

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE 1ra. Ed.



EN COLABORACIÓN CON:



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

TESIS:

**“DISEÑO DE UN MODELO DE CENTRO DE FORMACION PROFESIONAL, FUNCIONANDO CON
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.”**

AUTOR: LUIS ALONSO BARRERA HERNÁNDEZ

INGENIERO INDUSTRIAL

TUTOR: Msc. Ing. JAIME AREVALO

LEÓN, OCTUBRE DEL 2013

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a:

DIOS, por brindarme el regalo de la vida, una familia maravillosa, acompañarme en todo momento y regalarme sabiduría para hoy poder cumplir con una etapa más de mi vida.

A MI PAPÁ Y A MI MAMÁ: Luis Alonso Barrera Peñate y Melida Hernández de Barrera; agradezco por todo su amor, por su comprensión, sus consejos, su apoyo y por toda la confianza depositada. Han sido un ejemplo de dedicación y fortaleza.

A MIS HERMANOS: Ramón Eduardo Barrera Hernández y Alejandra María Barrera Hernández; agradezco por su amor y por compartir conmigo cada momento.

A MIS AMIGOS, COMPAÑEROS Y DOCENTES, que han sido parte de este triunfo y con los que he compartido este camino, han sido parte fundamental en mi formación profesional. De manera especial agradezco a mi asesor por su valioso apoyo, tiempo y confianza.

¡Gracias!

RESUMEN

El presente proyecto contempla el diseño de una instalación de generación eléctrica de una potencia nominal de 22.5 kwp mediante paneles fotovoltaicos; que permitirá satisfacer el 70% de la demanda energética del Centro de Formación Profesional - CFP FUNSALPRODESE (consumo energético anual es de 46.632 KWh).

Para el estudio se ha realizado el dimensionamiento del consumo, definiendo las áreas disponibles para la colocación de los Módulos Fotovoltaicos. La instalación está compuesta por dos áreas, las cuales fueron definidas de acuerdo a criterios técnicos que facilitarían la instalación. El "sistema A" se encuentra en la cubierta de edificio de aulas y oficinas; y el "sistema B" en la cubierta de Taller de Mecánica Automotriz; representando un espacio disponible de 170 mts², (120 mts² y 50 mts² respectivamente).

El diseño presenta una instalación que permite que el excedente de energía producida sea vertida a la red eléctrica de baja tensión, los días que el CFP FUNSALPRODESE no se encuentra en actividades.

ABSTRACT

This project involves the design of a power generation facility with a rated output of 22.5 kWp photovoltaic panels by; it possible to meet 70% of energy demand Training Center - CFP FUNSALPRODESE (annual energy consumption of 46,632 kWh).

For the study was conducted dimensioning consumption, defining the areas available for the placement of Photovoltaic Modules. The facility is composed of two areas, which were defined according to technical criteria to facilitate installation. The "system A" is on the cover of building classrooms and offices; and the "system B" on the cover of Automotive Mechanical Repair; represents a space of 170 m2 (120 m2 and 50 m2 respectively).

The design has a device that allows the excess energy produced is fed into the low voltage grid, on the CFP FUNSALPRODESE not on activities.

Contenido

I.	INTRODUCCIÓN - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
II.	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.	2
III.	OBJETIVOS.	4
A.	OBJETIVO GENERAL.....	4
B.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
IV.	FUNDAMENTACION TEORICA.....	5
A.	ENERGIA SOLAR.....	5
B.	IRRADIACIÓN.....	6
C.	INSOLACIÓN.....	6
D.	ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	7
E.	FUNCIONAMIENTO DE UN PANEL FOTOVOLTAICO.....	8
F.	FACTORES DE EFICIENCIA DE UN PANEL FOTOVOLTAICO.....	11
G.	APLICACIONES PRINCIPALES.....	12
H.	POTENCIA DE LA ENERGIA SOLAR.....	13
I.	IRRADIANCIA SOLAR EN LA SUPERFICIE TERRESTRE.....	14
J.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	16
K.	ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	16
L.	CONEXIÓN CON LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	20
M.	AUTOCONSUMO.....	21
V.	DISEÑO METODOLÓGICO DEL ESTUDIO.....	22
A.	CRITERIOS DE DISEÑO.....	22
B.	GENERALIDADES DEL CFP FUNSALPRODESE.....	22
C.	DIMENSIONAMIENTO DEL CONSUMO DEL CFP - FUNSALPRODESE.....	23
D.	CALCULO DE CONSUMO.....	25
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
A.	RECURSO SOLAR DISPONIBLE.....	29
B.	DEFINICIÓN DEL ÁREA DISPONIBLE.....	30
C.	ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA.....	31
D.	COSTOS DEL SISTEMA.....	40
VII.	CONCLUSIONES.....	44
VIII.	RECOMENDACIONES.....	46
IX.	NOMENCLATURA Y GLOSARIO DE TERMINOS.....	47
X.	REFERENCIAS BILIOGRAFICAS.....	49
XI.	ANEXOS.....	50

CONTENIDO DE TABLAS.

Tabla 1. Detalle de Cargas por Área en el CFP FUNSALPRODESE.....	23
Tabla 2. Detalle de Luminarias / Área	24
Tabla 3. Detalle de Aires Acondicionados / Área	24
Tabla 4. Detalle de Ventiladores / Área	24
Tabla 5. Detalle de equipo de cómputo.....	24
Tabla 6. Detalle de equipo de compresión de aire	24
Tabla 7. Potencia Nominal Demandada por los Equipos / Área	26
Tabla 8A. Potencia Demandada / Horas.....	26
Tabla 9. Resumen de Energía Demandada / Hora	28
Tabla 10. Demandas de Energía / mes.....	28
Tabla 11. Irradiancia Solar Diaria Para Todos Los Meses Del Año.	29
Tabla 12. Áreas Disponibles para Instalación de MFV	30
Tabla 13. MFV por Área Disponible.....	32
Tabla 14. Balances y Resultados Principales del Sistema.....	36
Tabla 15. Demanda vs. Generación Fotovoltaica	37
Tabla 16. Disminución en los Costos por Consumo de Energía	38
Tabla 17. Presupuesto del Sistema Fotovoltaico para el CFP FUNSALPRODESE.....	41
Tabla 18. Calculo de Indicadores Financieros del Proyecto	43

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Composición de la capacidad instalada para el 2010.....	1
Figura 2. Curva de Irradiancia Diaria y Horas Solares Pico	7
Figura 3. Distribución de la radiación solar en el mundo	8
Figura 4. Desplazamiento de Electrones mediante la captación de Fotones.....	9
Figura 5. Esquema de Funcionamiento de un Panel solar	10
Figura 6. Curva IV y PV para un módulo fotovoltaico típico a 1000 W/m ² y 25 °C.....	11
Figura 7. Factor de Forma (FF).....	12
Figura 8. Influencia de la atmosfera sobre la radiación solar.....	14
Figura 9. Comparación de la Irradiancia Solar real tomada cada 15 minutos y la Irradiancia Solar promedio equivalente al mismo día de medición.....	15
Figura 10. Mapa de Irradiancia Solar. Promedio anual en diferentes puntos de medición en El Salvador.	15
Figura 11. Clasificación de las celdas más conocidas por material, espesor y estructura cristalina	17
Figura 12. Eficiencias de módulos comercialmente disponibles Fuente: NREL. 2010 Solar Technologies Market Report	17
Figura 13. Batería de plomo-ácido.	18
Figura 14. Regulador de carga	19
Figura 15. Inversor de Corriente.	19
Figura 16. Consumo histórico de energía eléctrica de un edificio tipo a partir de sus facturas de consumo de electricidad.	21
Figura 17. Lugar de ubicación de Centro de Formación Profesional – CFP FUNSALPRODESE	23
Figura 18. Energía Demandada / Hora	28
Figura 19. Demandas de Energía /mes.....	28
Figura 20. Calculo de Distancias Mínima entre Paneles.....	30
Figura 21. Dimensión Modulo Fotovoltaico Kyocera KD245GX-LPB	31
Figura 22. Datos Básicos Modulo Fotovoltaico Kyocera KD245GX-LPB	32
Figura 23. Vista Área de Arreglo de Módulos para Edificio de Aulas y Oficinas.	33
Figura 24. Vista área de Arreglo de Módulos sobre Cubierta de Taller de Mecánica Automotriz.....	33
Figura 25. Vista de Perfil de Arreglo de Módulos para Edificio de Aulas y Oficinas.....	34
Figura 26. Dimensionamiento Sistema A	34
Figura 27. Dimensionamiento Sistema B.....	35
Figura 28. Esquematación del Sistema Fotovoltaico	36
Figura 29. Producciones Normalizadas (por KWp Instalado): Potencia Nominal 22.5 KWp.....	37
Figura 30. Demanda vs. Generación Fotovoltaica.....	38
Figura 31. Disminución en los Costos por Consumo de Energía	39

I. INTRODUCCIÓN - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La energía juega un papel fundamental en la consecución de los objetivos de desarrollo humano sostenible en los campos económico, social y medioambiental. Es incuestionable que la energía puede mejorar el bienestar de las personas. Si observamos la composición de la capacidad instalada para el 2010, encontramos que aunque existen esfuerzos para lograr una diversificación de la matriz energética, aún existe una fuerte dependencia hacia la energía térmica con 47.3% de representatividad en dicha matriz

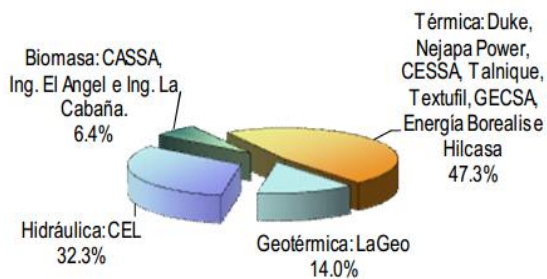


Figura 1. Composición de la capacidad instalada para el 2010

Esta situación nos lleva a plantearnos la necesidad de diversificación de la matriz energética, siendo esta una problemática nacional y la cual, de acuerdo a lo que se plantea en la Política Energética Nacional puede verse reducida con la realización de proyectos de gran envergadura, en especial en las energías hidroeléctrica y geotérmica. Pero de igual forma ve la necesidad del desarrollo de proyectos a pequeña escala que utilicen recursos como el viento y el solar.

En el Centro de Formación Profesional de FUNSALPRODESE (CFP – FUNSALPRODESE), el cual apoya procesos de formación técnica de adolescentes y jóvenes, hombres y mujeres desde julio de 1999. Y que forma parte del sistema nacional de formación profesional de El Salvador, el cual es regido por el Instituto Salvadoreño de Formación Profesional (INSAFORP). Se tiene un promedio mensual de facturación de \$1010.37 durante los años del 2011 al 2013. Esta situación para una institución con un carácter social sin fines de lucro, es preocupante ya que dichos costos implican una fuerte erogación de fondos que podrían ser utilizados en la mejora de las condiciones educativas o en el aumento de las y los jóvenes atendidos. En atención a esta problemática y a la posibilidad de la gestión de fondos para solventar la misma se plantea la utilización del recurso solar como fuente de energía eléctrica para solventar las necesidades de consumo.

II. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

Con una superficie de 20,720 km² y una población de 7.2 millones de habitantes, El Salvador es el país más pequeño de Centro América, y por mucho el de mayor densidad poblacional (349 habitantes por Km²), situación que se traduce en muchas limitantes económicas y sociales. El Salvador es un país con una clasificación de desarrollo humano medio, con un valor de Índice de Desarrollo Humano (IDH) de 0.659 (PNUD 2010). Con un Producto Interno Bruto (PIB) durante los años de 2009-2013 (Banco Mundial) con un crecimiento per cápita de US\$ 3.79 y con un consumo energético para el año de 2010 de 4,562.91Gwh de acuerdo a la información proporcionada por las empresas distribuidoras¹. De igual forma al someter estos índices a un análisis completo tenemos que PIB per cápita / Índice de cobertura eléctrica es de 85.9% y que el PIB per cápita /Consumos de electricidad (Kmh/cápita/año) es de 93.5%. Los datos anteriores nos permiten concluir que hay una correlación clara entre el grado de cobertura eléctrica y el consumo de electricidad y además que el bajo consumo de electricidad está asociado a una mayor población rural².

Abonado al panorama anteriormente planteado, el país presenta una dependencia de un 47.3% a la generación térmica, lo cual, nos presenta un panorama difícil, tanto económico como medioambiental.

Ante esta situación, el actual gobierno bajo una visión de desarrollo y crecimiento con justicia y equidad, impulso una Política Energética Nacional, la cual dentro de sus objetivos plantea:

- Garantizar el abastecimiento de energía oportuna, continua, de calidad generalizado y a precios razonables a toda la población.
- Recuperar el papel del estado en el desarrollo del sector energético, fortaleciendo el marco institucional y legal que promueva, oriente y regule el desarrollo del mismo, superando los vacíos y debilidades existentes que impiden la protección legal de las personas usuarias de estos servicios.

¹ Boletín de estadísticas eléctricas N°12, 2010. SIGET

² “análisis del mercado salvadoreño de energía renovable (BCIE – ARECA), 2010

- Reducir la dependencia energética del petróleo y sus productos derivados, fomentando las fuentes de energía renovables, la cultura de uso racional de la energía y la innovación tecnológica.
- Minimizar los impactos ambientales y sociales de los proyectos energéticos, así como aquellos que propician el cambio climático.

Y la cual además dentro de sus ejes plantea **La Diversificación de la Matriz Energética y Fomento a las Fuentes Renovables de Energía**, cuyo objetivo es “Impulsar la diversificación de la matriz energética nacional, promoviendo e incentivando el uso de fuentes de energía renovables y la incorporación de nuevos combustibles en los subsectores de electricidad e hidrocarburos, reduciendo progresivamente la dependencia del petróleo y sus derivados”.

Teniendo este marco legal nacional como antecedentes es importante destacar que dentro de ejes del plan estratégico de FUNSAALPRODESE se establece la gestión sostenible del medio ambiente y dentro del cual se incorpora la aplicación de tecnologías que mejoren la calidad de vida y favorezcan al medio ambiente.

Es por estas razones este estudio se realiza bajo la perspectiva de ser presentado como documento de proyecto para la gestión de fondos para la generación de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos en el Centro de Formación Profesional CFP FUNSAALPRODESE.

