

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 de Madrid, España



Universidad de El Salvador, El Salvador

PROPUESTA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED EN EL MUNICIPIO DE SAN BUENAVENTURA, USULUTAN, EL SALVADOR.

ING. DANFRE DAGOBERTO VENTURA REYES

TUTOR: MSc. JAIME AREVALO

León, abril del 2014

AGRADECIMIENTOS

Dedico este logro a las personas que de una u otra forma influyeron enormemente en mi vida.

A DIOS: Por cuidar de mí y de mi familia, por llenarme de bendiciones, Por guiar mi camino y apartar de mí todos los males.

A Mis Padres: ANTONIO REYES Y MARGARITA VENTURA por ser un ejemplo claro de lucha, perseverancia y honestidad a quienes les debo este logro, gracias por su apoyo, nunca me abandonaron en este proceso lleno de tantas adversidades. Los amo mucho.

A Mis Hermanos: EDILSON, SANTOS (+), ALBERT, EDUARDO, RONALD Y MARVIN. Por apoyarme en los momentos cuando más necesitaba de alguien, me alentaban a que le siguiera echando ganas, Gracias por estar ahí conmigo siempre mis hermanos del alma, los amo.

A Mi Hija SOFIA CELESTE, has sido mi principal fuente de inspiración en esta última etapa que ha sido muy difícil, pero que al final se ha logrado el objetivo, te amo hija mía.

A MIS ABUELOS: Por llevarme siempre en sus oraciones y por brindarme su amor y alentarme a seguir adelante.

A Mis Amigos LUIS BARRERA, SALVADOR HANDAL Y VICTOR ESPINAL, por brindarme siempre su cariño, sus consejos que tanto me ayudaron y su apoyo en las diferentes etapas de este proceso y de mi vida, los quiero mucho y siempre los llevo en mi corazón.

A Mi Asesor: ING. JAIME AREVALO, por apoyarme a la realización de esta última etapa, persona a la que siempre he considerado mi amigo al cual admiro, respeto y aprecio mucho. Gracias por dedicarme ese tiempo.

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo propuesta de un sistema fotovoltaico conectado a la red para el municipio de San Buenaventura, Usulután. Incluye los aspectos siguientes:

Base legal para la realización del proyecto y el diseño del mismo

Base legal para la realización del proyecto, Involucra:

Permiso Ministerio de recursos naturales y medio ambiente: categoría del proyecto B1.

Permiso SIGET: -Inscripción en el Registro de SIGET – Generador y otro operador

-Certificación de Proyectos Previa Autorización de Incentivo Fiscal

Ministerio de Hacienda: Autorización de Incentivo Fiscal

El diseño involucra:

Acceso: calle pavimentada desde carretera panamericana hacia el terreno a 2 kms. de distancia.

Área: un total de 300 manzanas, de las cuales se han selección 7000 metros cuadrados.

Conexión: A red distribuida a 4.16 KV, distancia del generador a la red de entre 25 a 50 metros.

Tipo de tecnología: Paneles solares monocristalino de 180 KW e Inversor de 250 KW ac

La potencia nominal de la planta: **1,000 kW**

La potencia máxima de la planta: **1,088 kW**

La generación de inyección de energía a la red anual es de **1580.2 MWh**

Evaluaciones económicas: para un precio de venta de energía de \$ 350MWh, el valor anual neto y la tasa interna de retorno son de 9460.91 y 13% respectivamente.

Abstract

This project proposed a network connected to the town of San Buenaventura, Usulután photovoltaic system. Includes the following:

Legal basis for the project and its design

Legal basis for the implementation of the project involves:

Permission Ministry of Natural Resources and Environment: category B1 project.

Permission SIGET: -Join the Registry SIGET - Generator and other operator

-Project Certification-Prior Authorization of Tax Incentive

Ministry of Finance: Tax Incentive Authorization

The design involves:

Access: paved road from Pan-American Highway to the field 2 miles away.

Area: A total of 300 blocks, of which selection is made 7000 m.

Connection: A distributed network to 4.16 KV, distance from the generator to the network of 25 to 50 meters.

Technology type: monocrystalline solar panels 180 KW and Ac inverter 250 KW

The nominal power of the plant: 1,000 kW

The maximum output of the plant: 1,088 kW

The generation of energy injection to the annual network is 1580.2 MWh

Economic evaluations: for energy sales price at \$ 350 MWh, the net annual value and internal rate of return are 9460.91 and 13% respectivel

Contenido

INTRODUCCION	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
1. Potencial de la Energía Solar.....	6
2. Sistemas Fotovoltaicos.	16
DISEÑO METODOLOGICO DEL ESTUDIO	22
Estudio preliminar.....	22
Trabajo de campo	28
RESULTADOS Y DISCUSION.....	33
1. Diagrama general de la instalación fotovoltaica conectada a la red	33
2. SIMULACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA.....	34
3. Costos del proyecto.....	40
4. EVALUACIONES DEL PROYECTO	43
CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES.....	48
NOMENCLATURA Y GLOSARIO DE TERMINOS.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXOS	52

Índice de figuras

Figura 1. Proyección de demanda de generación eléctrica hasta 2026.....	3
Figura 2. Influencia de la atmosfera sobre la radiación solar.....	6
Figura 3 Proceso de transformación de energía solar en eléctrica	8
Ilustración 4 Proceso de fabricación del panel solar	10
Figura 5. Comparación de la Irradiancia Solar real tomada cada 15 minutos y la Irradiancia Solar promedio equivalente al mismo día de medición.	13
Figura 6. Comparación del área bajo la curva de la Irradiancia Solar de dos días consecutivos.....	14
Figura 7. Mapa de Irradiancia Solar. Promedio anual en diferentes puntos de medición en El Salvador. .	15
Figura 8. Clasificación de las celdas más conocidas por material, espesor y estructura cristalina.	17
Figura 9. Caída de costos para los módulos FV (1976-2010).	18
Figura 10. Consumo histórico de energía eléctrica de un edificio tipo a partir de sus facturas de consumo de electricidad.	20
Figura 11. Diagrama de interconexión de red distribuida a 13.2 KV/23KV.....	20
Figura 12. Diagrama de interconexión de red distribución primarias o secundarias	21
Figura 13. Categorización de proyectos según el potencial impacto ambiental.	26
Figura 14. Vista aérea de ubicación del proyecto y estaciones de medición solar (15 de septiembre y TR-11).....	28
Figura 15. Vista aérea de ruta de acceso hacia el proyecto desde carretera Panamericana.....	29
Figura 16. Vista aérea del terreno seleccionado para el proyecto fotovoltaico, área aproximada de 70000 m2.	29
Figura 17. Imágenes de ruta de acceso al proyecto: 1) vista desde carretera panamericana 2) vías de acceso hacia el proyecto 3) Entrada al terreno seleccionado para el diseño de proyecto Fotovoltaico	30
Figura 18. Imágenes del terreno con su respectiva vegetación	31
Figura 19. Imágenes con líneas de transmisión eléctrica de alta tensión y líneas de distribución, cercanas al proyecto.....	31
Figura 20. Esquema gráfico de los pasos de la conversión eléctrica	33
Figura 21. Esquema simplificado del sistema fotovoltaico	33
Figura 22. Orientación e inclinación del módulo respecto a la posición ideal	35
Figura 23. Representación equivalente plano receptor.....	35
Figura 24. Producción normalizada (por kWp instalado).....	36
figura 25. Factor de rendimiento (PR).....	36
figura 26. Diagrama de pérdidas durante todo el año.....	38

Índice de tablas

Tabla 1. Irradiancia Solar diaria para todos los meses del año.	14
Tabla 2. Eficiencias de módulos comercialmente disponibles	17
Tabla 3. datos de irradiancia para el proyecto	32
Tabla 4. Balances y resultados principales de la simulación.	37
Tabla 5. Pagos anuales por credito	41
Tabla 6. Resumen de Costos.....	41
Tabla 7. ingresos por venta de energía	42
Tabla 8. flujo de efectivo para el proyecto tomando como base el precio de venta de \$200 por kWh.....	44
Tabla 9. flujo de efectivo para el proyecto tomando como base el precio de venta de \$300 por kWh.....	44
Tabla 10. flujo de efectivo para el proyecto tomando como base el precio de venta de \$350 por kWh...	45
Tabla 11. Resumen de evaluacion	45

INTRODUCCION

En el presente proyecto se describe el proceso integral de creación de una instalación generación eléctrica de origen fotovoltaico. Lo que se pretende es dar a conocer las consideraciones técnicas para su diseño y los temas administrativos a tener en cuenta para obtener todos los permisos y licencias necesarias para su construcción y funcionamiento.

La utilización de fuentes de energía renovables, es una realidad con el beneficio asociado a que no contaminan, ni crean residuos como las fuentes de generación eléctrica convencionales. El uso de combustibles fósiles para la obtención de energía eléctrica, mecánica, térmica, etc., implica una contaminación atmosférica por los gases que se producen en la combustión, tales como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono(CO₂), dióxido de azufre(SO₂), entre otros. Además de costos elevados a largo plazo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Gobierno lanza la primera licitación para pequeños proyectos de energía renovable, de empresas nacionales y extranjeras, con la que esperan inyectar 15 megavatios (MW) al sistema. El Consejo Nacional de Energía (CNE) indica que generaría una inversión de \$30 a \$35 millones, se diseñó para convocar proyectos fotovoltaicos (energía solar), pequeñas centrales hidráulicas y biodigestores (energía a partir de desechos orgánicos). Entre esas tres tecnologías esperan obtener 14 MW y el resto se generará con sistemas fotovoltaicos residenciales.

La apertura a las residencias es uno de los puntos más novedosos de esta licitación, a la que convocará AES El Salvador en nombre de las distribuidoras de energía, destacó el funcionario. “Esto se logró luego de cambiar normativas y reglas, y ya se acordó con distribuidoras”, aseguró Reyes.

Las plantas fotovoltaicas, pequeñas centrales y biodigestores podrán ofertar hasta 400 kilovatios (kW), mientras los sistemas residenciales tendrán un límite de cinco kilovatios. Las viviendas que deseen ofertar el máximo, deberá disponer de un espacio de 60 a 70 metros cuadrados para colocar las celdas, calculó el secretario del Consejo.

En el caso de los proyectos fotovoltaicos en las viviendas, el CNE estima que se requerirán unas 2,000 viviendas. Dado que en los primeros meses serán pocos los ofertantes residenciales, el

Gobierno ha dejado un plazo de 24 meses para que se incorporen los “pequeños generadores” al sistema.

-Alistan segunda licitación

El Consejo también reveló que en septiembre esperan lanzar una segunda licitación de energía renovable no convencional, esta vez a gran escala. Para esta convocatoria se han contemplado, principalmente, proyectos eólicos (energía a partir del viento) y fotovoltaicos. El CNE estima que la licitación contemplará de 70 a 100 MW.

Para concretar los detalles de la segunda licitación, el CNE espera las conclusiones de un estudio que actualmente se elabora con la cooperación de Alemania, y que busca determinar el máximo de energía renovable no convencional que se puede inyectar al sistema, sin que haya inestabilidad.

¿Cómo satisfacer la necesidad del servicio de energía eléctrica a través de la energía solar Fotovoltaica, En el salvador?

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El Salvador, como el resto de países Latinoamericanos, posee una matriz energética con gran dependencia de los derivados de petróleo, para la generación de energía eléctrica así como para otros rubros que definen el desarrollo. A marzo del 2010 el 57% del consumo en energía eléctrica del país era suministrado por plantas térmicas, encareciendo el costo del kWh, y produciendo problemas de contaminación y calentamiento global por la generación de CO₂.

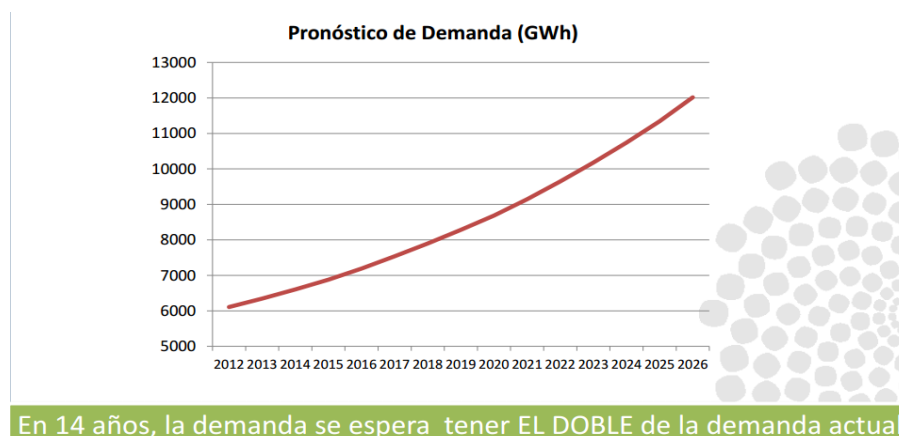


Figura 1. Proyección de demanda de generación eléctrica hasta 2026

En este contexto, el país se enfrenta a grandes retos relacionados con la insuficiente inversión en expansión de la capacidad de generación eléctrica y esto implica desarrollar iniciativas para aportar al gran desafío que el país debe afrontar, por lo tanto es necesaria la diversificación de la matriz energética con especial énfasis en las energías renovables.

