 Pantalla de Cálculos de irradiación

Fuente: Elaboración Propia

| Mes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
|------------|-----|-----------|-------------|------------|-------------|-----------|-----------|------------|--------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Enero | 17 | 0.2040151 | 1371.96234 | 20.309082 | 0.1874711 | 1.1780222 | 78.70046 | 228408194 | 16.888 | 1.1780222 | 13202184 | 0.7108143 | 0.1888877 | 1.5484894 |
| Febrero | 47 | 0.4000677 | 1384.749356 | -12.546681 | 0.1172816 | 1.4531818 | 81.269978 | 270791.79 | 20.448 | 1.4531818 | 1665228.64 | 0.71145 | 0.1662952 | 1.5484894 |
| Marzo | 75 | 1.2192647 | 1395.70253 | -2.4277481 | 0.02131487 | 1.5403123 | 88.397276 | 3211775.18 | 23.652 | 1.5403123 | 3751514.25 | 0.712649 | 0.1689722 | 1.5484894 |
| Abril | 100 | 1.8790506 | 1362.21267 | 8.6488167 | 0.0484922 | 1.6328864 | 94.860552 | 3869521.31 | 27.612 | 1.6328864 | 5411376.36 | 0.7140178 | 0.1700275 | 1.5484894 |
| Mayo | 115 | 2.1219178 | 1351.53839 | 18.791791 | -0.17197409 | 1.7405153 | 99.94189 | 3946463.31 | 29.616 | 1.7405153 | 6488073.2 | 0.7151892 | 0.1690287 | 0.8712796 |
| Junio | 142 | 1.7878142 | 1388.82183 | 21.89161 | -0.2174205 | 1.7897291 | 102.54848 | 4026915.77 | 29.78 | 1.7897291 | 6108768.81 | 0.687751 | 0.2044281 | 0.8221954 |
| Julio | 186 | 1.4844126 | 1388.82619 | 21.3890154 | -0.15748508 | 1.7495474 | 101.18676 | 3979502.96 | 21.401 | 1.7495474 | 5833214.33 | 0.5405303 | 0.1846765 | 0.8444517 |
| Agosto | 228 | 1.3248204 | 1320.48176 | 13.4810986 | -0.12399392 | 1.6930287 | 97.01821 | 3772729.38 | 21.8 | 1.6930287 | 5307924.87 | 0.5721297 | 0.1812356 | 0.9384872 |
| Septiembre | 258 | 4.4421233 | 1346.60056 | 2.2880781 | -0.15719389 | 1.5925212 | 91.20275 | 3203215.96 | 21.88 | 1.5925212 | 3864041.85 | 0.5668289 | 0.2185405 | 1.0004867 |
| Octubre | 288 | 4.9170142 | 1364.17373 | -3.991972 | 0.08617435 | 1.4841505 | 85.054489 | 2862381.68 | 19.892 | 1.4841505 | 3685477.11 | 0.4880411 | 0.2251812 | 1.3878491 |
| Noviembre | 318 | 5.4781261 | 1384.749356 | -18.911587 | 0.17408136 | 1.3952387 | 79.964811 | 2198777.81 | 18.288 | 1.3952387 | 3547618.28 | 0.7897318 | 0.1509189 | 1.4832214 |
| Diciembre | 344 | 3.0128887 | 1384.749356 | -12.686216 | 0.21881016 | 1.3325251 | 77.487846 | 2200751.81 | 12.458 | 1.3325251 | 3488181.58 | 0.8790333 | 0.2000217 | 1.6064867 |

Figura 19 Horas solares pico en Excel

Fuente: Elaboración Propia

Agradecimientos

En esta sección reconocemos al Tecnológico Nacional de México y al campus Instituto Tecnológico de Parral por financiar el desarrollo y publicación de la presente investigación. El sustento teórico de este documento en gran medida se lo agradecemos a la Universitat Politècnica de Catalunya a través del programa Experto en Energías Renovables.

Conclusiones y trabajos a futuro

Este artículo presenta los elementos teóricos necesarios para llevar a cabo la instalación física de un sistema fotovoltaico para un aula a distancia y una isla solar que alimentó a dispositivos móviles menores.