III. OBJETIVOS.

A. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un estudio de factibilidad para el suministro energético del Centro de Formación Profesional – CFP FUNSALPRODESE con energía fotovoltaica.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar y dimensionar las necesidades de energía eléctrica en el CFP FUNSALPRODESE
- Diseñar las instalaciones fotovoltaicas para satisfacer las necesidades de energía eléctrica en el CFP FUNSALPRODESE y su posible inyección a la red, considerando el área disponible para su instalación.
- Realizar la evaluación económica y financiera de la alternativa diseñada para satisfacer las necesidades energéticas.

IV. FUNDAMENTACION TEORICA.

A. ENERGIA SOLAR

El sol representa la mayor fuente de energía existente en nuestro planeta. La cantidad de energía emitida y que llega a la tierra en forma de radiación. La energía es transmitida por medio de ondas electromagnéticas presentes en los rayos solares, las cuales son generadas en forma continua y emitida permanentemente al espacio, esta energía la podemos percibir en forma de luz y calor. Cerca del 70% de la energía solar recibida por la tierra es absorbida por la atmósfera, la tierra y por los océanos, mientras que el 30% restante es reflejado por la atmósfera de regreso al espacio.

La energía solar cumple un rol fundamental en nuestras vidas, esto porque sin ella sería imposible. La energía absorbida por la atmósfera, la tierra y los océanos permite una serie de procesos naturales, como por ejemplo mantener una temperatura promedio, la evaporación, que permite la generación de precipitaciones, movimiento de masas de aire, fotosíntesis, generación de biomasa, etc.

Por otro lado la energía solar es una fuente de energía renovable, inagotable, limpia y sustentable en el tiempo. Producto de la sobreexplotación de recursos no renovables y los efectos generados por su consumo, se puede percibir una creciente conciencia social y de los gobiernos, de sacar provecho de este tipo de energías.

Ahora bien, la potencia de la radiación²⁶ depende del momento del día, las condiciones atmosféricas y la ubicación. Bajo condiciones óptimas se puede asumir un valor aproximado de irradiancia de 1000 W/m² en la superficie terrestre. Esta radiación puede llegar a la tierra en forma directa o difusa.

- Radiación Directa: es aquella que llega directamente del Sol hasta algún objeto o superficie terrestre, sin reflexiones o refracciones en su recorrido. Este tipo de radiación puede reflejarse y concentrarse para su utilización. Además se caracteriza por producir sombras bien definidas de los objetos que se interponen en su trayecto.

- Radiación Difusa: corresponde a la radiación emitida por el sol y que sufre alteraciones en su recorrido desde que ingresa a la atmósfera, siendo reflejada por partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, etc., o absorbida por las nubes. Producto de las constantes reflexiones va perdiendo energía. No proyecta sombra de los objetos que se interponen en su recorrido.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. En un día despejado, la radiación directa es mucho mayor que la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación incidente corresponde a radiación difusa.

La irradiancia directa normal fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor promedio de 1354 W/m^2 , el valor máximo se encuentra en el perihelio (lugar donde un planeta se encuentra más cercano al sol) y corresponde a 1395 W/m^2 , mientras que el valor mínimo se encuentra en el afelio (lugar donde un planeta se encuentra más lejano al sol) y es de 1308 W/m^2 .

B. IRRADIACIÓN

Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En este caso corresponde a radiación proveniente del sol, la cual se puede percibir en forma de calor o luz (visible o no visible, lo cual dependerá de cada longitud de onda en particular). Su unidad de medida en el sistema internacional es W/m^2 .

C. INSOLACIÓN

La Insolación corresponde a la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diaria) o en un año (insolación anual). En otras palabras es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Su unidad de medida es el Watts-hora por metro cuadrado (Wh/m^2). La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora solar de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1.000 W/m^2 . La energía útil que entrega el panel(es) fotovoltaico(s) es directamente proporcional a la insolación incidente.

Para calcularla se puede asumir que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de ella y se denomina insolación diaria o anual no atenuada, otra forma es medir en la superficie de la Tierra teniendo en cuenta la presencia de la atmósfera, en este caso se denomina insolación

atenuada siendo más complejo calcularla. En la Figura 2. Se muestra la insolación correspondiente a un día, la cual es representada por el área amarilla de la figura.

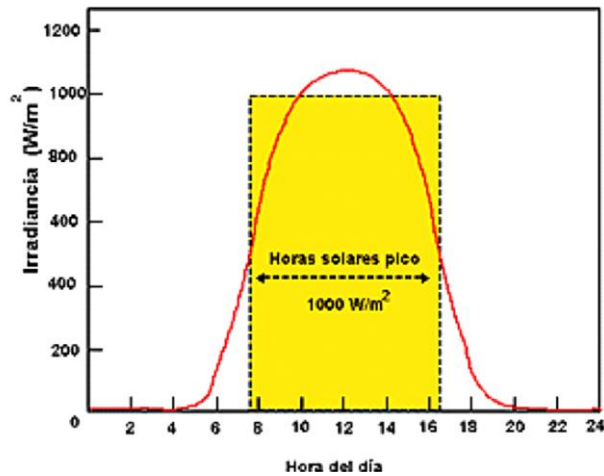


Figura 2. Curva de Irradiancia Diaria y Horas Solares Pico

La insolación es un parámetro muy importante en el diseño de sistemas solares. Los factores climáticos y el ángulo de posicionamiento del panel con respecto al sol afectan en demasía la insolación sobre la superficie de captación. En zonas de poco sol, ya sea por nubes, neblina u otro factor, la insolación promedio en un periodo de tiempo es menor. En días de invierno los niveles de insolación promedio son considerablemente menores en comparación a los días de verano.

Debido a que la insolación depende del ángulo del panel con respecto a la posición del sol, se usa la insolación horizontal para referirse al potencial solar del lugar. A partir de la insolación horizontal se puede estimar la insolación a un azimut y elevación determinado. La insolación será máxima cuando el panel se encuentre en posición horizontal frente al sol. Para conseguir esto sería necesario ajustar el ángulo de azimut para seguir el movimiento diario del sol de este a oeste y el ángulo de elevación para seguir el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección norte-sur.

D. ENERGIA FOTOVOLTAICA

El aprovechamiento de la energía solar nace de dos cuestiones fundamentales: es una fuente inagotable y gratuita, y existe una necesidad de electricidad creciente en el mundo a la vez que se buscan nuevos modelos de generación que sean respetuosos con el medio ambiente.

Por otro lado, la energía del Sol es un recurso casi universal, incluso más abundante en zonas especialmente pobres como el continente africano, tal y como se muestra en la figura 3.

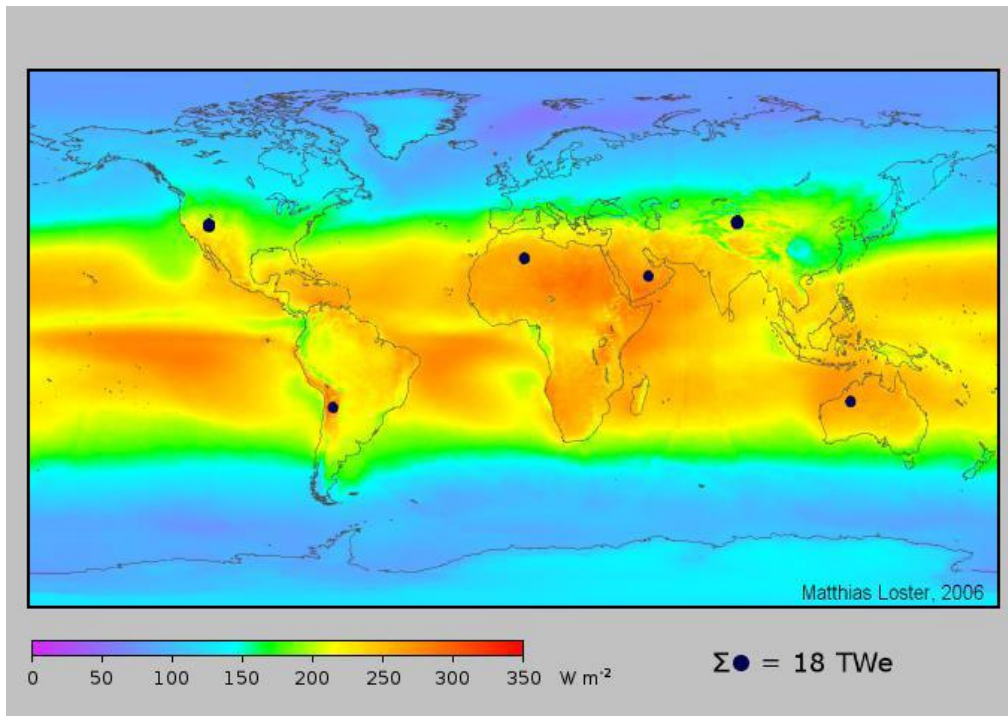


Figura 3. Distribución de la radiación solar en el mundo

El principio de funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas está basado en el efecto fotovoltaico, mediante el cual se transforma la energía radiante del Sol en energía eléctrica.

Este proceso de transformación se produce en un elemento semiconductor que se denomina célula fotovoltaica. Cuando la luz del Sol incide sobre una célula fotovoltaica, los fotones de la luz solar transmiten su energía a los electrones del semiconductor para que así puedan circular dentro del sólido. La tecnología fotovoltaica consigue que parte de estos electrones salgan al exterior del material semiconductor generándose así una corriente eléctrica capaz de circular por un circuito externo.

E. FUNCIONAMIENTO DE UN PANEL FOTOVOLTAICO

El principio de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos se basa en el efecto fotovoltaico o efecto fotoeléctrico, mediante la captación de fotones provenientes de la luz solar, los cuales inciden con una cierta cantidad de energía en la superficie del panel, esta interacción provoca

el desprendimiento de los electrones de los átomos de silicio, rompiendo y atravesando la barrera de potencial de la capa semiconductor (ver Figura 4.). Esto genera una diferencia de potencial en la capa N con respecto a la P. Luego si se conecta una carga eléctrica o elemento de consumo entre los terminales del panel se iniciará una circulación de corriente continua, tal como se puede apreciar en la Figura 5.

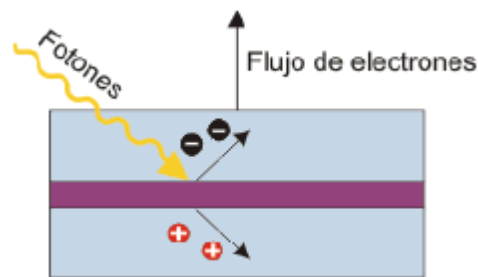


Figura 4. Desplazamiento de Electrones mediante la captación de Fotones

El nivel de energía proporcionado por un panel fotovoltaico depende de lo siguiente:

- Tipo de panel y área del mismo
- Nivel de radiación e insolación
- Longitud de onda de la luz solar

Una celda fotovoltaica común de silicio monocristalino de 100 cm^2 de superficie, puede producir aproximadamente 1.5 Watt de energía, a 0.5 volt (CC) y 3 amperes de corriente bajo condiciones óptimas (luz solar en pleno verano a una radiación de 1000 W/m^2). La energía entregada por la celda es casi directamente proporcional al nivel de radiación solar.

El nivel de potencia de salida por panel es denominado potencia pico, la cual corresponde a la potencia máxima entregable por el conjunto de celdas bajo las siguientes condiciones estándares de prueba (STC: Standard Test Conditions):

- Radiación de 1000 W/m^2
- Temperatura de celda de 25° C (no corresponde a la temperatura ambiente).
- Masa de aire ($AM=1,5$).

Bajo estas condiciones es posible medir los siguientes parámetros:

- **Corriente de corto circuito (I_{sc}):** corresponde a la máxima corriente en amperes generada por cada panel, al conectar una carga de resistencia cero en sus terminales de salida. Su valor depende de la superficie del panel y de la radiación solar.
- **Voltaje de circuito abierto (V_{oc}):** corresponde al voltaje máximo que genera un panel solar y medido en los terminales de salida cuando no existe carga conectada, es decir, a circuito abierto.

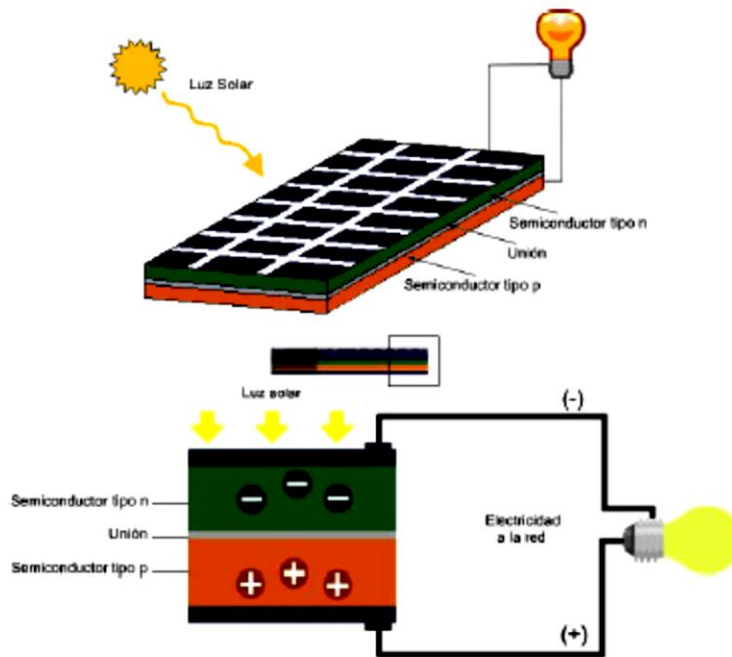


Figura 5. Esquema de Funcionamiento de un Panel solar

El comportamiento eléctrico de los paneles está dado por las curvas de corriente v/s voltaje (curva IV) o potencia v/s voltaje (curva PV). La curva de potencia está dada por el producto entre la corriente y el voltaje en cada punto de la curva IV. La Figura 6. Muestra las curvas IV y PV características de un panel típico, disponible comercialmente. Bajo las condiciones estándares de prueba mencionadas anteriormente, cada modelo de panel tiene una curva IV o PV característica. La corriente nominal (I_{mp}) y el voltaje nominal (V_{mp}) del panel se alcanzan en el punto de máxima potencia. Mientras el panel opere fuera del punto de máxima potencia, la potencia de salida será significativamente más baja.