Esta dependencia de los combustibles fósiles en la generación eléctrica, así como el modelo de mercado marginalista de compra de energía, en el que el precio por hora lo define el último generador que despacha, ocasiona precios altos en el costo de la energía al consumidor final. Por lo que se desea evaluar el potencial de generación fotovoltaica en el terreno antes mencionado con el fin de instalar sistemas fotovoltaicos conectados a la red para favorecer la diversificación de la matriz energética, fomentar el uso de estas tecnologías en el país y favorecer el medio ambiente.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema fotovoltaico conectado a la red en el municipio de San Buenaventura, para satisfacer las necesidades de demanda energética; en el periodo octubre 2013- abril 2014.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sistematizar los procesos legales necesarios para la instalación de la planta de generación fotovoltaica en el año 2014.
- Comparar las mediciones con bases de datos y estudios previos del recurso solar del lugar seleccionado
- Determinar el potencial de generación fotovoltaica en kW pico, del área seleccionada
- Dimensionar el sistema fotovoltaico conectado a la red

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1. Potencial de la Energía 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 2. Influencia de la atmósfera sobre la radiación solar

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

1.1 El efecto fotovoltaico y sus aplicaciones.

La producción está basada en el fenómeno físico denominado "efecto fotovoltaico", que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas.

El efecto fotovoltaico (FV)¹ es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula FV, pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden pasar a su través. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

Las partes más importantes de la célula solar son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentemente dopadas (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en la otra. Cuando la luz solar incide en la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Es por ello que estas células se fabrican a partir de este tipo de materiales, es decir, materiales que actúan como aislantes a bajas temperaturas y como conductores cuando se aumenta la energía. Desdichadamente no hay un tipo de material ideal para todos los tipos de células y aplicaciones. Además de los semiconductores las células solares están formadas por una malla metálica superior u otro tipo de contrato para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. También en la parte superior de la célula hay un vidrio u otro tipo de material encapsulante transparente para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa antireflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

¹ http://wiki.ead.pucv.cl/index.php/La_energ%C3%ADa_proveniente_del_sol

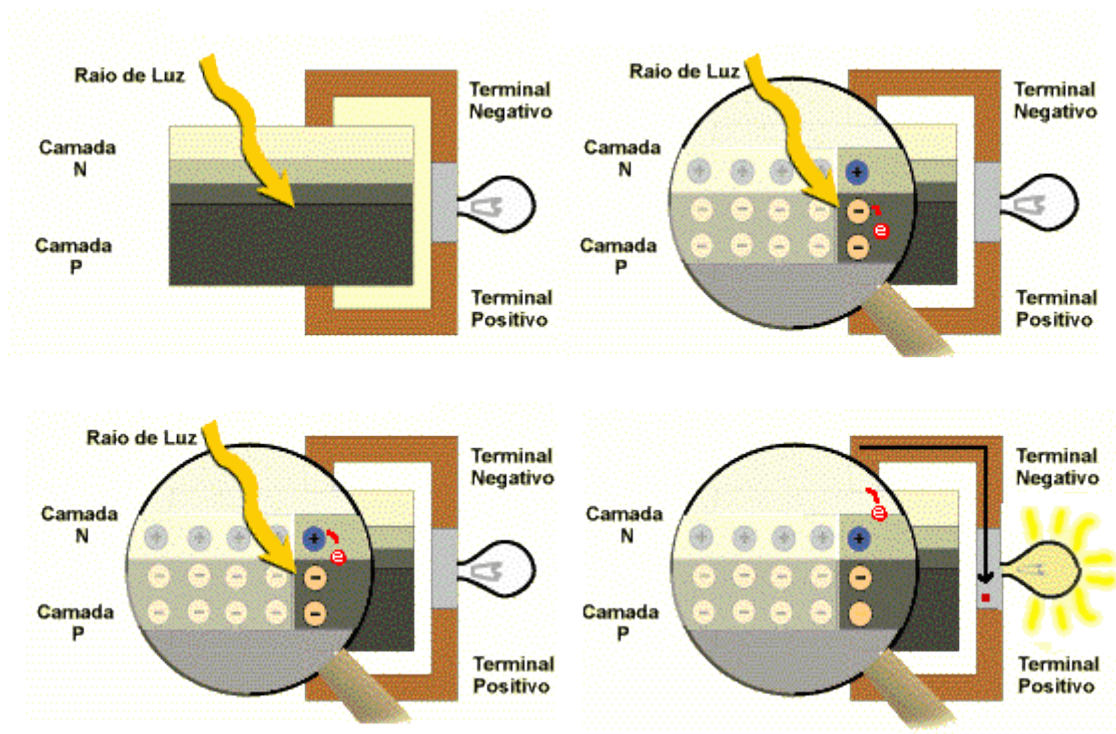


Figura 3 Proceso de transformación de energía solar en eléctrica

Las células FV convierten pues, la energía de la luz en energía eléctrica.

El rendimiento de conversión, esto es, la proporción de luz solar que la célula convierte en energía eléctrica, es fundamental en los dispositivos fotovoltaicos, ya que el aumento del rendimiento hace de la energía solar FV una energía más competitiva con otras fuentes (por ejemplo la energía de origen fósil).

Estas células, conectadas unas con otras, encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conforman un módulo fotovoltaico. Los módulos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 ó 24 V). La corriente producida depende del nivel de insolación. La estructura del módulo protege a las células del medioambiente y son muy durables y fiables. Aunque un módulo puede ser suficiente para muchas aplicaciones, dos o más módulos pueden ser conectados para formar un generador FV. Los generadores o módulos fotovoltaicos producen corriente continua (DC) y pueden ser conectados en serie y/o paralelo para producir cualquier combinación de corriente y tensión. Un módulo o generador FV por sí mismo no bombea agua o ilumina una casa durante la noche. Para ello es necesario un sistema

fotovoltaico completo que consiste en un generador FV junto a otros componentes, conjuntamente conocidos como "resto del sistema" o BOS (del inglés balance of system). Estos componentes varían y dependen del tipo de aplicación o servicio que se quiere proporcionar. Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar como autónomos o conectados a la red eléctrica, o según el tipo de aplicación como:

- ✓ Electrificación rural (lugares de difícil emplazamiento y acceso, viviendas de uso temporal, refugios de montaña).
- ✓ Electrificación urbana (alumbrado de vías urbanas y de edificios públicos como museos o colegios)
- ✓ Electrificación doméstica (todo uso eléctrico en viviendas unifamiliares, comunidades y cooperativas).
- ✓ Telecomunicaciones terrestres (telefonía terrestre y móvil, comunicación para navegación aérea y marítima, repetidores y reemisores de radio y televisión, radioteléfonos).
- ✓ Telecomunicaciones espaciales (los paneles solares de los satélites les dan una autonomía indefinida).

Estas células están elaboradas a base de silicio puro (uno de los elementos más abundantes, componente principal de la arena) con adición de impurezas de ciertos elementos químicos (boro y fósforo), y son capaces de generar cada una corriente de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa.

Las placas solares están formadas por módulos y éstos a su vez por células fotovoltaicas. Sus células están formadas por una o varias láminas de material semiconductor y recubiertas de un vidrio transparente que deja pasar la radiación solar y minimiza las pérdidas de calor.



Figura 4 Proceso de fabricación del panel solar

1.2 Principio de funcionamiento de la célula solar²:

Cuando conectamos una célula solar a una carga y la célula está iluminada, se produce una diferencia de potencial en extremos de la carga y circula una corriente por ella (efecto fotovoltaico).

La corriente entregada a una carga por una célula solar es el resultado neto de dos componentes internas de corriente que se oponen. Estas son:

Corriente de iluminación: debida a la generación de portadores que produce la iluminación.

$$I_{ph} = I_L$$

Corriente de oscuridad: debida a la recombinación de portadores que produce el voltaje externo necesario para poder entregar energía a la carga.

² http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_04.htm

$$I_D(V) = I_0 \left[\exp \frac{eV}{KT_c} - 1 \right]$$

Los fotones serán los que formaran, al romper el enlace, los pares electrón-hueco y, debido al campo eléctrico producido por la unión de materiales en la célula de tipo P y N, se separan antes de poder recombinarse formándose así la corriente eléctrica que circula por la célula y la carga aplicada.

Algunos fotones pueden no ser aprovechados para la creación de energía eléctrica por diferentes razones:

- Los fotones que tienen energía inferior al ancho de banda prohibida del semiconductor atraviesan el semiconductor sin ceder su energía para crear pares electrón-hueco.
- Aunque un fotón tenga una energía mayor o igual al ancho de banda prohibida puede no ser aprovechado ya que una célula no tiene la capacidad de absorberlos a todos.
 - Además, los fotones pueden ser reflejados en la superficie de la célula.

Curva característica i-v de iluminación real: La curva I-V de una célula fotovoltaica representa pares de valores de tensión e intensidad en los que puede encontrarse funcionando la célula. Los valores característicos son los siguientes:

tensión de circuito abierto (Voc): que es el máximo valor de tensión en extremos de la célula y se da cuando esta no está conectada a ninguna carga.

Corriente de cortocircuito (Isc): definido como el máximo valor de corriente que circula por una célula fotovoltaica y se da cuando la célula está en cortocircuito.

La siguiente ecuación representa todos los pares de valores (I/V) en que puede trabajar una célula fotovoltaica.

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \frac{e(V + IR_s)}{KT_c} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

También se puede expresar con:

$$I = I_{SC} \cdot \left(1 - e^{\frac{-e(V_{OC} - V)}{m \cdot K \cdot T}} \right)$$

punto de máxima potencia "pmp" (pm): Es el producto del valor de tensión máxima (VM) e intensidad máxima (IM) para los que la potencia entregada a una carga es máxima.

Factor de forma (FF): Se define como el cociente de potencia máxima que se puede entregar a una carga entre el producto de la tensión de circuito abierto y la intensidad de cortocircuito, es decir:

$$FF = \frac{I_M \cdot V_M}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

Eficiencia de conversión energética o rendimiento: Se define como el cociente entre la máxima potencia eléctrica que se puede entregar a la carga (PM) y la irradiancia incidente (PL) sobre la célula que es el producto de la irradiancia incidente G por el área de la célula S:

$$\eta = \frac{P_M}{P_L} = \frac{I_M \cdot V_M}{P_L}$$

Dichos parámetros se obtienen en unas **condiciones estándar** de medida de uso universal según la norma EN61215.

Irradiancia: 1000W/m² (1 KW/m²)

Distribución espectral de la radiación incidente: AM1.5 (masa de aire)

Incidencia normal.

Temperatura de la célula: 25°C

Otro parámetro es la *TONC o Temperatura de Operación Nominal de la Célula*. Dicho parámetro se define como la temperatura que alcanzan las células solares cuando se someten a las

siguientes condiciones de operación:

Irradiancia: 800W/m²

Distribución espectral de la radiación incidente: AM1.5 (masa de aire)

Incidencia normal

Temperatura ambiente: 20°C

Velocidad del viento: 1m/s

influencia de la temperatura en los parámetros básicos de una célula fotovoltaica: Al aumentar la temperatura de la célula empeora el funcionamiento de la misma:

- Aumenta ligeramente la Intensidad de cortocircuito.
- Disminuye la tensión de circuito abierto, aprox: -2.3 mV/°C
- El Factor de Forma disminuye.
- El rendimiento decrece.

1.3 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].

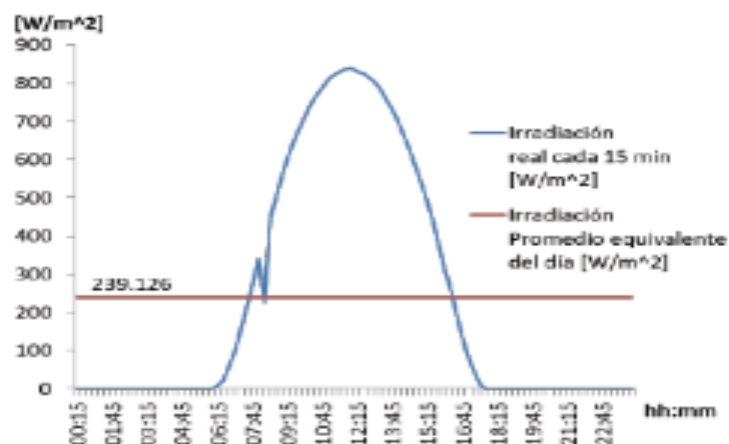


Figura 5. Comparación de la Irradiancia Solar real tomada cada 15 minutos y la Irradiancia Solar promedio equivalente al mismo día de medición.