Ante los resultados mencionados en la sección **Monitoreo del Sistema** se demuestra que es posible la implementación de sistemas con fuentes de energías alternas a los esquemas tradicionales (CFE) y que incluso una aplicación menor es capaz de inyectar una buena cantidad de energía a la red cuando la demanda del sistema no se encuentra al máximo.

A futuro queda elaborar sistemas híbridos fotovoltaicos como en (Ricalde, 2015) de mayor producción de energía que contrasten su generación contra la inversión económica que a corto y largo plazo un usuario doméstico e industrial puedan amortizar, pero algo claro podemos mencionar al respecto, la energía solar es una de las tantas energías limpias cuyo impacto real se producirá cuando el subsidio del gobierno ya no este presente, siendo una de las alternativas viables de sustentabilidad (García, 2017) energética.

Referencias

Caldera, E. (2018). La industria Eléctrica y las Energías Renovables. *Revista de Energías Renovables*, Vol. 4(34), 5-12.

CCEEA. (Abril 2017). Energía Solar Fotovoltaica (Sistemas Autónomos). *Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas*. Torreón, México.

Del Sol, N. &. (2008). Energía Renovable y no Renovable. *Revista tecnica de la empresa de telecomunicaciones*. Cuba.

DOF. (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012: Instalaciones Eléctricas. Ciudad de México.

Escobedo, J., González, M., Reynoso, L. y Alarcón, M. (2017). Cuantificación de la incidencia de radiación ultravioleta (UV-A, UV-B) en Durango México. *Revista de Energías Renovables ECORFAN*. Vol. 1(2), 23-30.

García, J., Bautista, M.E., Hernández, A. y Ramírez, C. R. (2017). Generación de energía sustentable, por medio de una celda de combustible microbiana. Caso de estudio: Marismas de Altamira, Tamaulipa y Pueblo Viejo, Veracruz. *Revista de Energías Renovables ECORFAN*, Vol 1(2), 1-11.

Ibañez, M., Rosell, J.R., y Urrutia, J.I. (2005). *Tecnología Solar*. Madrid España:Mundiprensa.

Lab-Volt Ltd. (2009). Data Acquisition and Control System LVDAC-EMS User Guide.

Recuperado de:

http://web.csulb.edu/~lrodrig/testEquip/labvolt/Data_Acquisition_and_Control_System_LVDA_C-EMS.pdf

Monterrey, V. (2013). *Manual del Electricista*. San Nicolas de los Garza, N.L.

NASA (2018). *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources*. Recuperado de: <https://power.larc.nasa.gov/>

Organización Latinoamericana de Energía & Programa Latinoamericano de Cooperación Energética (PLACE). (1984). *Manual de Solarimetría y Evaluación Energético Solar*. Quito. Recuperado de: biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0268.pdf

Oropeza, I. (2015). *Programa de Posicionamiento Solar SOLARTIUH v1.0 Desarrollo para el diseño del Control Solar en Edificios*. XXXIX Semana Nacional de Energía Solar, Campeche, México.

Pericas, R. (Septiembre – Noviembre 2017). Módulo 1 Tema 1: Recursos Energéticos. *Manual de Energías Renovables de la Universitat Politècnica de Catalunya*. Barcelona España.

Pericas, R. (Septiembre – Noviembre 2017). Módulo 2 Tema 1: Energía Solar Térmica. *Manual de Energías Renovables de la Universitat Politècnica de Catalunya*. Barcelona España.

Ricalde, L., Kaul, J., Cantún, K., Rivadeneyra, G. (2015). *Optimización en el dimensionamiento de un sistema híbrido fotovoltaico-eólico-batería bajo condiciones del recurso eólico para la ciudad de Mérida y el puerto chelem, Yucatán México*. XXXIX Semana Nacional de Energía Solar, Campeche, México

Sandoval, B. (2018). Ganancia de producción de un sistema fotovoltaico interconectado posterior a su mantenimiento. *Revista de Energías Renovables ECORFAN*, Vol. 4(34). 6-9.