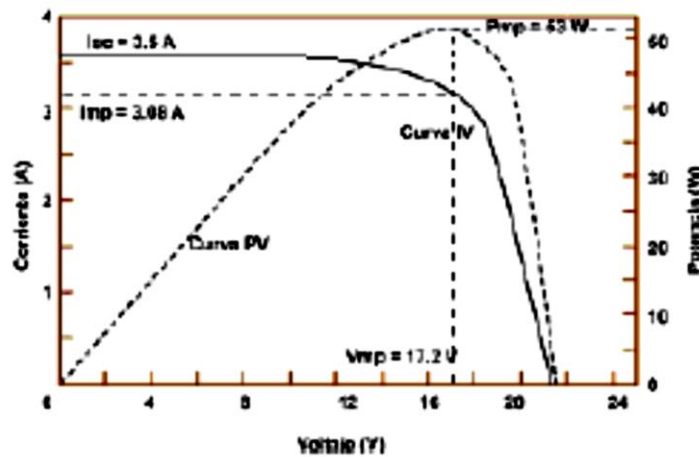


Figura 6. Curva IV y PV para un módulo fotovoltaico típico a 1000 W/m² y 25 °C

Una característica importante a tener en cuenta de los paneles fotovoltaicos es que el voltaje de salida no depende de su tamaño, ya que frente a cambios en los niveles de radiación incidente tiende a mantener una tensión constante de salida. En cambio la corriente, es casi directamente proporcional a la radiación solar y al tamaño del panel.

F. FACTORES DE EFICIENCIA DE UN PANEL FOTOVOLTAICO

Punto de máxima potencia (Pmp): corresponde a la máxima potencia que el panel puede entregar, la cual se da cuando el voltaje y la corriente alcanzan sus valores máximos en forma simultánea, esto se puede ver en el rectángulo inscrito dentro la curva IV de la Figura 6, donde el vértice sobre la curva, denominado Pmp, representa el valor de máxima potencia. Este valor se consigue de acuerdo a la Ecuación: $P_{mp} = V_{mp} \cdot I_{mp}$

Eficiencia en la conversión de energía: La eficiencia de un panel fotovoltaico, corresponde al porcentaje de energía eléctrica generada en relación a la cantidad de energía luminosa recibida desde el sol, cuando el panel se encuentra conectado a un circuito eléctrico. La eficiencia la define la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{P_{mp}}{E \times A_c} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{P_i}$$

Dónde:

- η : representa a la eficiencia de la conversión de la energía.
- P_{mp} : punto de potencia máxima (W).
- E : nivel de radiación solar en la superficie del panel (W/m²), bajo condiciones STC.
- A_c : Superficie del panel fotovoltaico (m²).
- P_i : Potencia Recibida por el panel

Factor de forma (FF): También se conoce como Fill Factor en inglés y define la eficacia de un panel solar, relacionando el punto de máxima potencia (P_m), dividido por el producto entre el voltaje a circuito abierto (V_{oc}) y la corriente de cortocircuito (I_{sc}). Esto se muestra en la Ecuación:

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

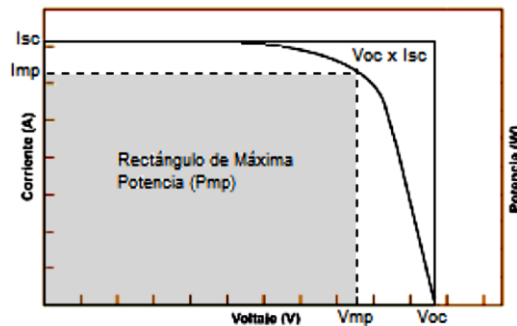


Figura 7. Factor de Forma (FF)

G. APLICACIONES PRINCIPALES.

La energía solar fotovoltaica está indicada para un amplio conjunto de aplicaciones donde se necesite generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no disponen de acceso a la red eléctrica o bien para generar energía a la red (sistemas conectados a la red eléctrica). La energía solar fotovoltaica contribuye al desarrollo de zonas rurales aisladas (electrificación rural) pero también se utiliza en aplicaciones tecnológicamente más complejas como el suministro energético a los repetidores de telefonía móvil.

Las aplicaciones se pueden clasificar en los siguientes cuatro grupos:

Conexión a la red de distribución: Éste es el modelo que se busca actualmente en la generación y distribución de energía eléctrica. La idea básica es producir cerca de donde se va a consumir la energía de manera que se ahorren pérdidas por transporte. Esto supone la instalación de centrales minúsculas (comparadas con las grandes nucleares o hidráulicas) como la de este proyecto.

La electricidad generada, generalmente cerca de núcleos urbanos, se vierte a la red de baja o media tensión de manera que se consume en los alrededores de la planta.

Conexión a red centralizada: En este caso se trata de grandes parques solares que vierten su producción a la red de media o alta tensión, tal y como ocurre con las centrales productoras tradicionales.

Domésticas sin acceso a red: Permite suministrar electricidad en zonas rurales o regiones subdesarrolladas.

No domésticas sin acceso a la red: Ésta se refiere a aplicaciones puntuales que requieren de electricidad para funcionar un largo periodo de tiempo pero que no disponen de acceso a la red eléctrica. Un ejemplo de esta aplicación son las estaciones meteorológicas.

H. POTENCIA DE LA ENERGIA SOLAR.

El conocimiento del recurso disponible que se considera existente en un punto geográfico es el inicio para cualquier análisis en donde se tenga planeado construir un centro de transformación de algún tipo de energía a energía eléctrica.

Inicialmente se debe comprender que la Radiación Solar, es la correspondiente a la emitida por el Sol y la parte de esta radiación que recibe la Tierra es reducida por la atmósfera. En el camino hacia la superficie terrestre se refleja cierta parte de la radiación por las nubes y otra parte es absorbida por la atmósfera. Otra parte de la radiación solar directa se dispersa debido a las capas densas de la atmósfera y de las nubes: se crea la radiación difusa, de la cual también el suelo refleja cierta parte de la radiación.



Figura 8. Influencia de la atmosfera sobre la radiación solar

La suma de la radiación solar difusa y la directa que alcanza la superficie terrestre es llamada Radiación Global.

I. IRRADIANCIA SOLAR EN LA SUPERFICIE TERRESTRE.

El significado físico del fenómeno antes explicado es llamado Irradiancia Solar, el cual representa la potencia que se recibe de la radiación del sol sobre la Tierra por unidad de superficie en cualquiera de sus puntos y a cualquier altitud, sus unidades en el Sistema Internacional de Unidades son [W/m²].

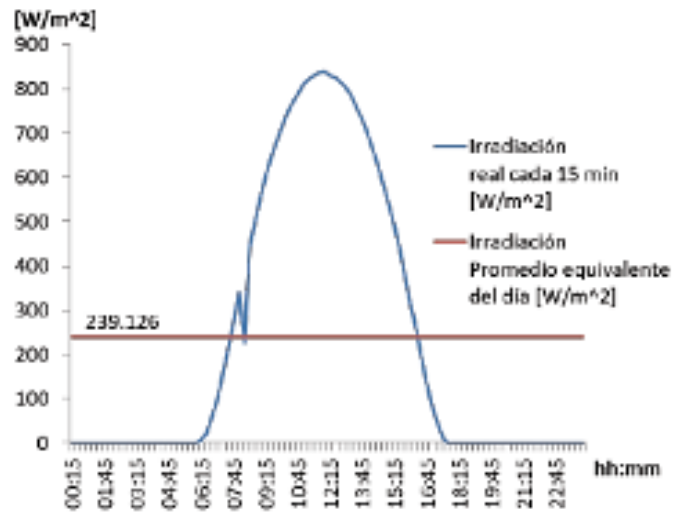


Figura 9. Comparación de la Irradiancia Solar real tomada cada 15 minutos y la Irradiancia Solar promedio equivalente al mismo día de medición.

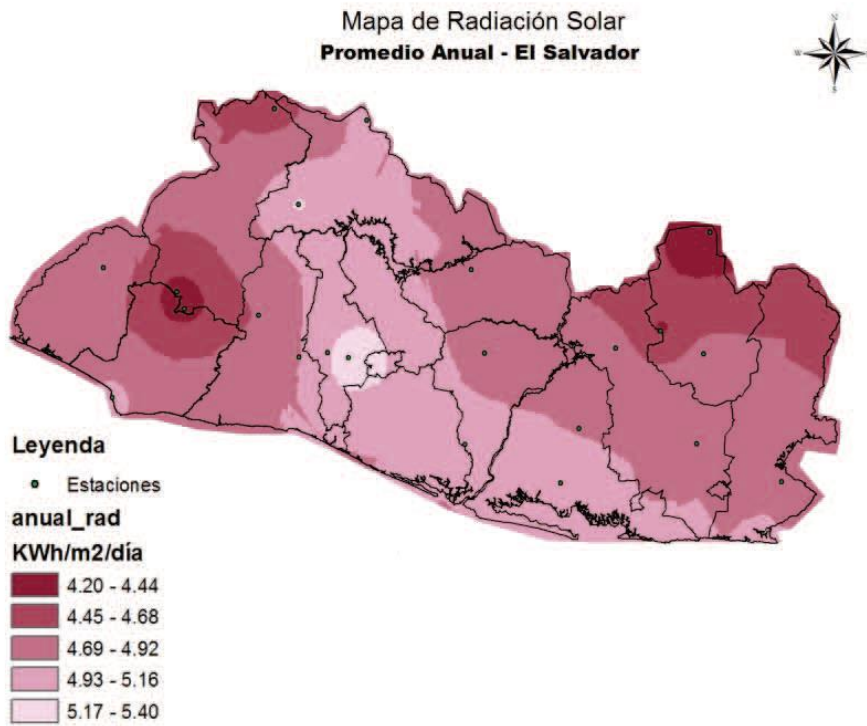


Figura 10. Mapa de Irradiancia Solar. Promedio anual en diferentes puntos de medición en El Salvador.

J. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Para poder dimensionar de manera correcta un sistema de generación de electricidad es esencial conocer el sitio en donde se ubicará la instalación, sus particularidades y dependiendo de la aplicación requerida será necesario conocer ciertos parámetros iniciales.

Existen muchas configuraciones que se han concebido a fin de adaptarse a la aplicación específica en el lugar disponible para la ubicación de un proyecto fotovoltaico, pero son tres configuraciones las más difundidas:



K. ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.

Existe una variedad de tecnología desarrollada a la actualidad la cual ha sido concebida a fin de poder hacer uso del efecto fotoeléctrico³, el cual consiste en la emisión de electrones por un metal cuando se hace incidir sobre él una radiación electromagnética.

La celda fotovoltaica.

También llamada celda solar o fotocelda, hace uso del efecto explicado anteriormente, con respecto al aumento en la conductividad de ciertos semiconductores (ej.: Silicio, Arseniuro de Galio, Telurio de Cadmio). El más conocido y utilizado es el Silicio, el cual se puede obtener a partir de la arena.

³ La explicación teórica fue publicada en 1905 en la revista "Annalen der Physik" bajo el nombre "Un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de luz" por Albert Einstein.

▪ Silicio	
- Capa gruesa	Silicio monocristalino (c-Si) Silicio policristalinas y multi-cristalina (poli-Si, o mc-Si)
- Capa Delgada	Silicio amorfo (a-Si) Multi-junction o tandem cells Silicio microcristalino (μ c-Si)
- Si Wire Array (etapa de laboratorio)	
▪ Semiconductores III-V	GaAs
▪ Semiconductores II-VI	CdTe
▪ Semiconductores I-III-VI	CIS, CIGS (calcopirita) están hechos de cobre-indio-galio-diseleniuro de indio y disulfuro de cobre.
▪ Celdas orgánicas	
▪ Celda Solar Grätzel	

Figura 11. Clasificación de las celdas más conocidas por material, espesor y estructura cristalina

Rendimiento

La eficiencia de conversión de la radiación solar en energía eléctrica es el punto más crítico para la industria fotovoltaica, resultando ser un aspecto de competitividad, pues al aumentar la eficiencia por unidad de área, se genera la misma cantidad de kWh en una menor superficie. Además de esto, el rendimiento in situ depende, entre muchos otros factores, de la temperatura ambiente y de la velocidad del viento.

Tecnología	Eficiencia
Silicio Monocristalino ⁶	14%
Silicio Multicristalino	14%
CdTe ⁶	11%
Silicio amorfo ⁷	6%
CIGS ⁸	11%

Figura 12. Eficiencias de módulos comercialmente disponibles Fuente: NREL. 2010 Solar Technologies Market Report

Un sistema fotovoltaico consta de tres elementos principales, el panel o campo de paneles, el regulador de carga y la batería o acumulador. Los paneles son responsables de generar energía eléctrica, la batería de almacenarla y el regulador de que la batería funcione de manera óptima.

Los equipos que se quieren alimentar utilizan corriente alterna por lo que se necesita un inversor. Otros elementos importantes en un sistema fotovoltaico son los interruptores termomagnéticos breakers de todos los circuitos de corriente, los circuitos protectores contra picos de corriente, fusibles, cableado medido en AWG, pozos de tierra, protectores de línea, barra maestras, pararrayos y estructuras de soporte.

La batería o acumulador.

Se encarga de almacenar la energía producida por los paneles que no se consume inmediatamente para disponer de ella en periodos de baja o nula irradiación solar. La acumulación se realiza en forma de energía eléctrica mediante el uso de baterías, usualmente de plomo-ácido.

Los acumuladores electroquímicos como las baterías de plomo-ácido también cumplen dos importantes misiones:

- Suministrar una potencia instantánea superior a la que el campo de paneles puede generar, necesaria para la puesta en marcha de algunos elementos (por ejemplo, el motor del frigorífico).
- Determinar el margen de tensiones de trabajo de la instalación.



Figura 13. Batería de plomo-ácido.

El Regulador de Carga.

Asegura que la batería funcione en condiciones apropiadas, evitando la sobrecarga y sobre



Figura 14.Regulador de carga

descarga de la misma, fenómenos ambos muy perjudiciales para la vida de la batería. El procedimiento que utiliza para ello es determinar el estado de carga de la batería a partir de la tensión a la que ésta se encuentra.

A partir de este parámetro y el conocimiento del tipo de tecnología que se usa en la batería se controla la entrada y salida de corriente en la

misma. El regulador puede incluir otros elementos que, aunque no sean imprescindibles, realizan útiles tareas de control o seguridad: amperímetros, voltímetros, contadores de amperios-hora, temporizadores, alarmas, etc.

El inversor de Carga.

La electricidad que proporciona el sistema paneles-acumulador es continua, y se extrae a una



Figura 15.Inversor de Corriente.

tensión determinada, lo cual no siempre coincide con las exigencias de los equipos de consumo. Un convertidor de corriente continua a alterna (las siglas en inglés (DC/AC), permite alimentar equipos que funcionen con corriente alterna. Si fuese necesario también se pueden usar convertidores continua - continua (en inglés, DC/DC) que transformen la tensión continua de las baterías en tensión de alimentación también continua pero de distinto valor.