Para facilitar su comprensión se hace referencia a la energía promedio en un período de tiempo (Eje.: un día) la cual resulta de la sumatoria o el área bajo la curva de la potencia en cada hora del mismo período de tiempo, representándose con las unidades [kWh/m²/día].

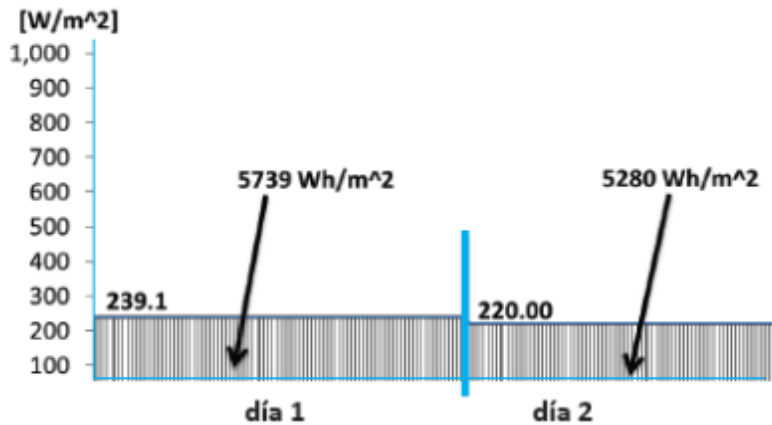


Figura 6. Comparación del área bajo la curva de la Irradiancia Solar de dos días consecutivos.

En este ejemplo, el promedio de dos días de Irradiancia solar es 5,509.5 Wh/m²/día. Generalmente estos promedios se calculan para los días que dure un mes, por lo que en un año tendremos 12 promedios diarios mensuales. En El Salvador los valores promedios mensuales se pueden obtener de diferentes fuentes³⁴⁵:

Tabla 1. Irradiancia Solar diaria para todos los meses del año.

Meses	SWERA	CEL(2012)	NASA
	S-5 (13.7 N, -89.2 O)	Medicion	Promedio
	Observatorio	en techo	1983 - 2005
	kWh/m ² /día	kWh/m ² /día	kWh/m ² /día
enero	4.9	4.6	5.8
febrero	5.4	4.7	6.4
marzo	5.7	5.1	6.7
abril	5.4	4.3	6.6
mayo	4.9	3.5	5.9
junio	5.1	3.4	5.7
julio	5.5	4.6	6.2
agosto	5.2	4.2	6.2
septiembre	4.6	4.5	5.4
octubre	4.8	4.2	5.4
noviembre	4.8	5.3	5.6
diciembre	4.8	4.9	5.6
Promedio anual	5.1	4.4	6.0

³ Estudio SWERA. Datos de los años 1984-1986, 1996- 1998

⁴ Base de datos consultada en enero de 2013, corresponde a las mediciones de 2012. www.cel.gob.sv

⁵ Página visitada el 15 de noviembre de 2012: <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?>

Aunque la tabla muestra únicamente las mediciones para una coordenada específica es posible obtener mapas indicativos mediante métodos matemáticos que representen todos los puntos dentro de un área específica. Debido a que no en todos los puntos geográficos los valores de Irradiancia son iguales, los mapas se elaboran a fin de tener una aproximación del valor que se obtendría a partir de una medición en sitio.

Medición en sitio

Se obtienen los datos de Irradiancia global y difusa, útiles para el posterior cálculo de generación de electricidad del panel FV. La medida está sujeta a errores por efecto coseno, efecto de la inclinación y errores en la toma y el filtrado de datos.

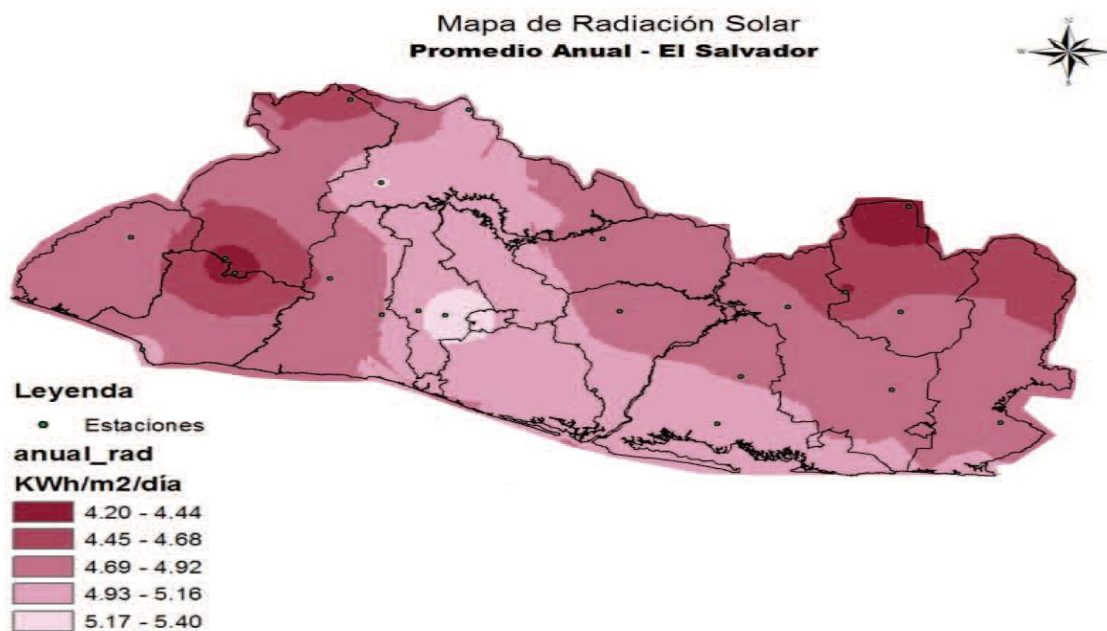


Figura 7. Mapa de Irradiancia Solar. Promedio anual en diferentes puntos de medición en El Salvador⁶.

⁶ Proyecto SWERA, EL SALVADOR

2. Sistemas Fotovoltaicos.

2.1 Tipo de montaje de los sistemas FV.

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:

		
<i>Montaje en Suelo</i>	<i>Montaje en Fachada</i>	<i>Montaje en Techo</i>

2.2 Elementos del panel solar fotovoltaico.

Existe una variedad de tecnología desarrollada a la actualidad la cual ha sido concebida a fin de poder hacer uso del efecto fotoeléctrico⁷, el cual consiste en la emisión de electrones por un metal cuando se hace incidir sobre él una radiación electromagnética.

2.2.1 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.

⁷ 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 8. 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.

Tabla 2. Eficiencias de módulos comercialmente disponibles

Tecnología	Eficiencia
Silicio Monocristalino ⁸	14%
Silicio Multicristalino	14%
CdTe ⁹	11%
Silicio amorfo ⁷	6%
CIGS ⁸	11%

Fuente: NREL. 2010 Solar Technologies Market Report.⁸⁹¹⁰¹¹

⁸ Otras tecnologías no estándar están disponibles comercialmente tales como las monocristalinas de SunPower rear-point-contact (19,3% de eficiencia) y el módulo de Sanyo HIT (17,1% de eficiencia).

⁹ First Solar 2010.

¹⁰ Uni-Solar 2010. Módulo de laminado flexible a-Si.

¹¹ Mehta and Bradford 2009.

2.2.2 Inversores

El inversor es el elemento que interconecta la producción de electricidad de los paneles solares con el sistema eléctrico (red de distribución o en isla con la red), ya que los paneles producen corriente directa, el inversor transforma la corriente en alterna, la cual es la forma de la corriente que convencionalmente se utiliza en los aparatos de uso final. Además, el inversor debe regular la corriente y el voltaje para que el sistema trabaje en el punto de máxima potencia.

2.3 Precio total del sistema.

Los costos de los sistemas fotovoltaicos se han reducido consistentemente durante las últimas tres décadas, mostrando una tasa de disminución del 19,3%. Se espera que esta tendencia continúe, dadas las posibilidades de mejorar el rendimiento y los costos, así como en los procesos de fabricación.

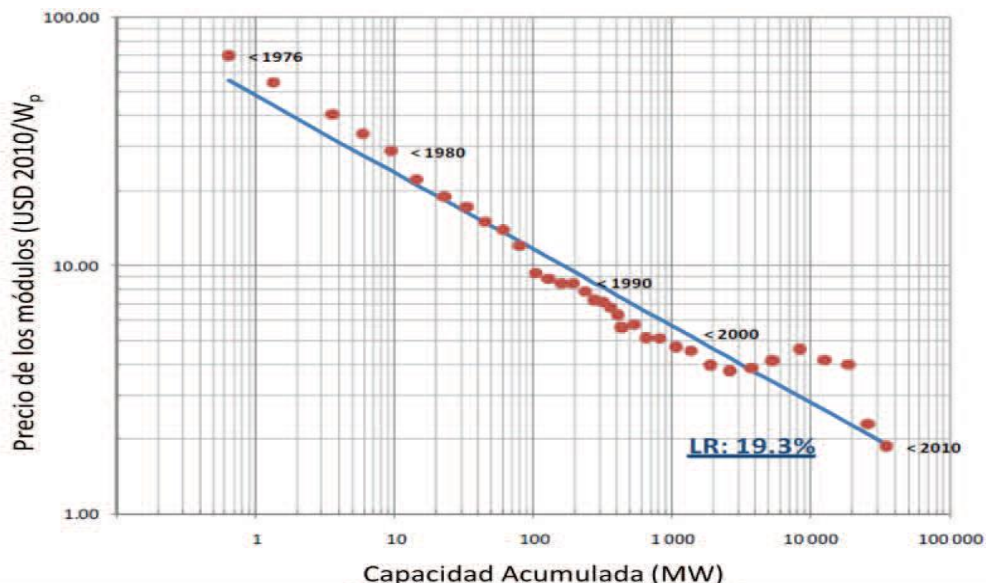


Figura 9. Caída de costos para los módulos FV (1976-2010). ¹²

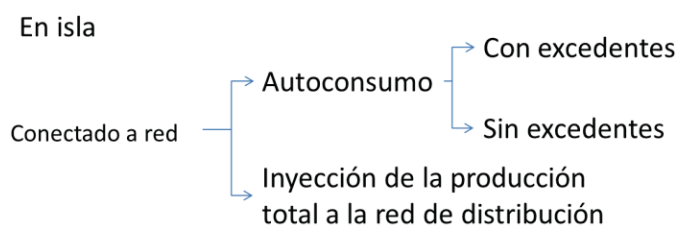
De acuerdo con el reporte del IEC (International Electrotechnical Commission), los precios del mercado spot actuales para los módulos FV, están entre US\$ 1.80/Wp y US\$ 2.27/Wp para los módulos cristalinos y entre US\$ 1.37/Wp y US\$ 1.65/Wp para los módulos de capa delgada. Los

¹² **Fuente:** Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) *Renewable energy. Markets and prospects by technology*.

precios sin embargo, varían significativamente entre los mercados. Los costos totales de un sistema en el mes de junio de 2011 están en un rango comprendido entre US\$ 3,300/kWp y US\$ 5,800/kWp para sistemas de montaje en techo. Nótese que estos costos se están reduciendo rápidamente.

2.4 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:



2.4.1 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.

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.

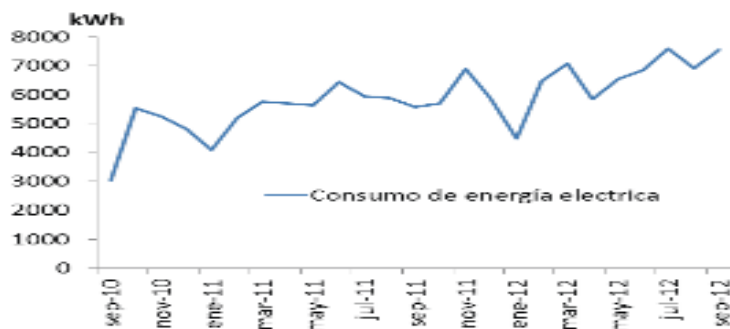


Figura 10. Consumo histórico de energía eléctrica de un edificio tipo a partir de sus facturas de consumo de electricidad.

2.4.2 Inyección a la red

Los generadores FV se pueden interconectar a la red de distribución en los siguientes casos¹³:

Caso I: Generador conectado a una subestación de distribución en 13.2 kV ó 23 kV.

Este caso corresponde a proyectos de generación aproximadamente menores a 20 MW que se conectan a la subestación de distribución más cercana en niveles de tensión de 23 kV ó 13.2 kV, esto debido a que por razones económicas, el generador puede optar por conectarse a las redes de distribución en vez de conectarse a la transmisión.

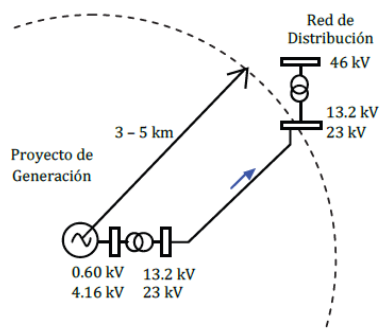


Figura 11. Diagrama de interconexión de red distribuida a 13.2 KV/23KV

¹³ Ley general de electricidad de El Salvador

Caso II: Generador conectado a las redes de distribución primarias o secundarias.

Este caso corresponde a proyectos de generación distribuida, es decir, generadores conectados a las redes de distribución en los alimentadores de las redes primarias y secundarias.

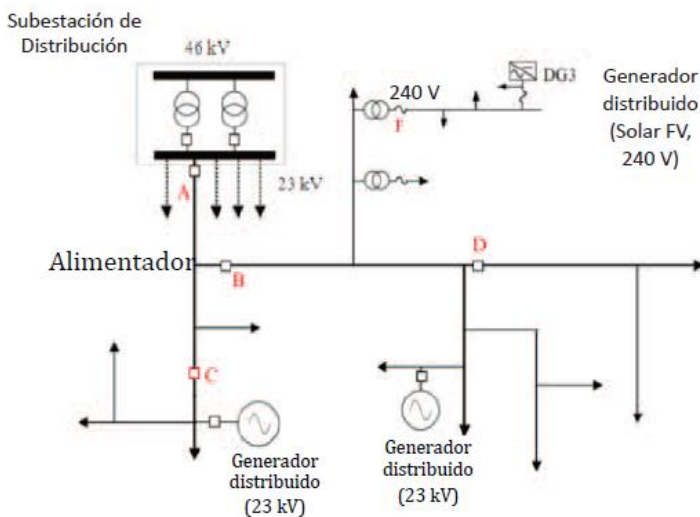


Figura 12. Diagrama de interconexión de red distribución primarias o secundarias

Para garantizar una correcta operación de los generadores conectados a la red y optimizar la conexión con la red de distribución es recomendable:

- Elaborar los estudios de interconexión eléctrica teniendo en cuenta la nueva instalación eléctrica necesaria para el funcionamiento del sistema FV.
- Estimar la capacidad máxima de inyección en un punto de red de distribución, que será determinada por el estudio que se realizará en conjunto con la empresa distribuidora propietaria de la red, para que se garantice la estabilidad y confiabilidad de la red misma.
- Determinar la disminución o aumento de las pérdidas de potencia en los tramos de la red de distribución en donde se interconecta el proyecto de energía renovable, comparando con el escenario de referencia (sin proyecto).

Este debe ser un procedimiento práctico para calcular las pérdidas de potencia utilizando la información básica de los alimentadores de distribución y el proyecto de energía renovable.

En caso de aumento de las pérdidas de potencia (i^2R), podría ser necesario refuerzos en el alimentador para disminuir estas, manteniendo las condiciones operativas (control de voltaje y calidad de energía).

d. Evitar el problema de operación en isla no intencional provocado por una falla en la red de distribución.

DISEÑO METODOLOGICO DEL ESTUDIO

La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación se divide en dos etapas:

- 1) Estudio preliminar
- 2) Trabajo de campo

Estudio preliminar

Se basa en un sistema de recogida de datos, con base en el análisis de la documentación de referencia. Esta será sobre el recurso solar, energía fotovoltaica y sus aplicaciones.

- Normativa reguladora.
- Planos e información relevante del lugar del proyecto

1. Marco regulatorio aplicable al proyecto

Adicionalmente a la evaluación del potencial de un recurso y a las restricciones propias de la técnica de un proyecto, es necesario tomar en cuenta las particularidades que el marco regulatorio podría tener a fin de darle viabilidad económica e incentivar la instalación de proyectos que hagan uso de las energías renovable.

1.1 Mercado eléctrico en El Salvador.

La Ley General de Electricidad (LGE) y su Reglamento son los primeros documentos relacionados con cualquier proyecto de generación de electricidad que se deben conocer, debido a que existen restricciones para el acceso a los mecanismos vigentes de comercialización de la energía eléctrica. La LGE regula las actividades privadas o públicas relacionadas a la generación, transmisión distribución y comercialización de la energía eléctrica en El Salvador.

1.1.1 Mercado Mayorista¹⁴

Es en el Reglamento de Operación del Sistema de Transmisión y del Mercado Mayorista Basado en Costos de Producción en donde a la fecha se encuentra la primera restricción en los artículos 3.2.3 y en el 20.1.2, en los cuales se menciona que para participar en el Mercado Mayorista un Participante del Mercado generador conectado a la red de distribución debe ser capaz de inyectar una potencia mínima de 5 MW por nodo.

Un proyecto de las características que trata este documento no podría participar en el Mercado Mayorista por ser proyectos menores a 5 MW.

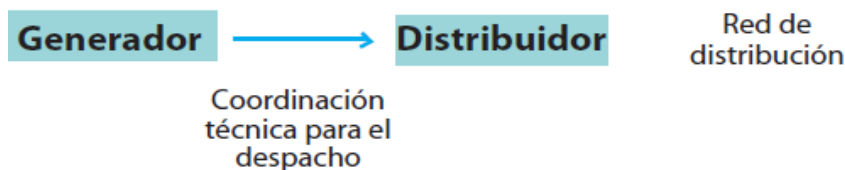
De los Contratos de Largo Plazo para Generación Distribuida Renovable (GDR)

Actualmente, las modificaciones del marco regulatorio realizadas en el 2012 permiten la ejecución de licitaciones especiales donde proyectos de energía renovables pueden participar en contratos basados en energía ofertada.

En las reformas hechas al Reglamento de la LGE que se encuentran en el Decreto Ejecutivo No. 80 de fecha 17 de abril de 2012, publicado en el Diario Oficial No. 76, Tomo 395 de fecha 26 de abril de 2012, se menciona lo siguiente:

En el caso de licitaciones destinadas exclusivamente a fuentes renovables de energía eléctrica, los procedimientos de contratación deberán contemplar expresamente un mecanismo simplificado destinado a generación con base en energía renovable conectada en red del distribuidor, de hasta un máximo de 20 MW de capacidad instalada, y que no se encuentre en condiciones de aportar capacidad firme ni de participar directamente del Mercado Mayorista de Electricidad.

Esos contratos serán administrados directamente por el distribuidor y el generador fuera del Mercado Mayorista, y despachados de acuerdo a un procedimiento especial de auto-despacho.



¹⁴ Reglamento de Operación del Sistema de Transmisión y del Mercado Mayorista Basado en Costos de Producción

Además, se reservará un bloque de demanda de energía y potencia asociada, determinado para ser adjudicado luego de concluida la licitación del distribuidor, a usuarios autoprodutores de fuente renovable en red de distribución que tengan excedentes de energía respecto a su propia demanda y podrán acceder a iguales condiciones de precios a las surgidas de dicha licitación, de acuerdo a la metodología que defina la SIGET.

- Celebrar contratos con las distribuidoras destinados a fuentes renovables de energía eléctrica.
- Sin compromiso de capacidad firme y con generación conectada a la red de una distribuidora.
- Despachados de acuerdo a un procedimiento especial de auto-despacho.
- Los contratos serán adjudicados a través de procesos de libre concurrencia ---- > trasladables a tarifa.

1.1.2 Mercado Minorista¹⁵



Según lo definido en el Reglamento de la LGE, en el contrato no se considerará un cargo por capacidad, por lo que el suministro a contratar por el distribuidor se basará en una potencia comprometida a instalar o instalada y una energía ofertada anual por cada proyecto, donde el participante considerará todos sus costos de inversión, operación y rentabilidad.

Para estas licitaciones, **la SIGET podrá establecer mediante acuerdo uno o varios precios base techo por tecnología o tecnologías específicas** a las que el proceso licitatorio se oriente.

1.1.3 Incentivos fiscales.¹⁶

La Ley de incentivos fiscales para el fomento de las energías renovables en la generación de electricidad según el Decreto Legislativo No. 462 del 8 de noviembre de 2007, publicada en el Diario Oficial No. 238, tomo No. 377, del 20 de diciembre de 2007, su Reglamento y la Normativa

¹⁵ Ley general de electricidad de El Salvador

¹⁶ Ley de incentivos fiscales para el fomento de las energías renovables en la generación de electricidad

correspondiente que SIGET¹⁷ desarrolla regulan, según la escala del proyecto, todos los beneficios fiscales que se otorgarán únicamente a las actividades correspondientes a los proyectos de instalación de centrales para la generación de energía eléctrica que para el caso de estudio de este documento se pueden tener los siguientes beneficios:

- **Durante los diez primeros años gozarán de exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de** maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre inversión y de inversión en la construcción de las obras de las centrales para la generación de energía eléctrica, incluyendo la construcción de la línea de subtransmisión necesaria para transportar la energía desde la central de generación hasta las redes de transmisión y/o distribución eléctrica.

- **Exención del pago del Impuesto sobre la Renta por un período de diez años** en el caso de los proyectos de menos de 10 megavatios MW. (Art. 3, literal b).

1.1.4 Interconexión con las distribuidoras¹⁸

Según el artículo 27 de la LGE manda a los transmisores y distribuidores a permitir la interconexión de sus instalaciones y la utilización de las mismas para el transporte de energía eléctrica, excepto cuando esto represente un peligro para la operación o seguridad del sistema, de instalaciones o de personas.

Para cumplir esto, el regulador del sector (SIGET) elaboró la “Norma Técnica de Interconexión Eléctrica y Acceso de Usuarios Finales a la Red de Transmisión” (Acuerdo SIGET 30-E-2011, Enero 2011), en donde se determinan los procedimientos, requisitos y responsabilidades aplicables a las interconexiones eléctricas entre operadores con el fin de garantizar el principio de libre acceso a las instalaciones de transmisión y distribución, así como la calidad y seguridad del sistema. Además se emitió la Declaración de aplicación general, como estándar técnico para las

¹⁷ “Normativa técnica para caracterizar los proyectos que más aprovechan las fuentes renovables en la generación de energía eléctrica”

¹⁸ Ley general de electricidad de El salvador

instalaciones eléctricas de los usuarios finales, la regulación establecida en el “Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas y en el Código Eléctrico Nacional (NEC)”.

La reglamentación del sector eléctrico es solamente una de todas las que como desarrollador se deben cumplir en adición a la reglamentación correspondiente a las obras de construcción. La escala del proyecto, la ubicación geográfica y el recurso a utilizar determinan costos y trámites adicionales para poder dar inicio la construcción.

1.2 Reglamentación respecto al Medio Ambiente¹⁹

La Ley de Medio Ambiente, su Reglamento y la normativa que el mismo Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) elabora, son los instrumentos legales que se deben de tomar en cuenta a fin de cumplir con la reglamentación legal respecto al Medio Ambiente.

Costos adicionales para un proyecto fotovoltaico conectado a la red de hasta 100 kW por obras de mitigación se descartan principalmente por las características del proyecto, el cual se encuentra dentro del Grupo A: Actividades, obras o proyectos con bajo potencial de impacto ambiental.

Estas obras no requieren presentar documentación ambiental según el documento de “Categorización de actividades, obras o proyectos conforme a la Ley del Medio Ambiente”, el cual se complementó a mediados del 2012 a fin de incluir la energía solar, recurso hídrico y el recurso geotérmico, vigente según el Acuerdo No. 33 de fecha 8 de mayo de 2012, publicado en el Diario Oficial No. 105, Tomo 395 de fecha 8 de junio de 2012.



Figura 13. Categorización de proyectos según el potencial impacto ambiental.

¹⁹ “Categorización de actividades, obras o proyectos conforme a la Ley del Medio Ambiente”, MARN

2. Comercialización de la energía inyectada a la red.

Contratos de Largo Plazo, se pueden elaborar escenarios de análisis de una licitación especial para contratar el suministro de energía a partir de proyectos fotovoltaicos conectados a la red de distribución.

Existe una gran variedad de software comercial para realizar la evaluación económica de los proyectos utilizando modelos útiles a fin de simplificar los cálculos y simular escenarios con más rapidez.

3. Tramitología y procedimientos

Al tener finalizado el análisis técnico-económico, se puede dar inicio a la tramitología que se requiere a fin de poder iniciar las obras de construcción. Cabe aclarar que de tener firmeza en la inversión a realizar podría dar inicio paralelamente los procedimientos y procesos con las instituciones involucradas en el ciclo del proyecto previo a la construcción.