En términos generales la eficiencia del inversor se define como la relación entre la potencia DC entregada por el arreglo FV y la potencia AC entregada por el inversor a su salida

$$\eta = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Otras definiciones incluyen la eficiencia de conversión, la eficiencia del MPPT, la eficiencia europea, la cual se emplea para propósitos de comparación con diferentes tecnologías

$$\eta_{EURO} = 0.03 \cdot \eta_{5\%} + 0.06 \cdot \eta_{10\%} + 0.13 \cdot \eta_{20\%} + 0.1 \cdot \eta_{30\%} + 0.48 \cdot \eta_{50\%} + 0.2 \cdot \eta_{100\%}$$

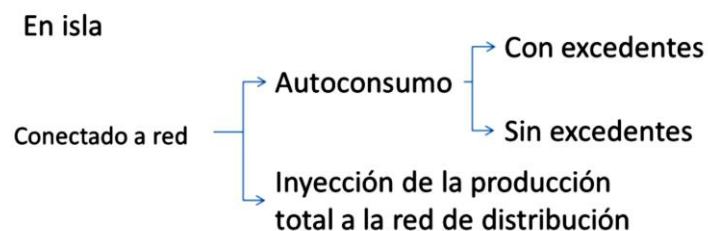
En lugares con altos valores de irradiancia, (sur de los Estados Unidos) los valores de eficiencia se han ajustado en los siguientes términos

$$\eta_W = 0.04 \cdot \eta_{10\%} + 0.05 \cdot \eta_{20\%} + 0.12 \cdot \eta_{30\%} + 0.21 \cdot \eta_{50\%} + 0.53 \cdot \eta_{75\%} + 0.05 \cdot \eta_{100\%}$$

Funciones de protección. En un inversor conectado a la red, la operación aislada debe ser detectada y monitoreada, ya sea en forma activa o pasiva, a partir de su detección el inversor debe desconectarse automáticamente de la red. Los métodos de detección pasiva evalúan los cambios que se dan en la frecuencia, saltos en el voltaje de fase y caídas en los sistemas trifásicos. En los métodos de detección activos, los desplazamientos en la frecuencia, cambios en la impedancia, fluctuaciones en la potencia reactiva son algunos de los parámetros sujetos a monitoreo.

L. CONEXIÓN CON LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Al conocer el lugar del montaje se puede definir la forma en la que se interconectará con la red eléctrica más cercana al proyecto. Esta conexión puede dividirse de la siguiente manera:



M. AUTOCONSUMO

Para poder dimensionar un sistema fotovoltaico a fin de utilizar la energía producida para el autoconsumo, se debe conocer inicialmente la demanda de electricidad a satisfacer.

Adicionalmente se podría tener una idea aproximada del comportamiento diario de la curva de la demanda, ya sea si es un edificio de oficinas diurno o nocturno, una maquila, una casa de habitación, etc.

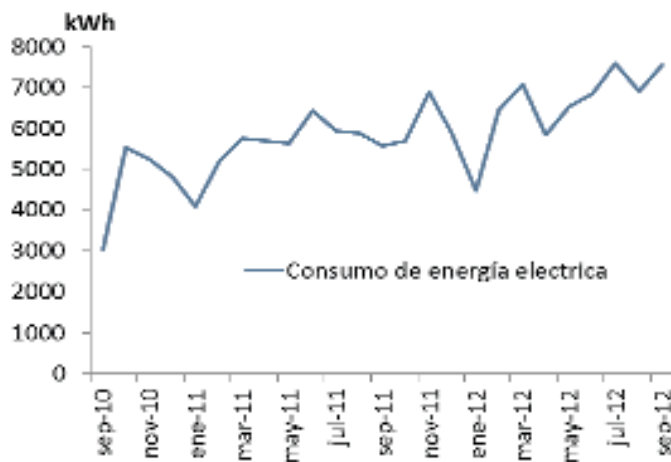


Figura 16. Consumo histórico de energía eléctrica de un edificio tipo a partir de sus facturas de consumo de electricidad.

Existen empresas especializadas en elaborar estudios con instrumentos que recogen la información detallada sobre el consumo de electricidad de un área específica. Para poder comparar la producción de electricidad de un sistema FV y la

demanda a suplir, se debe concluir realizando la inspección de las

instalaciones a las que se entregará el suministro, conocer niveles o áreas, incluyendo la azotea (de ser montaje en techo), identificando la existencia de sombras que imitarían el uso de toda el área de la azotea.

V. DISEÑO METODOLÓGICO DEL ESTUDIO.

A. CRITERIOS DE DISEÑO.

Es necesario dimensionar la demanda energética del CFP FUNSALPRODESE, ya que será a partir de este que se realizarán los cálculos de nuestro sistema. Se trata de diseñar una instalación con las siguientes características:

- **Modularidad de la instalación.** Con esto se pretende aumentar la fiabilidad de la planta y reducir las pérdidas en caso de averías o mantenimientos. Esto se traducirá, entre otras cosas, en que la instalación estará compuesta por ramas independientes, una por cada inversor. Por lo tanto cuando haya que realizar operaciones de reparación o mantenimiento, bastará con desconectar la rama afectada de manera que las diferentes actividades desarrolladas en el centro de formación no se vean afectadas de forma completa.
- **Cumplir los parámetros de entrada a los inversores, optimizando su uso.** Esto se conseguirá diseñando una configuración serie-paralelo de los paneles de manera que se cumplan las restricciones de tensión, corriente y potencia de los inversores.
- **Ramas equilibradas entre sí.** En la medida de lo posible para obtener un funcionamiento más equilibrado de la instalación se procurará que todas las ramas tengan el mismo número de paneles.

B. GENERALIDADES DEL CFP FUNSALPRODESE.

El Centro de Formación Profesional – CFP FUNSALPRODESE se encuentra ubicado en el Departamento de San Salvador, Municipio de San Salvador en la Final Calle México, Av. Nepentes, N° 345, Colonia Santa Clara, barrio San Jacinto.

En este centro de formación asiste un promedio de 200 jóvenes hombres y mujeres en condiciones de riesgo social. En él, se imparten 5 carreras técnicas (Electricidad Automotriz, Electricista Industrial, Mecánico Automotriz, Asesor de ventas y Mecánica Automotriz Motor Gasolina) y tres cursos cortos permanentes en computación, inglés y vendedor de mostrador.

La compañía distribuidora del servicio es AES-CAESS, por medio de una acometida a 23/13.2 KV, la cual presenta una demanda mensual de acuerdo a la factura de 3,885 KWh.

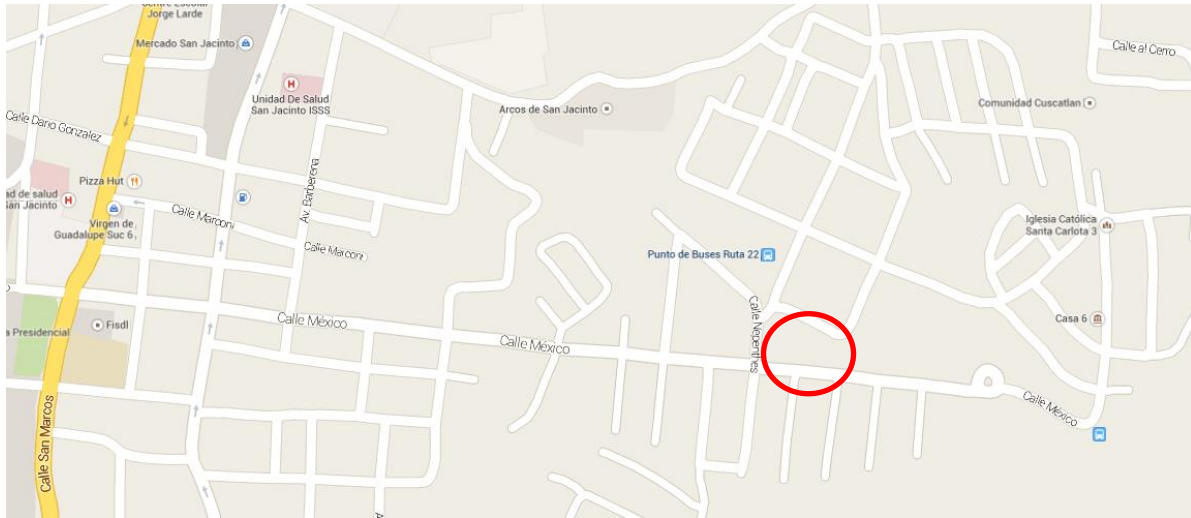


Figura 17. Lugar de ubicación de Centro de Formación Profesional – CFP FUNSALPRODESE

Datos del Centro de Formación Profesional:

- Localidad: San Salvador, El Salvador
- Latitud: 13.68º
- Temperatura mínima: 27ºC
- Inclinación de captadores: 23.7º
- Orientación de captadores: Sur
- Área disponible para la colocación de captadores: 360 m²

C. DIMENSIONAMIENTO DEL CONSUMO DEL CFP - FUNSALPRODESE

Descripción de las Áreas

ÁREAS	NUMERO DE ÁREAS	LUMINARIAS / ÁREA	A/C / ÁREA	EQUIPO / ÁREA
Salones de clases	5	4	0	10 ventiladores
Taller de mecánica automotriz	2	4	0	1 Compresor de aire
Taller de Electricidad	1	4	0	2 ventiladores
Centro de Computo	2	4	2	40 computadoras
Oficinas	2	2	2	6 Computadoras 4 impresoras
Total	12	26	6	

Tabla 1. Detalle de Cargas por Área en el CFP FUNSALPRODESE

- Detalle de Luminarias

Tipo de luminarias	Áreas	Luminarias (2 Lámparas)
Fluorescente F96T12	Salones de clases	20
Fluorescente F96T12	Talleres de mecánica automotriz	8
Fluorescente F96T12	Taller de Electricidad	4
Fluorescente F96T12	Centro de computo	8
Fluorescente F96T12	Oficinas	4

Tabla 2. Detalle de Luminarias / Área

- Aires Acondicionados.

Área	Datos de Placa				
	Tipo	Marca/modelo	Capacidad	Potencia (W)	Refrigerante
Oficinas	Split	Mastertech/ KF32GW/T160	12,000 (Btu/Hr)	1410	R-22
Centros de Computo (2)	Split	Mastertech/ KF32GW/T160	12,000 (Btu/Hr)	1410	R-22

Tabla 3. Detalle de Aires Acondicionados / Área

- Ventiladores.

Área	tipo	Potencia (W)
Salones de clases	Ventilador de pared	50
Taller de Electricidad	Ventiladores de Techo	85

Tabla 4. Detalle de Ventiladores / Área

- Computadoras.

Área	tipo	Potencia (W)
Centro de Computo 1	DELL Optiplex 320	280
Centro de Computo 2	DELL Optiplex 320	280
Oficinas	DELL Optiplex 320	280

Tabla 5. Detalle de equipo de cómputo.

- Compresor.

Área	Tipo	Potencia (KW)
Taller de Mecánica Automotriz 2	B-5900B-270 VT	4

Tabla 6. Detalle de equipo de compresión de aire

D. CALCULO DE CONSUMO.

El siguiente cuadro presenta el resumen de la potencia demandada por los equipos e instrumentos con los que cuenta el CFP FUNSALPRODESE en cada una de sus áreas:

ÁREA	tiempo de uso diario [h]	Consumo diario				
		cant	Potencia [W]	Potencia Total [W]	consumo [Wh]	Consumo total [Wh]
Salón de clases 1						
Fluorescente F96T12	5	8	75	600	3000	3000
Ventilador de pared	5	2	50	100	500	500
Salón de clases 2						
Fluorescente F96T12	4	8	75	600	2400	2400
Ventilador de pared	4	2	50	100	400	400
Salón de clases 3						
Fluorescente F96T12	4	8	75	600	2400	2400
Ventilador de pared	4	2	50	100	400	400
Salón de clases 4						
Fluorescente F96T12	5	8	75	600	3000	3000
Ventilador de pared	5	2	50	100	500	500
Salón de clases 5						
Fluorescente F96T12	5	8	75	600	3000	3000
Ventilador de pared	5	2	50	100	500	500
Taller de Mecánica Automotriz 1						
Fluorescente F96T12	4	8	75	600	2400	2400
Compresor	0.25	1	4000	4000	1000	1000
Taller de Mecánica Automotriz 2						
Fluorescente F96T12	4	8	75	600	2400	2400
Taller de Electricidad						
Fluorescente F96T12	4	8	75	600	2400	2400
Ventilador de techo	4	2	85	170	680	680
Centro de Computo 1						
Fluorescente F96T12	4	8	75	600	2400	2400
Computadoras	4	20	280	5600	22400	22400
A/C	4	1	1410	1410	5640	5640
Centro de Computo 2						
Fluorescente F96T12	4	8	75	600	2400	2400

Computadoras	4	20	280	5600	22400	22400
A/C	4	1	1410	1410	5640	5640
Oficinas (2)						
Fluorescente F96T12	8	8	75	600	4800	4800
Computadoras	8	6	280	1680	13440	13440
A/C	8	2	1410	2820	22560	22560

Tabla 7. Potencia Nominal Demandada por los Equipos / Área

Para definir la demanda de potencia necesaria de acuerdo a las horas críticas para el funcionamiento del Centro de Formación se realizó una serie de entrevistas y visitas de campo utilizando el método de observación directa sobre el uso de los equipos en cada área. Los datos se presentan en los siguientes cuadros de acuerdo a las áreas en estudio:

Horas de Uso	Salón de Clases 1		Salón de Clases 2		Salón de Clases 3		Salón de Clases 4	
	Luminarias Fluorescente F96T12	Ventilador de Pared	Luminarias Fluorescente F96T12	Ventilador de Pared	Luminarias Fluorescente F96T12	Ventilador de Pared	Luminarias Fluorescente F96T12	Ventilador de Pared
0:01 a 5:00	0	0	0	0	0	0	0	0
5:01 a 6:00	0	0	0	0	0	0	0	0
6:01 a 7:00	0	0	0	0	0	0	0	0
7:01 a 8:00	0	0	0	0	0	0	0	0
8:01 a 9:00	600	100	600	100	600	100	600	100
9:01 a 10:00	600	100	600	100	600	100	600	100
10:01 a 11:00	600	100	0	0	600	100	0	0
11:01 a 12:00	600	100	0	0	600	100	0	0
12:01 a 13:00	0	0	0	0	0	0	0	0
13:01 a 14:00	600	100	600	100	0	0	600	100
14:01 a 15:00	0	0	600	100	0	0	600	100
15:01 a 16:00	0	0	0	0	0	0	600	100
16:01 a 17:00	0	0	0	0	0	0	0	0
17:01 a 18:00	0	0	0	0	0	0	0	0
18:01 a 19:00	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00 a 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 8A. Potencia Demandada / Horas