A partir de lo mencionado en el apartado 3. Marco regulatorio aplicable al proyecto, será necesario realizar los procedimientos. (Ver anexo A1)

4. Área de influencia del Proyecto

El municipio de San Buenaventura en el departamento de Usulután, limita al Norte con el Municipio de El Triunfo, al Noreste y Este por el municipio de Lolotique y al sur este por el municipio de Nueva Guadalupe; al sur y suroeste, por el Municipio de Jucuapa, al oeste y noroeste por el municipio de El Triunfo. Se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas siguientes: 13°32'32" LN extremo septentrional, extremo meridional, 88°23'02" LWG y con un altitud de 390 MSN. La distancia del centro urbano del municipio a la cabecera departamental de San Miguel al norte es de 35 Km. La extensión total del municipio es de 27.92 Km². El núcleo urbano se establece en una reducida planicie entre dos ríos, El Río San Buenaventura y Río San Luís. El elemento físico natural más cercano está La Loma El Cocal al poniente del centro Urbano y La Loma El Ámate en las que sobresalen como accidentes orográficos.

Trabajo de campo

En esta etapa, la metodología se centra básicamente en la realización de visitas de campo, reconocimiento de la infraestructura, mapeo de la zona, entrevistas con actores clave, mediciones puntuales del recurso solar.

En la figura 14, se muestra la ubicación del proyecto y la distancia que existe entre las estaciones de medición del recurso solar de lageo, y estas son estación solar 15 de septiembre y estación solar TR-11 Berlín, estas se encuentran a una distancia de entre 19 y 15 kilómetros. La estación 15 de septiembre se encuentra a una altura de los 400 metros similar al lugar seleccionado para realizar el diseño de la planta de generación fotovoltaica.

1. Ubicación del proyecto

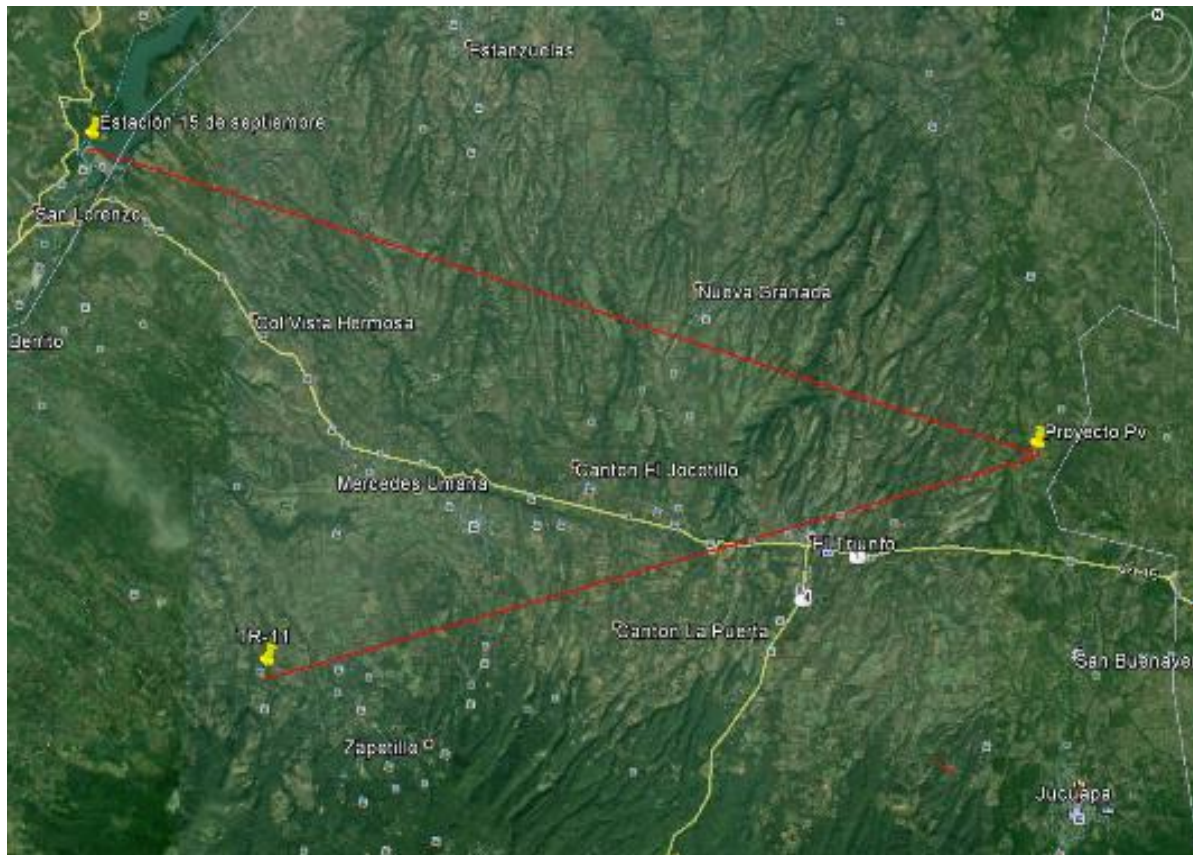


Figura 14. Vista aérea de ubicación del proyecto y estaciones de medición solar (15 de septiembre y TR-11)

Desde la carretera panamericana hasta el lugar de estudio hay una distancia de 2 kilómetros, se muestra cómo se puede apreciar la figura siguiente:

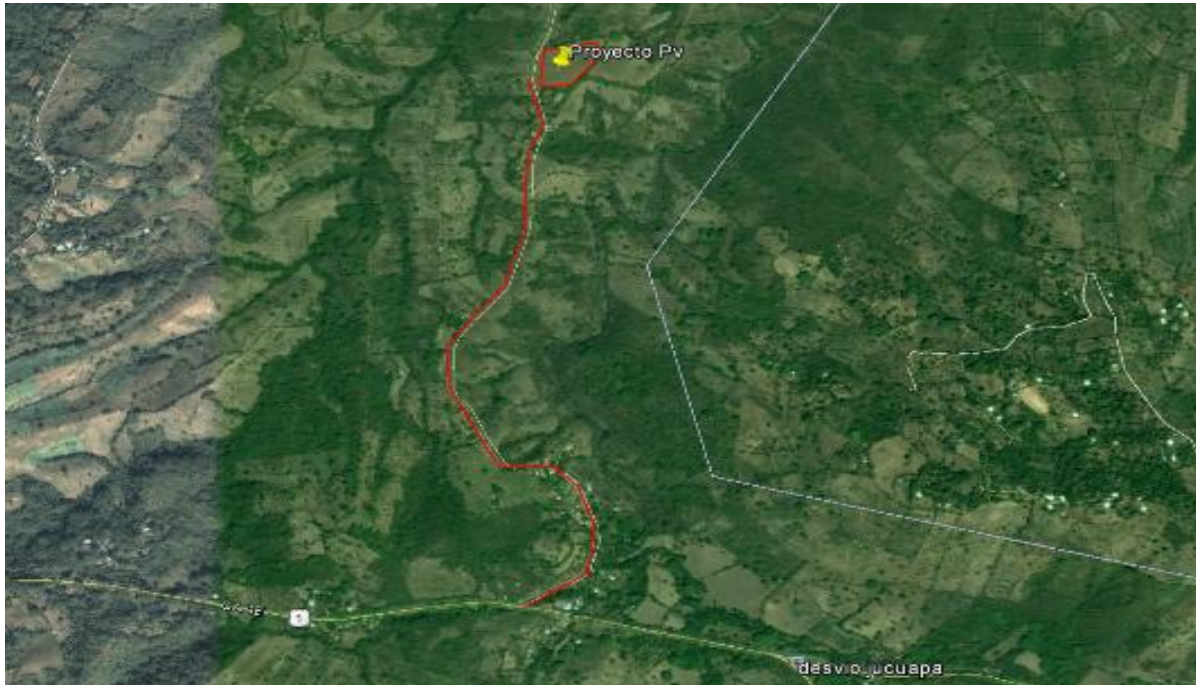


Figura 15. Vista aérea de ruta de acceso hacia el proyecto desde carretera Panamericana

El área en total del proyecto es de 300 manzanas de terreno de los cuales se han seleccionado un terreno de 70,000 m² equivalente a 10 manzanas. Como se observa en la figura 16.



Figura 16. Vista aérea del terreno seleccionado para el proyecto fotovoltaico, área aproximada de 70000 m2.

Entre las ventajas de la ubicación del proyecto se presentan las siguientes:

- ✓ Fácil acceso
- ✓ Calle pavimentada y tramos de tierra
- ✓ El terreno está ubicado a orillas de la carretera
- ✓ Terreno plano, a semi plano en algunos tramos
- ✓ Vegetación: pasto, arbustos y algunos árboles frutales
- ✓ Acceso a línea de conexión de alta tensión a una distancia entre 400 y 500 metros.
- ✓ Acceso a línea de conexión de red distribuida entre 25 y 50 metros
- ✓ Facilidad de ampliación de los proyectos por tener una extensión de terreno de 300 manzanas.

En las figuras 17, 18 y 19, se muestran las ventajas del lugar seleccionado para la instalación de un campo solar fotovoltaico con conexión a la red



Figura 17. Imágenes de ruta de acceso al proyecto: 1) vista desde carretera panamericana 2) vías de acceso hacia el proyecto 3) Entrada al terreno seleccionado para el diseño de proyecto Fotovoltaico



Figura 18. Imágenes del terreno con su respectiva vegetación



Figura 19. Imágenes con líneas de transmisión eléctrica de alta tensión y líneas de distribución, cercanas al proyecto

2. Datos de Irradiancia para la zona en estudio

Para la obtención de los datos de Irradiancia del proyecto, no se realizó las mediciones del recurso solar, pero se recabó información del recurso solar de la zona de interés de las diferentes instituciones nacionales como internacionales. Entre las principales instituciones que colaboran con el proyecto están las que se muestran en la tabla #3.

Tabla 3. Datos de Irradiancia para el proyecto

	días/mes	NASA-SB ²⁰	MARN ²¹	SWERA ²²	LAGEO-BERLIN	LAGEO-LEMPA ²³	promedio
Enero	31	5.6	5.1	4.9	5.3	5.5	5.3
Febrero	28	6.2	5.4	5.4	5.3	5.5	5.5
Marzo	31	6.5	5.4	5.7	5.4	6.1	5.8
Abril	30	6.4	5.4	5.4	5.4	6.1	5.7
Mayo	31	5.8	5.4	4.9	5.4	6.1	5.5
Junio	30	5.8	5.4	5.1	5.4	6.1	5.5
Julio	31	6.3	5.4	5.5	5.4	6.1	5.7
Agosto	31	6.2	5.4	5.2	5.4	6.1	5.6
septiembre	30	5.3	5.1	4.6	5.3	5.5	5.2
Octubre	31	5.3	5.1	4.8	5.3	5.5	5.2
noviembre	30	5.5	5.1	4.8	5.3	5.5	5.2
diciembre	31	5.4	5.1	4.8	5.3	5.5	5.2

Se realiza un promedio de la Irradiancia global tomando como base todas las estaciones de medición del recurso solar y algunos mapas de Irradiancia solar d instituciones gubernamentales. Estos valores se utilizan como base para realizar el dimensionamiento de la planta de generación eléctrica.

²⁰ <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/> para el área del proyectos

²¹ Mapa de radiación solar, Ministerio de medio ambiente y recursos naturales

²² Mapa de radiación solar, proyecto swera

²³ Lageo, datos correspondientes a las dos zonas en estudio.

RESULTADOS Y DISCUSION

Esta etapa consiste en el análisis de la información obtenida en el proceso de trabajo de campo, elaboración del diseño y se realizan sus respectivas evaluaciones. Además, incluye la elaboración del documento final a presentar.

1. Diagrama general de la instalación fotovoltaica conectada a la red

Una instalación fotovoltaica es comparable a una pequeña central de producción eléctrica respetuosa con el medio ambiente, y no contaminante, que inyecta la corriente producida a la red eléctrica.