Horas de Uso	Salón de Clases 5		Taller de Mecánica Automotriz 1		Taller de Mecánica Automotriz 2	Taller de Electricidad	
	Luminarias Fluorescente F96T12	Ventilador de pared	Luminarias Fluorescente F96T12	Compresor	Luminarias Fluorescente F96T12	Luminarias Fluorescente F96T12	Ventilador de techo
0:01 a 5:00	0	0	0	0	0	0	0
5:01 a 6:00	0	0	0	0	0	0	0
6:01 a 7:00	0	0	0	0	0	0	0
7:01 a 8:00	0	0	0	0	0	0	0
8:01 a 9:00	600	100	0	0	0	0	0
9:01 a 10:00	600	100	0	0	0	0	0
10:01 a 11:00	600	100	0	0	600	0	0
11:01 a 12:00	600	100	0	0	600	0	0
12:01 a 13:00	0	0	0	0	0	0	0
13:01 a 14:00	600	100	0	0	0	600	170
14:01 a 15:00	0	0	600	0	0	600	170
15:01 a 16:00	0	0	600	0.1	600	600	170
16:01 a 17:00	0	0	600	0.1	600	600	170
17:01 a 18:00	0	0	600	0.5	0	0	0
18:01 a 19:00	0	0	0	0	0	0	0
19:00 a 24:00	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 8B. Potencia Demandada / Horas

Horas de Uso	Centro de Computo 1			Centro de Computo 2			Oficinas		
	Luminarias Fluorescente F96T12	Computadoras	A/C	Luminarias Fluorescente F96T12	Computadoras	A/C	Luminarias Fluorescente F96T12	Computadoras	A/C
0:01 a 5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:01 a 6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:01 a 7:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:01 a 8:00	0	0	0	0	0	0	600	1680	2820
8:01 a 9:00	600	5600	1410	0	0	0	600	1680	2820
9:01 a 10:00	600	5600	1410	0	0	0	600	1680	2820
10:01 a 11:00	600	5600	1410	600	5600	1410	600	1680	2820
11:01 a 12:00	600	5600	1410	600	5600	1410	600	1680	2820
12:01 a 13:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:01 a 14:00	0	600	100	600	5600	1410	600	1680	2820
14:01 a 15:00	0	600	100	600	5600	1410	600	1680	2820
15:01 a 16:00	0	600	100	0	0	0	600	1680	2820
16:01 a 17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:01 a 18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:01 a 19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00 a 24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 8C. Potencia Demandada / Horas

La siguiente tabla presenta la tabla resumen de la potencia demandada para el funcionamiento del Centro de Formación CFP – FUNSALPRODESE, con relación a las horas de operación.

Horas de Uso	TOTAL Energía Demandada (Wh)
0:01 a 5:00	0
5:01 a 6:00	0
6:01 a 7:00	0
7:01 a 8:00	5100
8:01 a 9:00	16210
9:01 a 10:00	16210
10:01 a 11:00	23020
11:01 a 12:00	23020
12:01 a 13:00	0
13:01 a 14:00	16980
14:01 a 15:00	16180
15:01 a 16:00	8470.1
16:01 a 17:00	1970.1
17:01 a 18:00	600.5
18:01 a 19:00	0
19:00 a 24:00	0

Tabla 9. Resumen de Energía Demandada / Hora

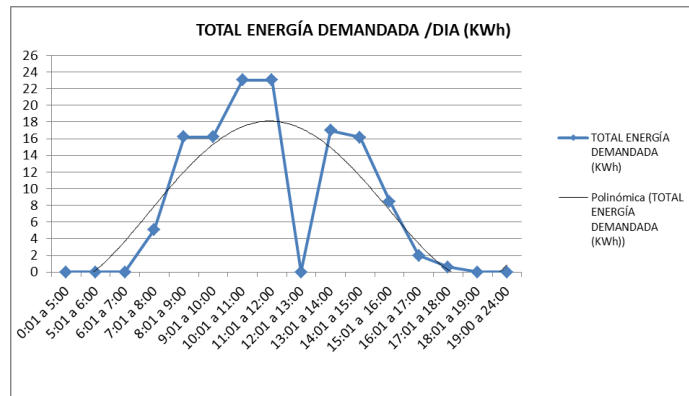


Figura 18. Energía Demandada / Hora

De acuerdo a los datos anteriores tenemos que para un día típico laboral (lunes a viernes), la demanda total de energía es de 127.76 KWh. Los días sábado y domingo la demanda es baja ya que no son días laborales a excepción de algunos días en los cuales algún docente trabaja. De forma general podemos decir que despreciaremos el consumo energético para estos días.

En la siguiente tabla se presentan las demandas de energía por mes:

Meses	Energía Demandada (KWh)
Enero	3960.58
Febrero	3577.30
Marzo	3960.58
Abril	3832.82
Mayo	3960.58
Junio	3832.82
Julio	3960.58
Agosto	3960.58
Septiembre	3832.82
Octubre	3960.58
Noviembre	3832.82
Diciembre	3960.58

Tabla 10. Demandas de Energía / mes

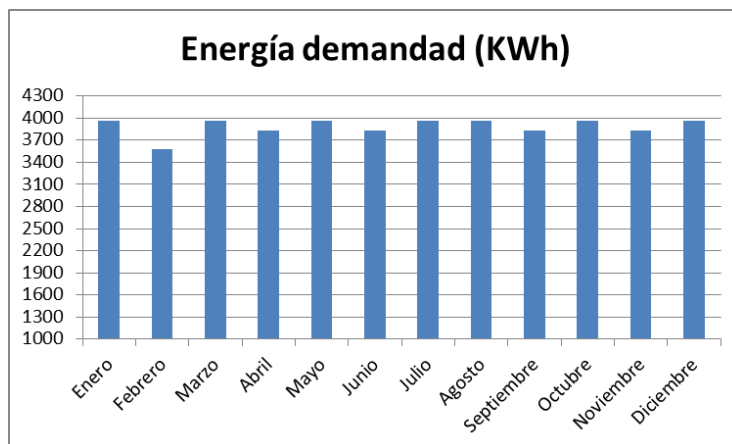


Figura 19. Demandas de Energía /mes

Para el Centro de Formación Profesional CFP FUNSALPRODESE, el consumo energético anual es de 46.632 KWh, lo que implica un costo de \$8912.06 por año.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. RECURSO SOLAR DISPONIBLE.

Para la implementación de proyectos con energía de umbral definida, que requieran explotar óptimamente el potencial solar en un lugar e intervalo de tiempo específico, es fundamental determinar, modelar y predecir la intensidad de irradiación solar.

Para este documento se tomará el valor promedio de los valores proporcionados por tres fuentes de información confiables como los son: el documento SWERA⁴, los datos proporcionados por la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa –CEL y la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio – NASA.

Meses	SWERA S-5 (13.7 N, -89.2 O) Observatorio	CEL (2012) Medición en techo	NASA Promedio 1983 – 2005	Promedio
	kWh/m2/ día	kWh/m2/ día	kWh/m2/ día	kWh/m2/ día
Enero	4.9	4.6	5.8	5.1
Febrero	5.4	4.7	6.4	5.5
Marzo	5.7	5.1	6.7	5.8
Abril	5.4	4.3	6.6	5.4
Mayo	4.9	3.5	5.9	4.8
Junio	5.1	3.4	5.7	4.7
Julio	5.5	4.6	6.2	5.4
Agosto	5.2	4.2	6.2	5.2
Septiembre	3.8	4.5	5.4	4.6
Octubre	4.8	4.2	5.4	4.8
Noviembre	4.8	5.3	5.6	5.2
Diciembre	4.8	4.9	5.6	5.1

Tabla 11. Irradiancia Solar Diaria Para Todos Los Meses Del Año.

⁴ Ministerio de Medio Ambiente y Recursos naturales (MARN), Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”(UCA), Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET/MARN)

B. DEFINICIÓN DEL ÁREA DISPONIBLE.

Algunas pérdidas que se generan en los sistemas fotovoltaicos, son las pérdidas por sombreado o pérdidas por sombras; en estas pérdidas no tiene mucho efecto el movimiento relativo del Sol, pues estas pérdidas se generan por edificios aledaños a la instalación (para el caso en estudio, no existen debido a que no se encuentran edificaciones a su alrededor) u otro tipo de objetos que obstruyan los rayos del Sol, incluyendo los mismos PFV pueden proyectar sombra unos con otros.

Para evitar estas pérdidas, es necesario dimensionar correctamente el espacio disponible para el aprovechamiento del recurso. Dicho cálculo se presenta en la siguiente tabla:

Área	Espacio Disponible (mts ²)
Techo de Taller de Mecánica 1	80
Techo de Edificio 1 (aulas y oficinas)	240

Tabla 12. Áreas Disponibles para Instalación de MFV

Lógicamente, la distancia mínima entre fila y fila está marcada por la latitud del lugar de la Instalación, dado que el ángulo de incidencia solar varía también con este parámetro. La separación entre filas de módulos fotovoltaicos se establece de tal forma que al mediodía solar del día más desfavorable (altura solar mínima) del periodo de utilización, la sombra de la arista superior de una fila se proyecte, como máximo, sobre la arista inferior de la fila siguiente, tal y como se observa en la Figura:

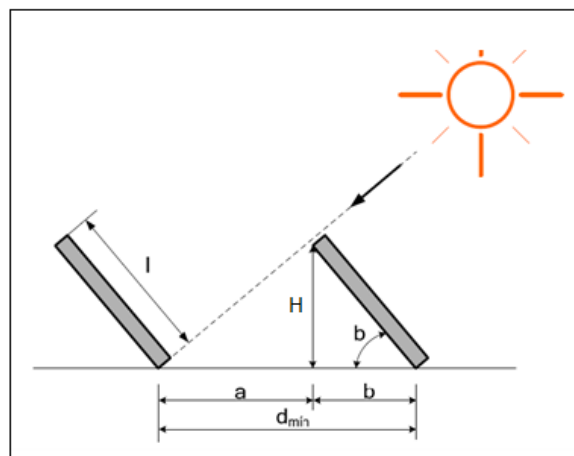


Figura 20. Calculo de Distancias Mínima entre Paneles

En instalaciones que se utilicen todo el año, el día más desfavorable corresponde al 21 de diciembre. En este día la altura solar es mínima y al mediodía solar tiene de acuerdo a la formula $H = (90^\circ - \text{latitud}) - 23.5$, el valor de 52.82°

C. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA.

De igual forma para poder dimensionar nuestro sistema FV es necesario conocer el tamaño del módulo fotovoltaico a utilizar, de manera que la relación KWp/área permita la optimización de los recursos. Para el presente estudio se ha utilizado el software PVSyst 6.22, el cual permite introducir las especificaciones de los equipos a utilizar en nuestra instalación, facilitando los cálculos óptimos para cada caso.

El modelo seleccionado de MFV es el Kyocera KD245GX-LPB, que es un modulo polycristalino de 245 Wp y para el cual se presenta las siguientes especificaciones:

Descripción Kyocera, KD245GX-LPB					
Módulo		Células			
Largo	<input type="text" value="1662"/>	mm	En serie	<input type="text" value="60"/>	
Ancho	<input type="text" value="990"/>	mm	En paralelo	<input type="text" value="1"/>	
Espesor	<input type="text" value="46.0"/>	mm	Superf. célula	<input type="text" value="243.4"/>	cm ²
Peso	<input type="text" value="21.00"/>	kg	N° total células	60	
Sup. módulo	1.645	m ²	Superf. células	1.46	m ²

Figura 21. Dimensión Modulo Fotovoltaico Kyocera KD245GX-LPB

En la siguiente Figura se presentan los datos básicos de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante para Modulo Fotovoltaico Kyocera KD245GX-LPB y con las cuales se realizaran los calculos para el sistema a instalar en el CFP FUNSALPRODESE.

Modelo	KD245GX-LPB		Fabricante	Kyocera	
N. archivo	Kyocera_KD245GX_LPB.PAN		Origen datos	Manufacturer 2012	
Potencia nominal (en STC)	245.0 Wp	Tol. +/-	-3.0	3.0	%
		Tecnología	Si-poly		

Especificaciones del fabricante o otras medidas					
Cond. de referencia:	GRef	1000	W/m²	TRef	25 °C
Corriente de cortocircuito	Isc	8.610	A	Circuito abierto Voc	37.50 V
Punto Potencia Máximo:	Imp	8.100	A	Vmpp	30.30 V
Coeficiente de temperatura	milsc	5.2	mA/°C	N* células	60 en serie
	o milsc	0.060	%/°C		

Resultado del modelo interno	
Cond. de funcionamiento	GOper 1000 W/m² TOper 25 °C
Punto Potencia Máximo:	Pmpp 245.5 W Coef. temperatura -0.46 %/°C
Corriente Imp	8.08 A Tensión Vmpp 30.4 V
Corriente de cortocircuito Isc	8.61 A Circuito abierto Voc 37.5 V
Eficiencia / Sup. células	16.81 % / Sup. módulo 14.92 %

Resumen del modelo	
Parámetro principal	R paral. 350 ohm
R serie modelo	0.30 ohm
R serie máx.	0.39 ohm
R serie aparente	0.49 ohm
Parámetros modelo	
Gamma	1.03
Io Ref	0 nA
muVoc	-147 mV/°C
miPmáx fijo	-0.46 /°C

Figura 22. Datos Básicos Modulo Fotovoltaico Kyocera KD245GX-LPB

Considerando todos los datos anteriores procederemos a calcular la distancia mínima entre paneles considerando la longitud del módulo considerando el marco y el soporte correspondiente, utilizando la siguiente formula

$$d_{min} = l * (\cos \beta + \frac{\sin \beta}{\tan H}),$$

Para lo cual tenemos que la distancia mínima entre los módulos corresponde a 2.04 m. Para nuestro estudio la distancia mínima a utilizar entre los módulos será de 2.1 m.