Figura 20. Esquema gráfico de los pasos de la conversión eléctrica

Una instalación solar fotovoltaica conectada a la red tiene los siguientes componentes:

- Generador fotovoltaico
- Estructura de soporte del campo fotovoltaico
- Convertidor (inversor u ondulator)
- Contador de energía y protecciones de interconexión
- Centro de transformación

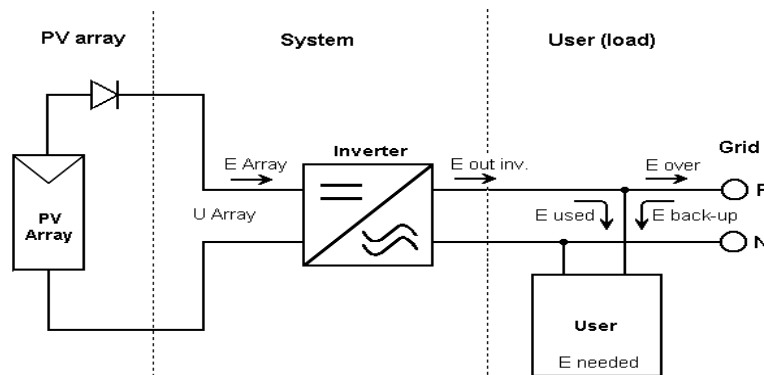


Figura 21. Esquema simplificado del sistema fotovoltaico

2. SIMULACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA

Para la predicción de la producción y tener en cuenta los apartados anteriores, radiación incidente y diferentes tipos de pérdidas, se utiliza el software de simulación PVSYST, de la Universidad de Ginebra creado en el 1993, que es un programa de referencia dentro del diseño de todo tipo de instalaciones fotovoltaicas (conectadas a red, autónomas, bombeo, etc.).

2.1 Parámetros principales del sistema

Las características principales de los datos del sistema a introducir en el programa para realizar la simulación se pueden ver a continuación:

Tipo de sistema Conectado a la red

Sombreados cercanos Sombreado lineal

Orientación Campos FV

Inclinación 15° y acimut 0°

Módulos FV Modelo , Pnom 180 Wp

Generador FV N° de módulos 6.048

Pnom total 1.089 kWp

Inversor Modelo

Pnom 250 kW ac

Banco de inversores, N° de unidades 4.0

Pnom total 1.000 kW ac

Necesidades de los usuarios Carga ilimitada (red) **(Ver Anexo B1)**

PVSYST ofrece 2 modelos físicos para la transformación de la irradiación horizontal a la obtenida por un módulo orientado: El modelo de *Hay* y el modelo de *Pérez*.

Normalmente con el modelo de *Pérez* se obtienen valores superiores al de *Hay*. Desde ambos modelos se procede a establecer una media aritmética de ambos resultados. Para los cálculos se ha utilizado una reflexión del suelo (albedo) del 20% que es la predefinida y coincide con el tipo de terreno de la instalación.

En el caso que nos aplica la orientación e inclinación de todos los módulos será igual tal como se representa en la figura 22.

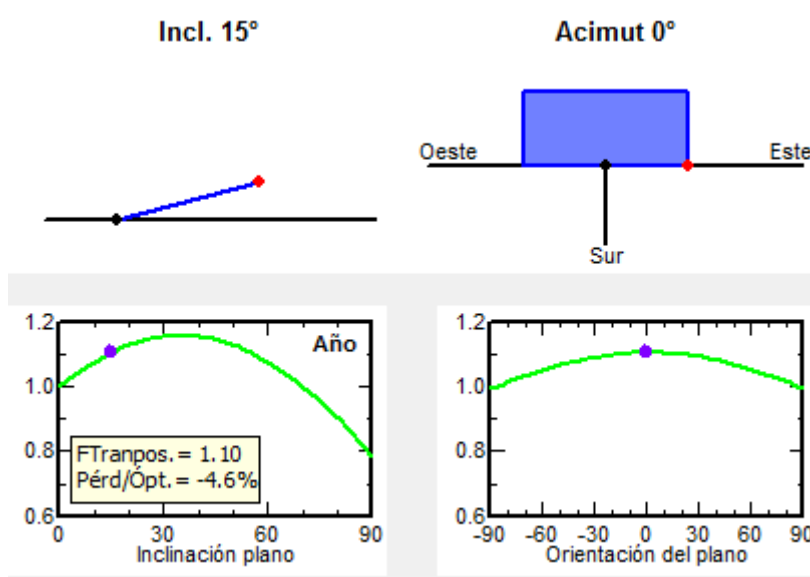


Figura 22. Orientación e inclinación del módulo respecto a la posición ideal

Para calcular las pérdidas por sombreado se crea una matriz de filas de módulos, figura 23, con una superficie de captación equivalente a todos los módulos fotovoltaicos instalados. Aunque la representación no es idéntica a la implementación de la instalación el objetivo de la simulación es simplemente obtener un coeficiente porcentual que disminuirá el rendimiento de la instalación debido a la sombra proyectada por una fila respecto a su posterior. Mientras el porcentaje sea inferior al 4% , el espacio entre filas se considerará adecuado y se puede asumir esta pérdida.

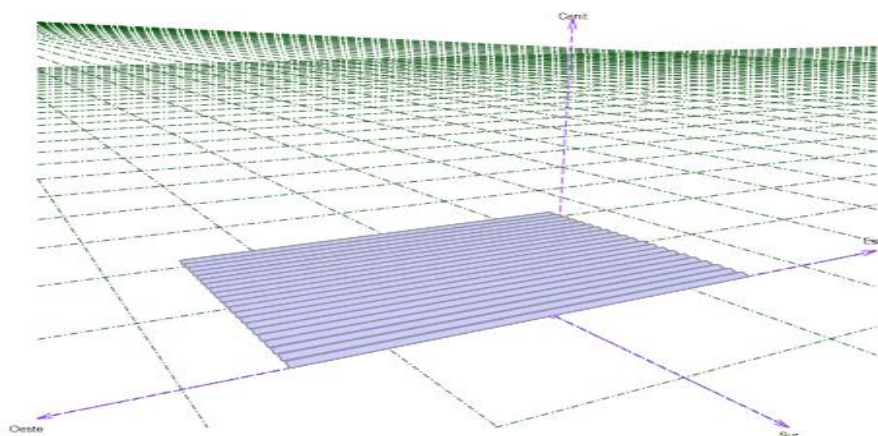


Figura 23. Representación equivalente plano receptor

2.2 Resultados simulación

Las figuras 24, 25, 26 y la tabla 4 y siguientes muestran el resultado de los cálculos para el caso de la instalación proyectada.

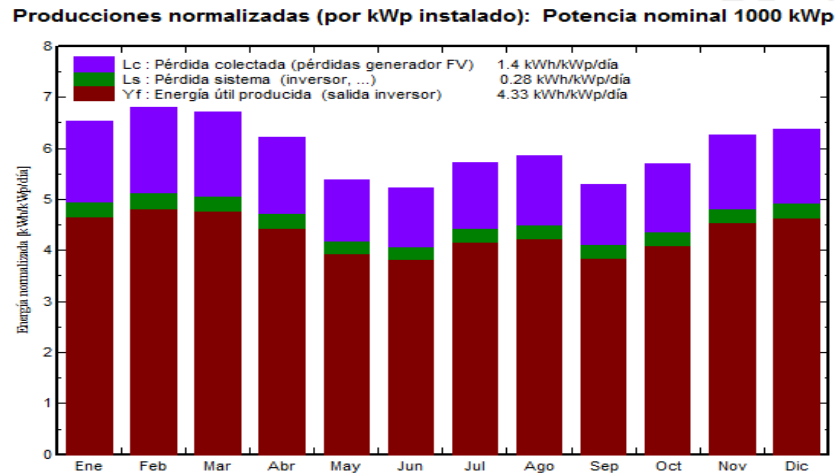


Figura 24. Producción normalizada (por kWp instalado)

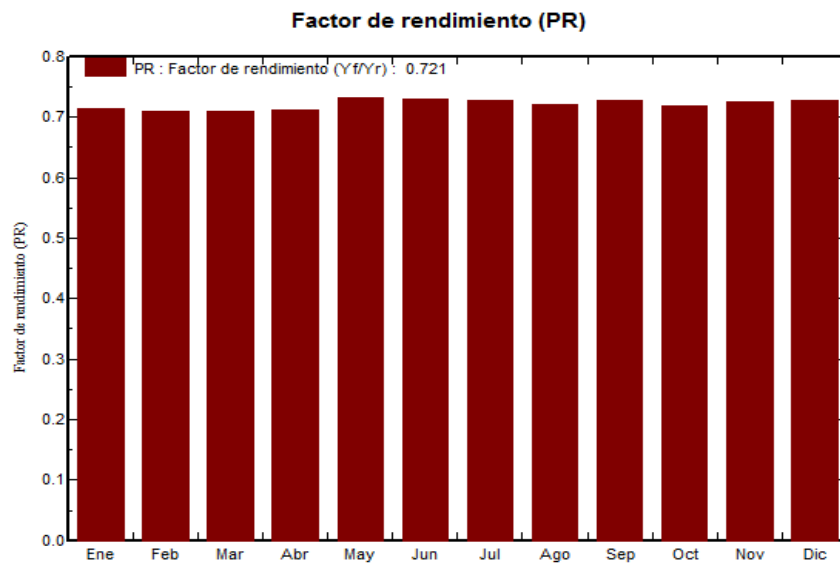


figura 25. Factor de rendimiento (PR)

El *Performance Ratio (PR)* o rendimiento energético, figura 25, es la relación entre la energía real del sistema inyectada a red y el valor teórico de producción que se obtiene al multiplicar la potencia pico del sistema por la irradiación en el plano horizontal. Si los módulos fotovoltaicos trabajaran a su rendimiento nominal durante todo el año y su energía generada fuera inyectada

a red, sin ningún tipo de pérdida se obtendría un PR del 100%. Como sería un caso ideal en condiciones reales se suelen obtener unos valores de PR entre el 70 y 85% como valores típicos, por lo que podemos dar por bueno el diseño de la instalación gracias a los valores obtenidos con la simulación. En la tabla 4 se pueden ver todos los valores por mes, desde la irradiación global horizontal hasta la energía neta inyectada a red.

Tabla 4. Balances y resultados principales de la simulación.

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
Enero	174.8	24.86	202.8	197.6	153.7	144.6	10.90	10.26
Febrero	172.5	25.70	190.7	185.9	143.6	135.2	10.83	10.20
Marzo	201.5	26.27	208.2	202.5	157.0	147.7	10.85	10.21
Abril	192.0	26.87	186.8	181.1	141.6	133.0	10.91	10.25
Mayo	179.2	26.09	166.6	160.9	130.2	122.0	11.25	10.54
Junio	172.5	25.39	156.7	150.9	122.6	114.6	11.26	10.52
Julio	194.4	25.65	177.3	171.1	137.5	128.9	11.16	10.46
Agosto	191.3	25.60	181.8	176.0	139.9	131.2	11.07	10.38
Septiembre	158.7	24.98	159.1	154.1	124.0	115.8	11.21	10.47
Octubre	165.5	24.75	176.3	171.5	135.4	126.9	11.05	10.36
Noviembre	164.1	24.79	187.6	182.7	144.5	136.3	11.09	10.45
Diciembre	167.1	24.79	197.8	192.7	152.7	144.1	11.10	10.48
Año	2133.6	25.48	2191.7	2126.9	1682.6	1580.2	11.05	10.37

Leyendas:

GlobHor: Irradiación global horizontal

T Amb: Temperatura Ambiente

GlobInc: Global incidente en plano receptor

GlobEff: Global efectivo, corr. para IAM y sombreados

EArray: Energía efectiva en la salida del generador

E_Grid: Energía reinyectada en la red

EffArrR: Efic. Esal campo/superficie bruta

EffSysR: Efic. Esal sistema/superficie bruta

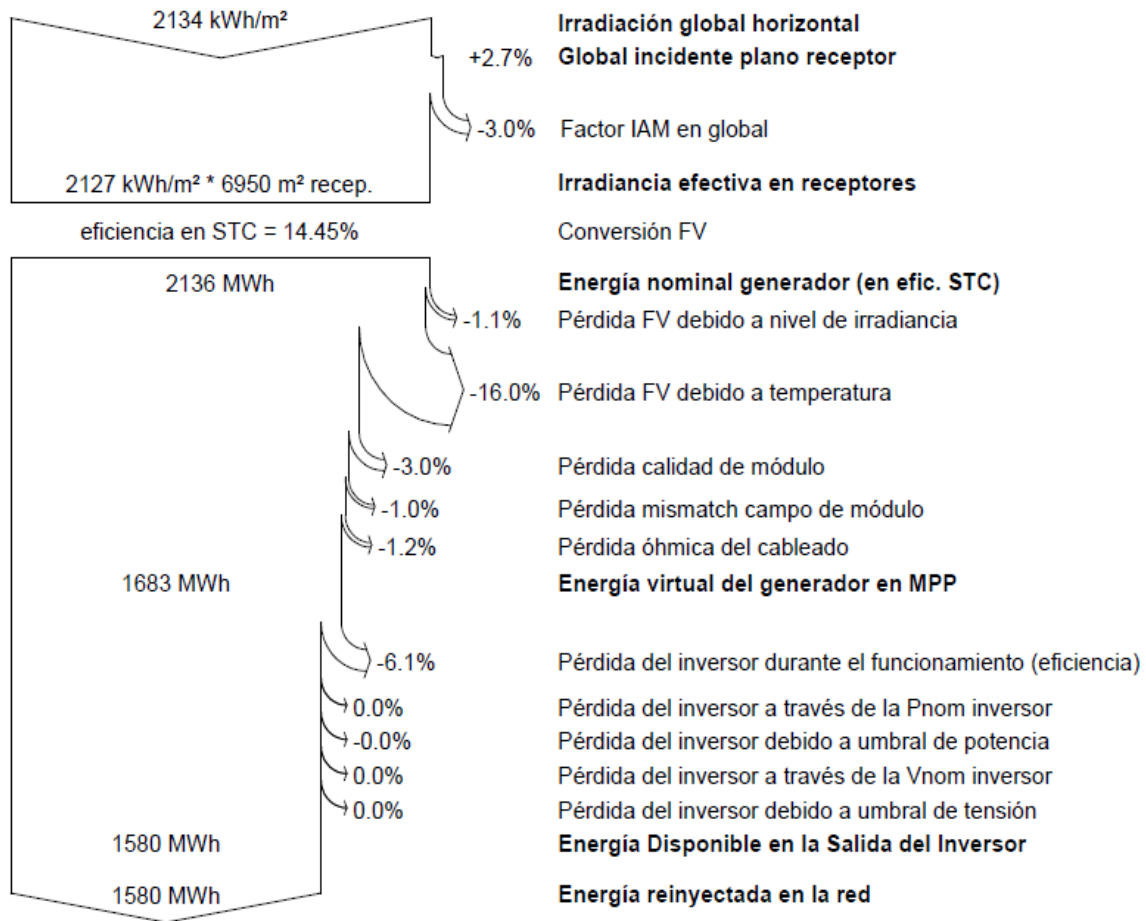


figura 26. Diagrama de pérdidas durante todo el año

En la figura 26, se puede ver los porcentajes de las pérdidas del sistema completo, temperatura, sombreado, conversión.