De acuerdo a los datos anteriores la cantidad de paneles a utilizar en las áreas disponibles corresponde a:

Área	Espacio Disponible (mts ²)	Numero de paneles a colocar
Techo de Taller de Mecánica 1	50	20
Techo de Edificio 1 (aulas y oficinas)	120	72

Tabla 13. MFV por Área Disponible

Considerando las áreas disponibles y teniendo en cuenta algunos criterio de seguridad para los módulos se ha calculado el número de paneles que indica la tabla anterior y el arreglo se realizará de acuerdo al siguiente esquema

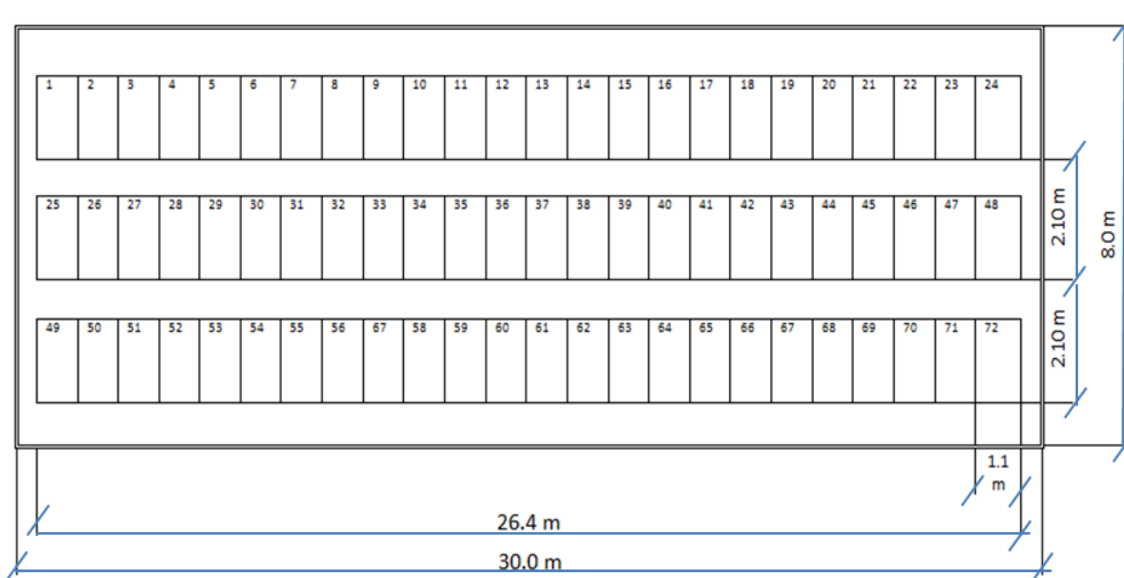


Figura 23. Vista Área de Arreglo de Módulos para Edificio de Aulas y Oficinas.

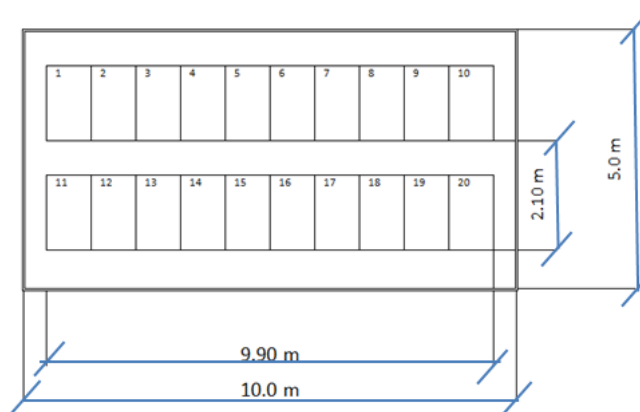


Figura 24. Vista área de Arreglo de Módulos sobre Cubierta de Taller de Mecánica Automotriz

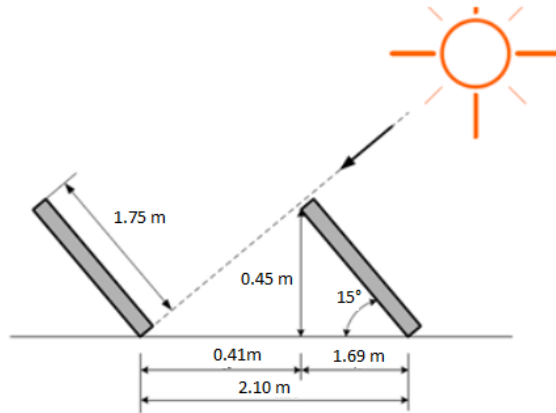


Figura 25. Vista de Perfil de Arreglo de Módulos para Edificio de Aulas y Oficinas.

De igual forma realizaremos el calculo del sistema a traves del software PVSist V6 y observamos que los calculos para el dimensionamiento del sistema son similares.

Calculos realizados para Sistema A: Edificio de aulas de clase y oficinas.

Configuración global sistema		Resumen sistema global	
2	N° de tipos de sub-campos	N° de módulos	92
		Superficie módulos	151 m²
		N° de inversores	4
		Potencia nominal FV	22.5 kWp
		Potencia máxima FV	21.8 kWdc
		Potencia nominal CA	24.0 kWac

Sub-generador #1		Sub-generador #2	
Sub-array name and Orientation			
Name	Sub-generador #1	Order	1
Orient.	Plano Inclinado Fijo	Tilt	15°
		Azimuth	0°
Ayuda al Dimensionado		Entrar Pnom deseada <input type="radio"/> 17.9 kWp.	
		... o superficie disponible <input checked="" type="radio"/> 120 m²	
Selección del módulo FV			
Disponibile actualmente	Lista módulos por <input checked="" type="radio"/> Potencia <input type="radio"/> Tecnología		
Kyocera	245 Wp 26V	Si-poly	KD245GX-LPB
	Since 2011	Manufacturer	2012
Máx. cantidad de mód.	72	Tensiones de dimensionado :C	25.1 V
		Voc (-10°C)	42.5 V
Selección del inversor			
Disponibile actualmente	Lista inversores por <input type="radio"/> Potencia <input type="radio"/> Tensión (máx)		
SMA	6.0 kW	250 - 480 V LF Tr	60 Hz
	Sunny Boy SB 6000 US-12-240	Since 2012	
N° de inversores	3	Tensión Funciona.:	250-480 V
		Tensión máx de entrada:	600 V
		Pglobal inversor	18.0 kWac
Diseño del generador FV			
N° de módulos y cadenas		Cond. de funcionamiento	
Mód. en serie	12	Vmpp (60°C)	302 V
N° de cadenas	6	Vmpp (20°C)	373 V
Perdida sobrecarg:	0.0 %	Voc (-10°C)	510 V
Relación Pnom	0.98	Irradiancia plano	1000 W/m²
N° módulos	72	Imp (STC)	48.7 A
Superficie	118 m²	Isc (STC)	52.4 A
		Isc (en STC)	51.7 A
		Pmáx en funcionamiento en 1000 W/m² y 50°C	15.6 kW
		Potencia nom gener. (STC)	17.6 kWp

Figura 26. Dimensionamiento Sistema A

Calculos realizados para Sistema B: MVF colocados en la cubierta de Taller de Mecanica Automotriz.

Selección del inversor

Lista inversores por Potencia Tensión (máx)

 50 Hz
 60 Hz

N° de inversores
Tensión Funciona.: **250-480 V**
Pglobal inversor **6.0 kWac**

Tensión máx de entrada: **600 V**

Diseño del generador FV

N° de módulos y cadenas

Mód. en serie entre 10 y 14 Ver condiciones ?

N° de cadenas única posibilidad 2

Pérdida sobrecarg: **0.0 %** Pérd. sobrecarg ?

Relación Pnom **0.82**

N° módulos 20 Superficie 33 m²

la potencia del inversor está un poco sobredimensionado.

Cond. de funcionamiento

Vmpp (60°C) 251 V
 Vmpp (20°C) 311 V
 Voc (-10°C) 425 V

Irradiancia plano **1000 W/m²**

Máx. en bases STC

Pmáx en funcionamiento en 1000 W/m² y 50°C **4.3 kW**

Isc (STC) 17.5 A
 Isc (en STC) 17.2 A

Potencia nom gener. (STC) **4.9 kWp**

Figura 27. Dimensionamiento Sistema B

De acuerdo a los datos anteriores tenemos un sistema completo conformado por 92 modulos fotovoltaicos, uno menos que nuestro dimencionamiento con relación al area disponible; para este estudio se trabajara con el optimo calculado con el software.

De igual forma se realizaron los calculos utilizando 3 inversores SMA SB6000 US- 12-240 para el sistema A y 1 inversor SMA SB6000 US- 12-240 para el sistema B, esta distribución se calculo en base a uno de los criterios definidos en el inicio del estudio, lo cual nos permitira tener cadenas independientes, permitiendo realizar los mantenimientos debidos o por cualquier contratiempo de forma independiente sin afectar directamente todo el sistema.

Con los calculos realizados tenemos que nuestro sistema completo tiene un apotencia nominal de 22.5 KWp, distribuida para el "sistema A" 17.6KWp y para el "sistema B" 4.9 KWp.

De forma simplificada el sistema se esquematiza en la siguiente figura:

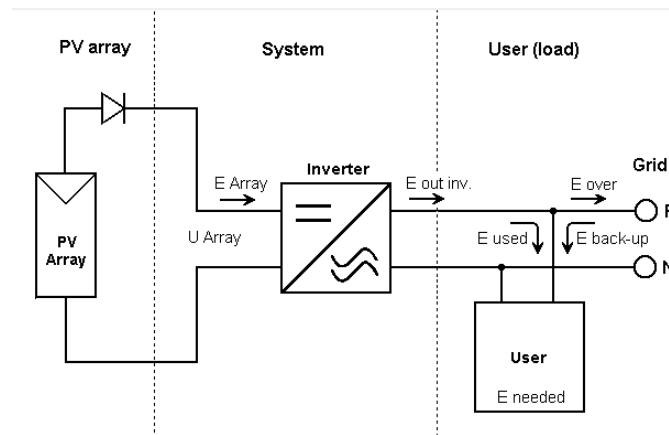


Figura 28. Esquematización del Sistema Fotovoltaico

Los principales resultados obtenidos con relación a los parámetros calculados y el sistema diseñado para el Centro de Formación CFP FUNSALPRODESE, recordando que dicho sistema consta de dos arreglos, el primero de 72 MFV, colocados en el techo del edificio de aulas y oficinas y el segundo de 20 MFV colocados en la cubierta del taller de mecanica automotriz. En la siguiente tabla se presentan los balances y resultados prinipales obtenidos para nuestro sistema:

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
Enero	154.7	29.78	177.9	173.1	3042	2918	11.30	10.83
Febrero	155.9	30.39	170.0	165.1	2878	2761	11.18	10.73
Marzo	181.5	30.81	186.2	180.6	3135	3004	11.13	10.66
Abril	171.4	31.41	166.7	161.2	2820	2697	11.18	10.69
Mayo	160.7	30.43	151.0	145.4	2643	2524	11.56	11.04
Junio	158.4	29.88	146.1	140.6	2556	2438	11.56	11.03
Julio	196.4	30.44	180.0	173.5	3109	2978	11.41	10.93
Agosto	172.6	30.09	165.4	159.8	2867	2740	11.45	10.94
Septiembre	147.6	28.43	148.3	143.4	2601	2483	11.58	11.06
Octubre	147.3	28.14	154.8	149.9	2714	2595	11.58	11.07
Noviembre	135.4	28.64	150.3	145.8	2609	2493	11.47	10.96
Diciembre	145.8	29.58	168.2	163.3	2925	2806	11.49	11.02
Año	1927.8	29.83	1964.9	1901.8	33898	32436	11.40	10.91

Tabla 14. Balances y Resultados Principales del Sistema

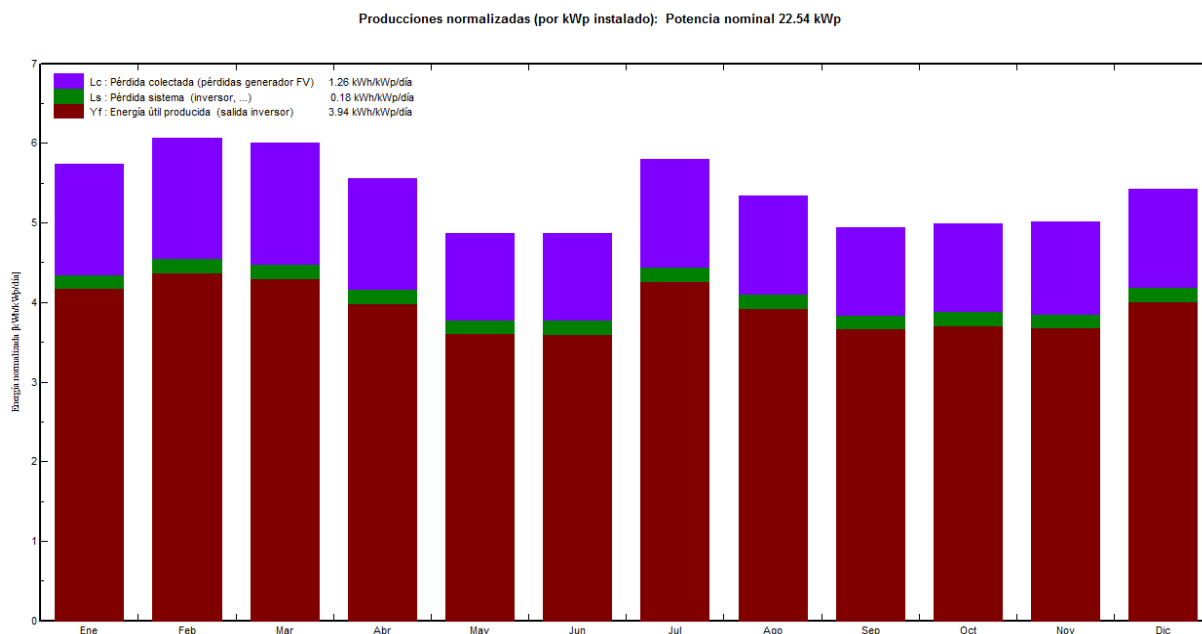


Figura 29. Producciones Normalizadas (por kWp Instalado): Potencia Nominal 22.5 kWp

Partiendo de los resultados obtenidos por nuestro sistema podemos observar que el sistema no tiene capacidad para cubrir la demanda del Centro de Formación ya que dicha demanda es de 46,632 kWh y la energía generada por nuestro sistema es de 32,436 kWh teniendo una demanda energética sin cubrir de 14,195 kWh. En la siguiente tabla se presentan los datos comparativos de la energía demandada vs. la energía generada por el sistema.

Meses	Energía Demandada (Kwh)	Energía Producida (Kwh)	Energía Sin Suplir (Kwh)
Enero	3960.58	2918	1042.58
Febrero	3577.3	2761	816.3
Marzo	3960.58	3004	956.58
Abril	3832.82	2697	1135.82
Mayo	3960.58	2524	1436.58
Junio	3832.82	2438	1394.82
Julio	3960.58	2978	982.58
Agosto	3960.58	2740	1220.58
Septiembre	3832.82	2483	1349.82
Octubre	3960.58	2595	1365.58
Noviembre	3832.82	2493	1339.82
Diciembre	3960.58	2806	1154.58
TOTAL	46632.64	32437	14195.64

Tabla 15. Demanda vs. Generación Fotovoltaica

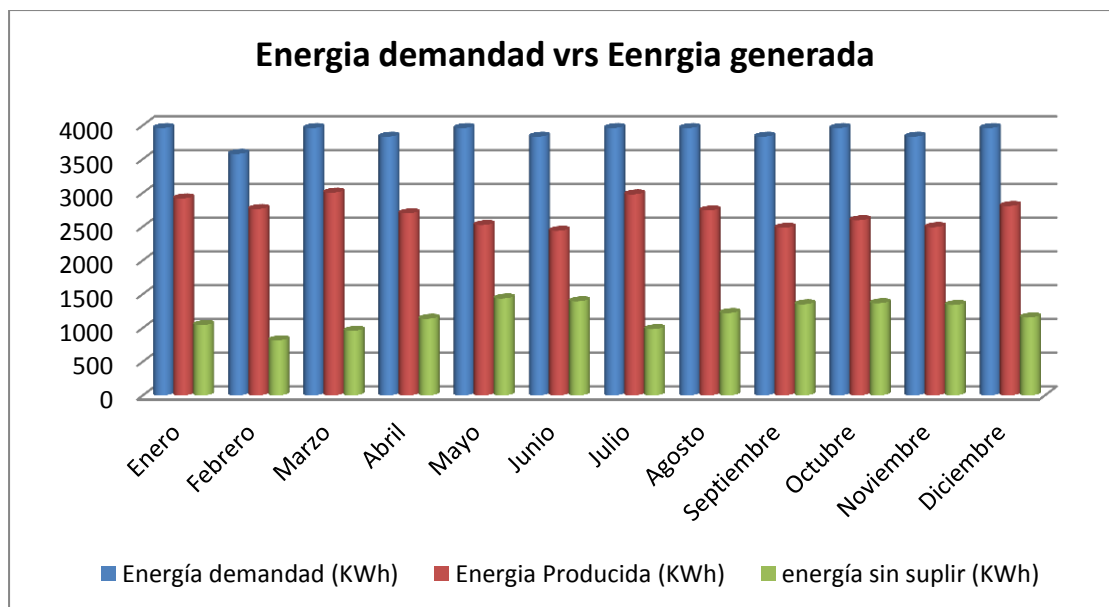


Figura 30. Demanda vs. Generación Fotovoltaica

Al traducir los resultados presentados en las tablas anteriores a valor monetario con relación a la demanda energética del CFP FUNSALPRODESE y la generación energética a través de la instalación de módulos fotovoltaicos tenemos que el promedio de gasto mensual es de \$1010.37 y con la generación de energía para autoconsumo los días de lunes a viernes se genera un promedio de ahorro mensual de \$702.80 dólares lo cual implica un cobro promedio en la factura mensual de \$307.57.

Meses	Gastos en energía (\$)	Ahorro por Generación FV	Costos Energía de la Red
Enero	\$ 1,029.75	\$ 758.68	\$ 271.07
Febrero	\$ 930.10	\$ 717.86	\$ 212.24
Marzo	\$ 1,029.75	\$ 781.04	\$ 248.71
Abril	\$ 996.53	\$ 701.22	\$ 295.31
Mayo	\$ 1,029.75	\$ 656.24	\$ 373.51
Junio	\$ 996.53	\$ 633.88	\$ 362.65
Julio	\$ 1,029.75	\$ 774.28	\$ 255.47
Agosto	\$ 1,029.75	\$ 712.40	\$ 317.35
Septiembre	\$ 996.53	\$ 645.58	\$ 350.95
Octubre	\$ 1,029.75	\$ 674.70	\$ 355.05
Noviembre	\$ 996.53	\$ 648.18	\$ 348.35
Diciembre	\$ 1,029.75	\$ 729.56	\$ 300.19
TOTAL	\$ 12,124.49	\$ 8,433.62	\$ 3,690.87

Tabla 16. Disminución en los Costos por Consumo de Energía

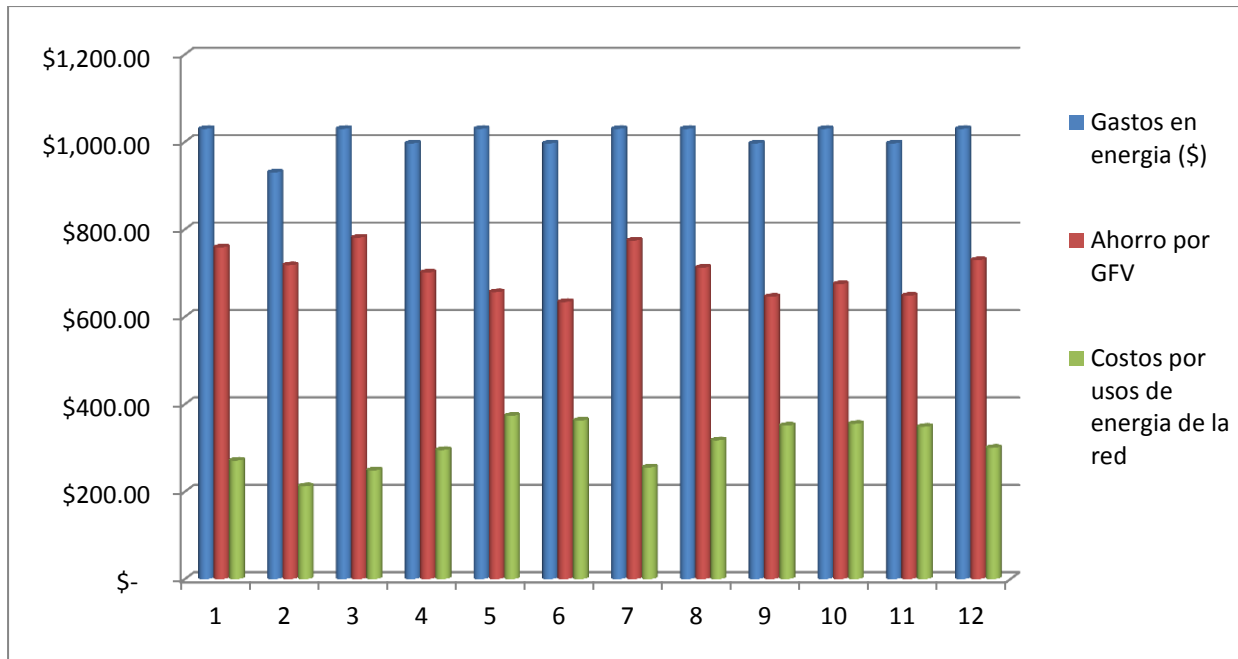


Figura 31. Disminución en los Costos por Consumo de Energía

Ademas se debe de considerar que los dias sabado y domingo la eneregia generada por los modulos fotovoltaicos sera inyectada directamente a la red, lo cual implica que por cada uno de dichos dias se estaria obteniendo 88.89 KWh por dia, generando un ingreso por dia de \$19.91, lo que implicaria al mes un ingreso por la venta de energia de \$159.30, lo cual implicca que se estaria cubriendo el 52% de la factura por concumo energetico mensual de la red.

D. COSTOS DEL SISTEMA.

Para los cálculos del costo del sistema se ha recurrido a diferentes fuentes de información previamente revisadas y a la obtención de datos de distribuidores internacionales a través de sus páginas web. Además, ya que el documento será utilizado para la gestión de fondos de cooperación se ha utilizado un formato en el cual se incluyen los costos de contrapartida, los cuales generalmente corresponden al 10% del costo operativo del proyecto.

Para el presente estudio los costos de contrapartida se han cargado al salario del coordinador del proyecto ya que en el CFP FUNSALPRODESE, se cuenta con ingenieros eléctricos de planta, encargados de la formación académica de los estudiantes. Además, se contempla cubrir el costo de la mano de obra, ya que uno de los cursos que se imparten es Electricista certificado de 4ta categoría, lo cual permite que se tenga mano de obra calificada para realizar la instalación.

Actividades	Unidad	Cantidad	C. U. (\$)	Importe (\$)	Contrapartida (\$)	Solicitado (\$)	TOTAL (\$)
Equipo para sistema A (edificio de Oficina y Salones de clases)				28,044.00		28,044.00	28,044.00
Módulos Fotovoltaicos Kyocera KD245GX-LPB	Unidad	72	276.00	19,872.00		19,872.00	19,872.00
Inversores SMA SB6000 US- 12-240	Unidad	3	2,724.00	8,172.00		8,172.00	8,172.00
Equipo para sistema A (edificio de Oficina y Salones de clases)				8,244.00		8,244.00	8,244.00
Módulos Fotovoltaicos Kyocera KD245GX-LPB	Unidad	20	276.00	5,520.00		5,520.00	5,520.00
Inversores SMA SB6000 US- 12-240	unidad	1	2,724.00	2,724.00		2,724.00	2,724.00
Instalación de equipos en sistema A				18,960.00	2,160.00	16,800.00	18,960.00
Mano de obra	MPV	72	30.00	2,160.00	2,160.00		2,160.00
Accesorios y materiales para instalación	global	1	5,400.00	5,400.00		5,400.00	5,400.00

Estructura de soporte	global	3	3,800.00	11,400.00		11,400.00	11,400.00
Instalación de equipos en sistema B				8,900.00		8,900.00	8,900.00
Mano de obra	MPV	20	20.00	400.00		400.00	400.00
Accesorios y materiales para instalación	global	1	3,100.00	3,100.00		3,100.00	3,100.00
Estructura de soporte	global	3	1,800.00	5,400.00		5,400.00	5,400.00
Accesorios y otros equipos de medición				520.00		520.00	520.00
medidor de irradiancia	unidad	1	520.00	520.00		520.00	520.00
Recursos Humanos				4,500.00	4,500.00	0.00	4,500.00
Coordinador de proyecto	Meses	3	1,500.00	4,500.00	4,500.00		4,500.00
SUB – TOTAL				69,168.00	6,660.00	62,508.00	69,168.00
Gastos Indirectos	Global	1		3,458.40		3,458.40	3,458.40
TOTAL				72,626.40	6,660.00	65,966.40	72,626.40

Tabla 17. Presupuesto del Sistema Fotovoltaico para el CFP FUNSALPRODESE

Al analizar el costo del sistema para cada instalación tenemos que la instalación del sistema A tiene un costo total de \$52,024.00 y el costo para el sistema B es de \$22,164.00; se debe de considerar que los costos fijos con relación a la capacidad instalada, hacen que el costo por KWp instalado sea mayor en la instalación B que en la instalación A. de todo el sistema el costo por KWp instalado es de

Para verificar la factibilidad financiera del desarrollo del proyecto se recurrirá al análisis de variables financieras como la Tasa Interna de Retorno TIR, el Valor Actual Neto VAN y la relación Beneficio Costo. Para dicho análisis se establece que este estudio se utilizará para la gestión de fondos de cooperación, por lo que no se considera apalancamiento bancario, ya que los fondos de cooperación son fondos no reembolsables. Mas sin embargo solicitan una

contrapartida de al menos el 10% del total del proyecto; dicha contrapartida estará cubierta de acuerdo al presupuesto anterior.

Para la realización del análisis de factibilidad financiera se tomaran en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para el calculo de los parametros financieros, definiremos una vida util de la instalacion de 25 años.
- Los costos de mantenimiento seran el .5% de los costos de producción de 32,437KWh/año, por lo que tendremos que si la inversión total del sistema es de \$72,626.40 y tomamos en cuenta el tiempo de vida del sistema, el costo del mantenimiento sera de \$145.25/año mas la inflación por año.
- El premio al riesgo,el cual de acuerdo al documento “análisis del mercado salvadoreño de energia renovable (BCIE – ARECA)” tiene un valor del 8%.

Los calculos desarrollados para la obtencion de los parametros financieros VAN, TIR y Relación Beneficio/Costo se presentan en la siguiente tabla:

Año	Precio de la Energía (KWh)	Producción Anual (KWh)	Ahorro de Energía en \$	Costos de Mantenimiento (\$)	Utilidad	VAN
0	0	0	0	0	(\$72,626.40)	0
1	0.21595656	32437	7004.98294	145.2528	6859.73014	\$60,093.26
2	0.21854804	32177.5	7032.33039	148.738867	6883.59152	\$59,723.60
3	0.22117062	31920.1	7059.78461	152.3086	6907.47601	\$59,290.15
4	0.22382466	31664.7	7087.34601	155.964006	6931.382	\$58,786.01
5	0.22651056	31411.4	7115.01501	159.707143	6955.30786	\$58,203.52
6	0.22922869	31160.1	7142.79202	163.540114	6979.25191	\$57,534.19
7	0.23197943	30910.8	7170.67748	167.465077	7003.21241	\$56,768.64
8	0.23476318	30663.5	7198.67181	171.484239	7027.18757	\$55,896.44
9	0.23758034	30418.2	7226.77542	175.59986	7051.17556	\$54,906.06
10	0.2404313	30174.9	7254.98876	179.814257	7075.1745	\$53,784.74
11	0.24331648	29933.5	7283.31223	184.129799	7099.18243	\$52,518.32

Año	Precio de la Energía (KWh)	Producción Anual (KWh)	Ahorro de Energía en \$	Costos de Mantenimiento (\$)	Utilidad	VAN
12	0.24623628	29694.0	7311.74628	188.548914	7123.19737	\$51,091.12
13	0.24919111	29456.5	7340.29134	193.074088	7147.21725	\$49,485.76
14	0.25218141	29220.8	7368.94784	197.707866	7171.23997	\$47,683.00
15	0.25520758	28987.1	7397.71621	202.452855	7195.26335	\$45,661.53
16	0.25827007	28755.2	7426.59689	207.311724	7219.28517	\$43,397.71
17	0.26136932	28525.1	7455.59033	212.287205	7243.30312	\$40,865.38
18	0.26450575	28296.9	7484.69695	217.382098	7267.31485	\$38,035.54
19	0.26767982	28070.5	7513.91721	222.599268	7291.31794	\$34,876.06
20	0.27089197	27846.0	7543.25154	227.941651	7315.30989	\$31,351.36
21	0.27414268	27623.2	7572.7004	233.41225	7339.28815	\$27,421.99
22	0.27743239	27402.2	7602.26422	239.014144	7363.25007	\$23,044.28
23	0.28076158	27183.0	7631.94346	244.750484	7387.19297	\$18,169.81
24	0.28413072	26965.5	7661.73857	250.624495	7411.11407	\$12,744.96
25	0.28754029	26749.8	7691.64999	256.639483	7435.01051	\$6,710.30
						\$1098,043.72
						(\$72,626.40)
					VAN	\$1025,417.32
					TIR	8%
					R C/B	0.07

Tabla 18. Calculo de Indicadores Financieros del Proyecto

De acuerdo a los datos obtenidos en nuestro analisis de parametros financieros podemos inferir que el proyecto es rentable y que a partir del año 10 se estaria recuperando la inversión y se estaria generando un ahorro de \$106,055.58 en los 25 años de vida del sistema.