Funcionamiento de la planta

Durante las horas diurnas, la planta fotovoltaica generará energía eléctrica, en una cantidad directamente proporcional a la radiación solar existente en el plano del campo fotovoltaico. La energía generada por el campo fotovoltaico, en corriente continua, es convertida a alterna y posteriormente inyectada en sincronía a la red de distribución de la compañía eléctrica, primero a través de los inversores y luego a través de los transformadores y red BT. Esta energía es

contabilizada y vendida a la compañía eléctrica mediante un agente de mercado de acuerdo con el contrato de compra-venta previamente establecido con ésta.

Durante las noches el inversor deja de inyectar energía a la red y se mantiene en estado de “stand-by” con el objetivo de minimizar el auto-consumo de la planta. En Proceso de Creación de una Planta Solar Fotovoltaica Conectada a Red cuanto sale el sol y la planta puede generar suficiente energía, la unidad de control y regulación comienza con la supervisión de la tensión y frecuencia de red, iniciando la generación si los valores son correctos. La operación de los inversores es totalmente automática.

El conjunto de protecciones internas, que posee cada uno de los inversores, está básicamente orientado a evitar el funcionamiento en isla de la planta fotovoltaica. En caso de fallo de la red, la planta dejaría de funcionar. Esta medida es de protección tanto para los equipos de consumo de la planta como para las personas que puedan operar en la línea, sean usuarios o, eventualmente, operarios de mantenimiento de la misma. Esta forma de generación implica que sólo hay producción durante las horas de sol, no existiendo elementos de acumulación de energía eléctrica (baterías).

Potencia nominal de la planta

La potencia nominal de la planta viene determinada por las potencias nominales de los inversores instalados. En la planta existen 4 inversores de 250 kW, por lo que la potencia nominal de la planta es de 1.000 kW.

Potencia máxima de la planta

La potencia máxima de la planta viene determinada por la potencia pico del campo de generación fotovoltaico, la cual se producirá en el momento óptimo de radiación solar y temperatura. La potencia máxima generada es de 1.088,64 kW

Energía máxima generada

La energía útil conectada a la de red que viene de la planta está determinada por la potencia pico del campo de generación fotovoltaico, la cual se producirá en el momento óptimo de radiación solar y temperatura. La energía máxima inyectada a la red es 1580 MWh.

3. Costos del proyecto

Costos de producción de energía

En este apartado se incluye los costos de mantenimiento del equipo, El costo de mantenimiento anual es de entre 39 US\$ y 45.00 US\$ por kWp²⁴, pero para el proyecto se toma el promedio de dichos valores y este es de 40.00 US\$ por kWp

Costo producción= costo de manto X capacidad instalada

Costo producción= (\$40.00 / kWp) X (1000 kW)

Costo producción= \$ 40,000

Costos de instalación

Costos de por kW instalados, sobre la base del estudio de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, publicados por el consejo nacional de energía, se obtiene tres escenarios para determinar el costo de la instalación del proyecto.²⁵

ítem	Precio (\$) por KW instalado
Precio 1	2000
Precio 2	2500
Precio 3	3500
Precio prom	\$ 2666.67

Costo del proyecto = precio prom X capacidad instalada

Costo del proyecto = (\$ 2666.67/kW) X (1000 kW)

Costo del proyecto = **\$ 2, 666,670.00**, Esta es la inversión a realizar.

Costos administrativos

En este apartado se incluye el personal que trabaja en el proyecto

puesto	Sueldo mes	total anual
Gerente de planta	1250	15000
secretaria	350	4200
técnico	400	4800
vigilancia (3)	250	9000
Agua, teléfono, internet, papelería, otros	100	1200
costo administrativo anual		\$ 34,200.00

²⁴, ¹¹ FOMENTANDO EL USO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN EL SALVADOR, CNE, 2014

Costos financieros

Estos se refieren al apalancamiento bancario para la realización del proyecto

Inversión del proyecto: \$ 2, 666,670.00

Financiamiento bancario: 70%

Tasa de interés: 8%

Periodo de pago: 10 años

Financiamiento bancario: \$1, 866,670

Financiamiento propio: \$ 800,000

Tabla 5. Pagos anuales por crédito

Período años	Cuota anual	Intereses	Cuota amortización	Capital vivo
0				1866,670.00
1	278,188.88	149,333.60	128,855.28	1737,814.72
2	278,188.88	139,025.18	139,163.70	1598,651.03
3	278,188.88	127,892.08	150,296.79	1448,354.23
4	278,188.88	115,868.34	162,320.54	1286,033.70
5	278,188.88	102,882.70	175,306.18	1110,727.52
6	278,188.88	88,858.20	189,330.67	921,396.84
7	278,188.88	73,711.75	204,477.13	716,919.71
8	278,188.88	57,353.58	220,835.30	496,084.41
9	278,188.88	39,686.75	238,502.12	257,582.29
10	278,188.88	20,606.58	257,582.29	0.00

Tabla 6. Resumen de Costos

Rubro	cantidad
Costo de producción de energía	\$ 40,000
Costos administrativos	\$ 34,200.00
Costos financieros	\$ 278,188.88
Costo total anual	\$352,388.88

Ingresos por venta de energía

Para los ingresos se asume que el precio de venta de la energía es el resultante de participar en un proceso de libre concurrencia especial para proyectos fotovoltaicos de pequeña escala y en el que se adjudica un contrato de largo plazo durante 20 años al suministro de energía de un proyecto fotovoltaico de 1000 kW conectado en la red de distribución.

Para el establecimiento del precio de venta de energía se toman tres valores como se muestra en la tabla siguiente

Tabla 7. Ingresos por venta de energía

	generación anual	Precio de venta MWh	Precio de venta MWh	Precio de venta MWh
año	MWh/año	\$ 200.00	\$ 300.00	\$ 350.00
1	1580	316000	474000	553000
2	1580	316000	474000	553000
3	1580	316000	474000	553000
4	1580	316000	474000	553000
5	1580	316000	474000	553000
6	1580	316000	474000	553000
7	1580	316000	474000	553000
8	1580	316000	474000	553000
9	1580	316000	474000	553000
10	1580	316000	474000	553000
11	1580	316000	474000	553000
12	1580	316000	474000	553000
13	1580	316000	474000	553000
14	1580	316000	474000	553000
15	1580	316000	474000	553000
16	1580	316000	474000	553000
17	1580	316000	474000	553000
18	1580	316000	474000	553000
19	1580	316000	474000	553000
20	1580	316000	474000	553000
21	1580	316000	474000	553000
22	1580	316000	474000	553000
23	1580	316000	474000	553000
24	1580	316000	474000	553000
25	1580	316000	474000	553000

4. EVALUACIONES DEL PROYECTO

Evaluación Económica, se presenta el cálculo de la VAN (valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) para determinar la realización o no del Proyecto. Tomando como base una tasa de interés bancario del 8%.

Se realiza la evaluación económica para los tres precios de venta listados en la tabla anterior.

Tabla 8. Flujo de efectivo para el proyecto tomando como base el precio de venta de \$200 por kWh.

Rubro	Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ingreso por venta		316000	146,277.6	-23,444.8	-193,167.1	-362,889.5	532,611.9	-702,334.3	-872,056.7	-1041,779.0	-1211,501.4	-1381,223.8	-836,130.2	-454,564.6	-187,468.7	-501.6	130,375.4	221,989.3	286,119.0	331,009.8	362,433.4
menos costos de produccion		40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0
utilidad bruta		276,000.0	106,277.6	-63,444.8	-233,167.1	-402,889.5	572,611.9	-742,334.3	-912,056.7	-1081,779.0	-1251,501.4	-1421,223.8	-876,130.2	-494,564.6	-227,468.7	-40,501.6	90,375.4	181,989.3	246,119.0	291,009.8	322,433.4
menos costos de administracion		34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0
utilidad de operaci3n		241,800.0	72,077.6	-97,644.8	-267,367.1	-437,089.5	606,811.9	-776,534.3	-946,256.7	-1115,979.0	-1285,701.4	-1455,423.8	-910,330.2	-528,764.6	-261,668.7	-74,701.6	56,175.4	147,789.3	211,919.0	256,809.8	288,233.4
menos costos financieros		278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
utilidad neta antes de impuestos		-36,388.9	-206,111.3	-375,833.6	-545,556.0	-715,278.4	-885,000.8	-1054,723.2	-1224,445.5	-1394,167.9	-1563,890.3	-1455,423.8	-910,330.2	-528,764.6	-261,668.7	-74,701.6	56,175.4	147,789.3	211,919.0	256,809.8	288,233.4
menos impuestos 30%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-436,627.1	-273,099.0	-158,629.4	-78,500.6	-22,410.5	16,852.6	44,336.8	63,575.7	77,042.9	86,470.0
utilidad despues de impuestos		-36,388.9	-206,111.3	-375,833.6	-545,556.0	-715,278.4	-885,000.8	-1054,723.2	-1224,445.5	-1394,167.9	-1563,890.3	-1018,796.7	-637,231.1	-370,135.2	-183,168.1	-52,291.1	39,322.8	103,452.5	148,343.3	179,766.9	201,763.3
mas depreciacion		-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5
flujo neto de efectivo	-2666670	-169,722.4	-339,444.8	-509,167.1	-678,889.5	-848,611.9	#####	-1188,056.7	-1357,779.0	-1527,501.4	-1697,223.8	-1152,130.2	-770,564.6	-503,468.7	-316,501.6	-185,624.6	-94,010.7	-29,881.0	15,009.8	46,433.4	68,429.8
	VAN		(\$23,867.21)																		
	TIR		#¡NUM!																		

Tabla 9. Flujo de efectivo para el proyecto tomando como base el precio de venta de \$300 por kWh.

Rubro	Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ingreso por venta		474000	462,277.6	450,555.2	438,832.9	427,110.5	415,388.1	403,665.7	391,943.3	380,221.0	368,498.6	356,776.2	338,469.8	665,655.4	754,685.3	817,006.2	860,630.8	891,168.1	912,544.2	927,507.4	937,981.7
menos costos de produccion		40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0
utilidad bruta		434,000.0	422,277.6	410,555.2	398,832.9	387,110.5	375,388.1	363,665.7	351,943.3	340,221.0	328,498.6	316,776.2	498,469.8	625,655.4	714,685.3	777,006.2	820,630.8	851,168.1	872,544.2	887,507.4	897,981.7
menos costos de administracion		34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0
utilidad de operaci3n		399,800.0	388,077.6	376,355.2	364,632.9	352,910.5	341,188.1	329,465.7	317,743.3	306,021.0	294,298.6	282,576.2	464,269.8	591,455.4	680,485.3	742,806.2	786,430.8	816,968.1	838,344.2	853,307.4	863,781.7
menos costos financieros		278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
utilidad neta antes de impuestos		121,611.1	109,888.7	98,166.4	86,444.0	74,721.6	62,999.2	51,276.8	39,554.5	27,832.1	16,109.7	282,576.2	464,269.8	591,455.4	680,485.3	742,806.2	786,430.8	816,968.1	838,344.2	853,307.4	863,781.7
menos impuestos 30%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84,772.9	139,281.0	177,436.6	204,145.6	222,841.9	235,929.2	245,090.4	251,503.2	255,992.2	259,134.5
utilidad despues de impuestos		121,611.1	109,888.7	98,166.4	86,444.0	74,721.6	62,999.2	51,276.8	39,554.5	27,832.1	16,109.7	197,803.3	324,988.9	414,018.8	476,339.7	519,964.3	550,501.6	571,877.7	586,840.9	597,315.2	604,647.2
mas depreciacion		-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5
flujo neto de efectivo	-2666670	-11,722.4	-23,444.8	-35,167.1	-46,889.5	-58,611.9	-70,334.3	-82,056.7	-93,779.0	-105,501.4	-117,223.8	64,469.8	191,655.4	280,685.3	343,006.2	386,630.8	417,168.1	438,544.2	453,507.4	463,981.7	471,313.7
	VAN		(\$1,648.46)																		
	TIR		0%																		

Tabla 10. Flujo de efectivo para el proyecto tomando como base el precio de venta de \$350 por kWh.