VII. CONCLUSIONES.

De acuerdo a las mediciones y cálculos realizados para el presente estudio y los análisis de los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

- En un día típico laboral en el CFP FUNSALPRODESE (lunes a viernes), la demanda total de energía es de 127.76 KWh. Por lo que el consumo energético anual es de 46.632 KWh, lo que implica un costo de \$8912.06 por año. Para los consumos no se consideraron los días sábado y domingo, ya que el CFP se encuentra sin actividades por lo cual su consumo energético es mínimo.
- El recurso solar con el que cuenta el país permite el aprovechamiento del mismo para la generación de energía eléctrica ya que su rango oscila entre 4.6 y 5.8 KWh /m²/día, estos datos son el promedio de las fuentes consultadas.
- De acuerdo a los criterios de orientación, presentación de obstáculos y facilidad de instalación de los Módulos fotovoltaicos los espacios que presentan las mejores condiciones son el techo del edificio de aulas y oficinas; y el techo del taller de mecánica automotriz, lo cual representan un espacio disponible de 170 mts², (120 mts² y 50 mts² respectivamente). Tomando en cuenta criterios de seguridad y criterios de diseño para la estructura de soporte se debe utilizar 151 mts² (118 mts² para el sistema A: edificio de aulas y oficinas; 33 mts² taller de mecánica automotriz).
- Utilizando Módulos Fotovoltaico Kyocera KD245GX-LPB e inversores SMA SB6000 US- 12-240 para el sistema A e inversor SMA SB6000 US- 12-240 para el sistema B, el sistema completo tiene un potencia nominal de 22.5 KWp, distribuida para el sistema A 17.6KWp y para el sistema B 4.9 KWp.
- El sistema diseñado tiene capacidad de suministrar el 70% de la demanda del Centro de Formación en días laborales ya que dicha demanda es de 46,632 kWh y la energía generada por nuestro sistema es de 32,436 kWh teniendo una demanda energética sin

cubrir de 14,195 kWh. Esta situación es positiva ya que implica un ahorro \$8433.62 anual en consumo energético.

- A partir del análisis de indicadores de factibilidad financiera podemos afirmar que el proyecto tiende a ser rentable ya que el periodo de recuperación de la inversión es de 10 años y el tiempo de vida del proyecto es de 25 años, además se obtuvo un Valor Actual Neto positivo, una TIR de 8% y una relación beneficio costo del 7%.
- Considerando que el CFP FUNSALPRODESE es una Organización sin fines de lucro que apoya a la formación de jóvenes hombres y mujeres en condiciones de riesgo y exclusión social, se considera que la instalación será financiada a través de la gestión de fondos de cooperación, lo cual implica que no se incurrirán en gastos de apalancamiento.

VIII. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio se recomienda lo siguiente:

- De acuerdo a la inspección realizada se recomienda aplicar estrategias de eficiencia energética para disminuir el consumo energético, por ejemplo sustituir los luminarios por luminarias T8, lo cual no implica una erogación de fondos excesiva y permitiría disminuir los kWh.
- Se recomienda realizar las gestiones necesarias para vender el excedente de energía generado los días sábados y domingo ya que por cada uno de dichos días se estaría obteniendo 88.89 kWh por día, generando un ingreso por día de \$19.91, lo que implicaría al mes un ingreso por la venta de energía de \$159.30, lo cual implica que se estaría cubriendo el 52% de la factura por consumo energético mensual de la red.
- La infraestructura del CFP FUNSAALPRODESE presenta condiciones para incrementar la generación de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos, por lo que se recomienda realizar un estudio posterior para verificar la rentabilidad de utilizar otras instalaciones para MFV.
- Se recomienda la realización de mediciones directas en el terreno, con el fin de evaluar el recurso solar disponible con mayor certeza.
- Es recomendable realizar un estudio de sensibilidad sobre la reducción de costos del sistema al implementar estrategias de eficiencia energética, ya que ante esta situación el sistema sería más rentable.
- Diseñar un espacio de aprendizaje en sistemas fotovoltaicos que permita a las y los alumnos del Centro de Formación Profesional CFP FUNSAALPRODESE formarse en la instalación y funcionamiento de dichos sistemas.

IX. NOMENCLATURA Y GLOSARIO DE TERMINOS

Célula Fotovoltaica: Unidad básica del sistema fotovoltaico donde se produce la transformación de la luz solar en energía eléctrica.

Central Fotovoltaica: Conjunto de instalaciones destinadas al suministro de energía eléctrica a la red mediante el empleo de sistemas fotovoltaicos a gran escala.

Contador: Un contador principal mide la energía producida (kWh) y enviada a la red, que pueda ser facturada a la compañía a los precios autorizados. Un contador secundario mide los pequeños consumos de los equipos fotovoltaicos (kWh) para descontarlos de la energía producida.

Dimensionado: Proceso por el cual se estima el tamaño de una instalación de energía solar fotovoltaica para atender unas necesidades determinadas con unas condiciones meteorológicas dadas.

Integración en edificios (BIPV): Término que se refiere al diseño e integración fotovoltaica en el desarrollo de edificios, normalmente reemplazando los materiales que convencionalmente se emplean en los edificios.

Efecto Fotovoltaico: Conversión directa de la energía luminosa en energía eléctrica.

Eficiencia: En lo que respecta a células solares es el porcentaje de energía solar que es transformada en energía eléctrica por la célula. En función de la tecnología y la producción técnica, éste varía entre un 5% y un 30%.

Fotovoltaico (FV): Relativo a la generación de fuerza electromotriz por la acción de la luz.

Generador: Conjunto de todos los elementos que componen una instalación fotovoltaica, necesarios para suministrar energía a las distintas aplicaciones. Transforma la energía del Sol en energía eléctrica y carga las baterías.

Inclinación: Ángulo que forma el panel fotovoltaico con una superficie perfectamente horizontal o a nivel.

Inversor: Transforma la corriente continua que suministran las baterías o los paneles en corriente alterna para su uso en diferentes electrodomésticos o aplicaciones, tanto en sistemas aislados como en sistemas conectados a red.

Kilovatio (kW): Unidad de potencia equivalente a 1000 vatios.

Módulo o Panel Fotovoltaico: Es el conjunto formado por las distintas células fotovoltaicas interconectadas, encapsuladas y protegidas por un vidrio en su cara anterior y por un marco por los laterales. El módulo está provisto de terminales para su conexión a la instalación.

Orientación: Ángulo de orientación respecto al Sur Solar de la superficie de un panel. El Sur geográfico (o real) no debe confundirse con el magnético, que es el que señala la brújula, aunque en el caso de España la diferencia no suponga grandes desviaciones.

Punto de máxima potencia de un Panel: Potencia que suministra un panel fotovoltaico cuando el producto de la tensión por la intensidad es máximo.

Radiación Solar: Cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y tiempo determinados.

Regulador: Véase Controlador de Carga.

Rendimiento: Es la relación que existe entre la energía que realmente transforma en energía útil y la que requiere un determinado equipo para su funcionamiento.

Sistema Aislado o Remoto: Sistema fotovoltaico autónomo, no conectado a red. Estos sistemas requieren baterías u otras formas de acumulación. Suelen utilizarse en lugares remotos o de difícil acceso.

Sistema Conectado a Red: Sistema fotovoltaico en el que actúa como una central generadora de electricidad, suministrando energía a la red. **Sistema Híbrido:** Sistema fotovoltaico que incluye otras fuentes que generan electricidad, tales como generadores eólicos o grupos electrógenos.

Tensión de un Circuito Abierto: Es la diferencia de potencial medida entre dos extremos de un circuito eléctrico, cuando éste está abierto y sin carga.

Tensión Nominal: Diferencia de potencial específica, para la que se diseña un equipo o una instalación. Se llama nominal porque la tensión puede variar por distintas circunstancias durante la Operación.

Vatio (W): Unidad de potencia eléctrica, que equivale a un julio por segundo.

Vatio Pico: Unidad de potencia que hace referencia al producto de la tensión por la intensidad (potencia pico) del panel fotovoltaico en unas condiciones estándares de medida (STC).

Voltaje: Anglicismo del término Tensión.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas, Falk Anthony, Christian Durschner, Karl-Heinz Remmers, 2006
- Aplicaciones Fotovoltaicas, Stuart R. Wenham, Martin A. Green, Muriel E. Watt y Richard Corkish, segunda edición, 2007
- Política Energética Nacional, Concejo Nacional de Energía – CNE
- SIGET Boletín Estadísticas Eléctricas N°12. 2010.
- SWERA, UCA, “Determinación del Potencial Solar y Eólico en El Salvador” Octubre 2005.
- The German Energy Society, “Planning and Installing Photovoltaic Systems”, Second Edition, Earthscan, london, Sterling, VA 2008
- “Solar engineering of thermal processes”, John A. Duffie – William A. Beckman, A Wiley-Interscience Publication JOHN WILEY & SONS, INC., segunda edición.

XI. ANEXOS

ANEXO 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS KYOCERA KD245GX-LPB.

HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL PHOTOVOLTAIC MODULE



KD 200-60 F Series

KD240GX-LFB KD245GX-LFB KD250GX-LFB

CUTTING EDGE TECHNOLOGY

As a pioneer with over 35 years in the solar energy industry, Kyocera demonstrates leadership in the development of solar energy products. Kyocera's Kaizen Philosophy, commitment to continuous improvement, is shown by repeatedly achieving world record cell efficiencies.

QUALITY BUILT IN

- UV stabilized, aesthetically pleasing black anodized frame
- Supported by major mounting structure manufacturers
- Easily accessible grounding points on all four corners for fast installation
- Proven junction box technology with 12 AWG PV wire to work with transformerless inverters
- Quality locking MC4 plug-in connectors to provide safe and quick connections

RELIABLE

- Proven superior field performance
- Tight power tolerance
- Only module manufacturer to pass rigorous long-term testing performed by TÜV Rheinland

QUALIFICATIONS AND CERTIFICATIONS

UL Listing
QJQJE173074



Registered to ISO9001-2000

NEC 2008 Compliant, UL 1703, ISO 9001, and ISO 14001
UL1703 Certified and Registered, UL Fire Safety Class C, CEC, FSEC



Manufactured in San Diego, California
QUALIFIED FOR "BUY AMERICAN"
Available Upon Request



SOLAR by KYOCERA

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Standard Test Conditions (STC) <i>STC = 1000 W/m² irradiance, 25°C module temperature, AM 1.5 spectrum*</i>				
	KD240GX-LFB	KD245GX-LFB	KD250GX-LFB	
P _{max}	240	245	250	W
V _{mp}	29.8	29.8	29.8	V
I _{mp}	8.06	8.23	8.39	A
V _{oc}	36.9	36.9	36.9	V
I _{sc}	8.59	8.91	9.09	A
P _{max,STC}	+5/-3	+5/-3	+5/-3	%

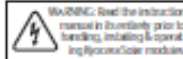
Nominal Operating Cell Temperature Conditions (NOCT) <i>NOCT = 800 W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, AM 1.5 spectrum*</i>				
	KD240GX-LFB	KD245GX-LFB	KD250GX-LFB	
T _{max}	45	45	45	°C
P _{max}	172	176	180	W
V _{mp}	26.7	26.8	26.8	V
I _{mp}	6.45	6.58	6.72	A
V _{oc}	33.7	33.7	33.7	V
I _{sc}	6.95	7.21	7.36	A
PTC	217.3	219.1	223.7	W

Temperature Coefficients				
P _{max}	-0.46	-0.46	-0.46	%/°C
V _{mp}	-0.52	-0.52	-0.52	%/°C
I _{mp}	0.0064	0.0065	0.0065	%/°C
V _{oc}	-0.36	-0.36	-0.36	%/°C
I _{sc}	0.060	0.060	0.060	%/°C
Operating Temp	-40 to +90	-40 to +90	-40 to +90	°C

System Design	
Series Fuse Rating	15 A
Maximum DC System Voltage (UL)	600 V
Hailstone Impact	1in (25mm) @ 51mph (23m/s)

* Subject to simulator measurement uncertainty of +/- 2%. KYOCERA reserves the right to modify these specifications without notice.

NEC 2008 COMPLIANT
UL 1703 LISTED

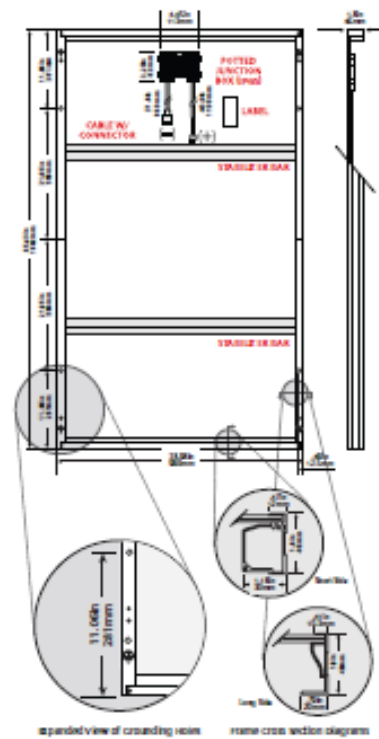


MODULE CHARACTERISTICS

Dimensions: length/width/height	65.43in(38.98in)1.81in (1662mm)990mm)46mm)
Weight:	46.3lbs (21.0kg)

PACKAGING SPECIFICATIONS

Modules per pallet:	20
Pallets per 53' container:	36
Pallet box dimensions: length/width/height	66in)40in)40in (1675mm)1005mm)1175mm)
Pallet box weight:	1040 lbs (470kg)



Legend		
○ MOUNTING HOLES .35in (9mm)	● DRAINAGE HOLES .35in (9mm)	⊕ GROUND SYMBOL .35in (9mm)

041212

OUR VALUED PARTNER

ANEXO 2. DIAGRAMA DE PÉRDIDA DEL SISTEMA.