Rubro	Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ingreso por venta		553000	620,277.6	687,555.2	754,832.9	822,110.5	889,388.1	956,665.7	1023,943.3	1091,221.0	1158,498.6	1225,776.2	1225,769.8	1225,765.4	1225,762.3	1225,760.1	1225,758.6	1225,757.5	1225,756.7	1225,756.2	1225,755.9
menos costos de produccion		40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0	40,000.0
utilidad bruta		513,000.0	580,277.6	647,555.2	714,832.9	782,110.5	849,388.1	916,665.7	983,943.3	1051,221.0	1118,498.6	1185,776.2	1185,769.8	1185,765.4	1185,762.3	1185,760.1	1185,758.6	1185,757.5	1185,756.7	1185,756.2	1185,755.9
menos costos de administracion		34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0	34,200.0
utilidad de operaci3n		478,800.0	546,077.6	613,355.2	680,632.9	747,910.5	815,188.1	882,465.7	949,743.3	1017,021.0	1084,298.6	1151,576.2	1151,569.8	1151,565.4	1151,562.3	1151,560.1	1151,558.6	1151,557.5	1151,556.7	1151,556.2	1151,555.9
menos costos financieros		278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	278,188.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
utilidad neta antes de impuestos		200,611.1	267,888.7	335,166.4	402,444.0	469,721.6	536,999.2	604,276.8	671,554.5	738,832.1	806,109.7	1151,576.2	1151,569.8	1151,565.4	1151,562.3	1151,560.1	1151,558.6	1151,557.5	1151,556.7	1151,556.2	1151,555.9
menos impuestos 30%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	345,472.9	345,471.0	345,469.6	345,468.7	345,468.0	345,467.6	345,467.2	345,467.0	345,466.9	345,466.8
utilidad despues de impuestos		200,611.1	267,888.7	335,166.4	402,444.0	469,721.6	536,999.2	604,276.8	671,554.5	738,832.1	806,109.7	806,103.3	806,098.9	806,095.8	806,093.6	806,092.1	806,091.0	806,090.2	806,089.7	806,089.4	806,089.1
mas depreciacion		-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5	-133,333.5
flujo neto de efectivo	-2666670	67,277.6	134,555.2	201,832.9	269,110.5	336,388.1	403,665.7	470,943.3	538,221.0	605,498.6	672,776.2	672,769.8	672,765.4	672,762.3	672,760.1	672,758.6	672,757.5	672,756.7	672,756.2	672,755.9	672,755.6
	VAN		\$9,460.92																		
	TIR		13%																		

Tabla 11. Resumen de evaluaci3n

precio	350	300	200
VAN	9460.91531	-1648.45968	-23867.20966
TIR	13%	0.4%	#¡NUM!

En relaci3n a la tabla anterior se descarta los valores TIR y VAN para precios de venta de entre 200 y 300 d3lares por MWh.

En relación a la evolución económica se siguen los siguientes parámetros para aceptar o no la realización del proyecto en relación a la VAN y TIR

Valor ¹¹²	Significado	Decisión a tomar
$VAN > 0$	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto puede aceptarse
$VAN < 0$	La inversión produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto debería rechazarse
$VAN = 0$	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida (r), la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

$VAN = 9460.91$

Satisface porque es mayor que cero.

TIR

Si un proyecto tiene flujos de fondos negativos al inicio (inversión) y positivos en los periodos subsiguientes, el criterio de la TIR dice que se debe invertir en aquellos proyectos que tengan una $TIR > i$. Por otro lado, si un proyecto tiene flujos de fondos positivos al inicio (ej.: pedir un préstamo) y negativos en los otros periodos (ej.: devolución del préstamo), la regla de la TIR dice que se debe invertir en el proyecto si la $TIR < i$

Comparación del resultado obtenido con la tasa antes elegida, la cual sirve fundamentalmente para determinar la aceptación o rechazo del proyecto:

$TIR > i$

$13\% > 8\%$, es decir bajo este entendido se acepta el proyecto.

De igual forma al observar el valor de TIR calculado sabemos que por cada dólar invertido en la planta de generación eléctrica el 13%, Bajo este entendido se acepta la realización del proyecto

CONCLUSIONES

Para proyectos de generación eléctrica a partir de fuentes renovables y principalmente a base del recurso solar, menores a 5KW se tienen los siguientes beneficios:

- **Durante los diez primeros años gozarán de exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de** maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de reinversión y de inversión en la construcción de las obras de las centrales para la generación de energía eléctrica, incluyendo la construcción de la línea de subtransmisión necesaria para transportar la energía desde la central de generación hasta las redes de transmisión y/o distribución eléctrica.
- **Exención del pago del Impuesto sobre la Renta por un período de diez años** en el caso de los proyectos de menos de 10 megavatios MW. (Art. 3, literal b).

De acuerdo al Decreto Ejecutivo No. 80 de fecha 17 de abril de 2012, publicado en el Diario Oficial No. 76, Tomo 395 de fecha 26 de abril de 2012, se menciona lo siguiente: *En el caso de licitaciones destinadas exclusivamente a fuentes renovables de energía eléctrica, los procedimientos de contratación deberán contemplar expresamente un mecanismo simplificado destinado a generación con base en energía renovable **conectada en red del distribuidor**, de hasta un máximo de **20 MW de capacidad instalada**.*

La inyección a la red del Generador conectando a una subestación de distribución en 13.2 kV ó 23 kV. Este caso corresponde a proyectos de generación aproximadamente menores a 20 MW que se conectan a la subestación de distribución más cercana en niveles de tensión de 23 kV ó 13.2 kV, esto debido a que por razones económicas, el generador puede optar por conectarse a las redes de distribución en vez de conectarse a la transmisión.

Para proyectos de clasificación B1, según el MARN, no necesitan estudio de impacto ambiental, que el caso de este proyecto.

La potencia nominal de la planta viene determinada por las potencias nominales de los inversores instalados. En la planta existen 4 inversores de 250 kW, por lo que la potencia nominal de la planta es de 1.000 kW.

La potencia máxima de la planta viene determinada por la potencia pico del campo de generación fotovoltaico, la cual se producirá en el momento óptimo de radiación solar y temperatura. La potencia máxima generada es de **1,088,64 kW**

El terreno utilizado para la instalación de 1000 KW en paneles solares, es de 7000 metros cuadrados.

La generación de inyección de energía a la red anual es de **1580.2 MWh**

El precio de venta para la realización del proyecto tiene que ser mayor a los \$325/ MWh.

RECOMENDACIONES

Realizar análisis de sensibilidad con diferentes tecnologías (policristalino, amorfo) para determinar la mejor opción sobre la tecnología que se utilizara en el proyecto.

Realizar análisis de sensibilidad con diferentes escenarios para reducir los costos del proyecto

Realizar mediciones anuales del recurso solar en el lugar seleccionado para obtener datos más confiables para el desarrollo de la planta de generación fotovoltaica.

Realizar estudio de huella de carbono para el proyecto de instalación de la planta de generación de energía eléctrica fotovoltaica.

Realizar inventario de fauna de la zona del proyecto para evitar inconvenientes con el otorgamiento del permiso ambiental.

NOMENCLATURA Y GLOSARIO DE TERMINOS

- **Diodo de bloqueo:** Diodo que impide que se invierta la corriente en un circuito. Normalmente es usado para evitar la descarga de la batería.
- **Caja de Conexiones:** Elemento donde las series de módulos fotovoltaicos son conectados eléctricamente, y donde puede colocarse el dispositivo de protección, si es necesario.
- **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.
- **Convertidor Continua - Continua:** elemento de la instalación encargado de adecuar la tensión que suministra el generador fotovoltaico a la tensión que requieran los equipos para su funcionamiento.
- **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.
- **Efecto Fotovoltaico:** Conversión directa de la energía luminosa en energía eléctrica.
- **Fotón:** Cada una de las partículas que componen la luz.
- **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
- 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.
- 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
- 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.

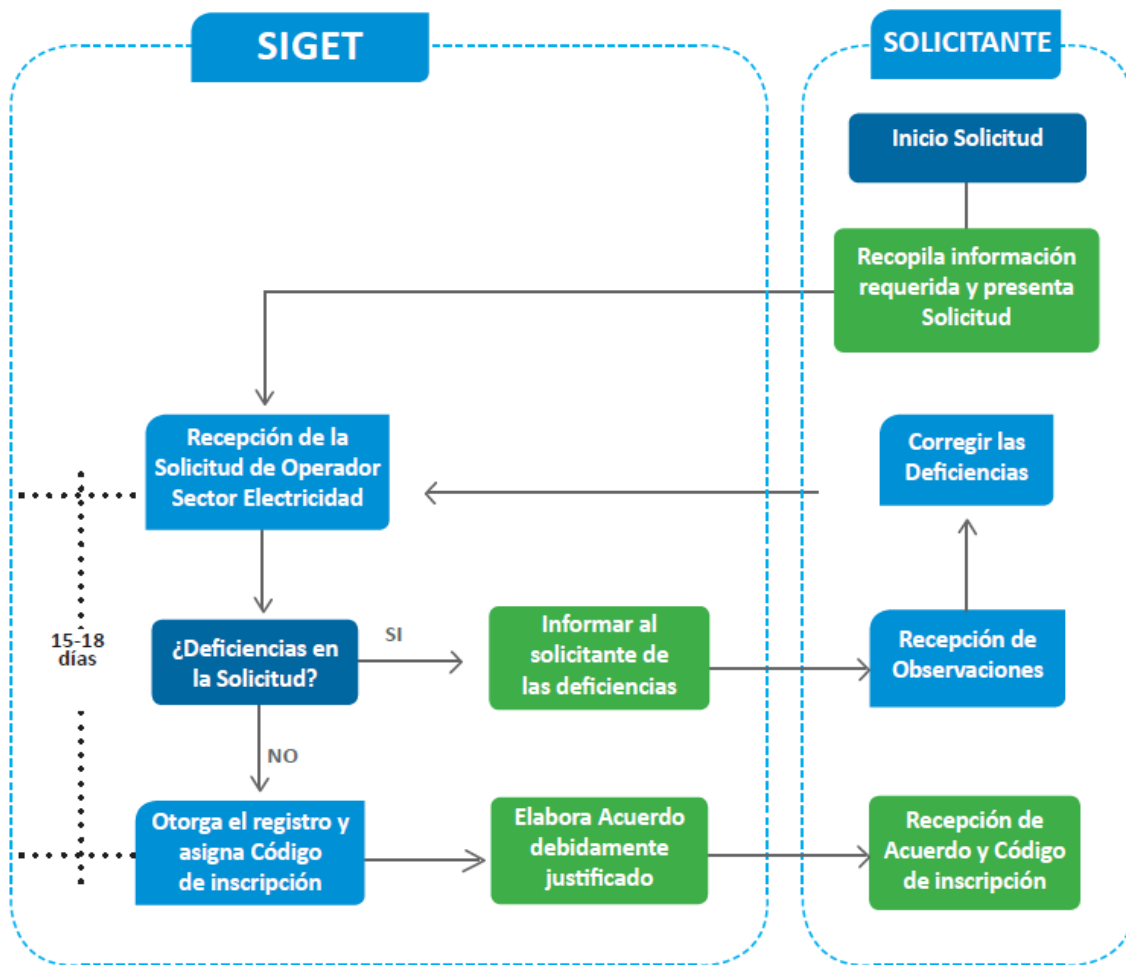
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Fomentando el uso de fuentes renovables de energía en El Salvador, CNE, 2014
- Instalación de sistemas solares sobre techos, El Salvador, CNE, 2014
- 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
- Formulario ambiental para energía fotovoltaica. MARN

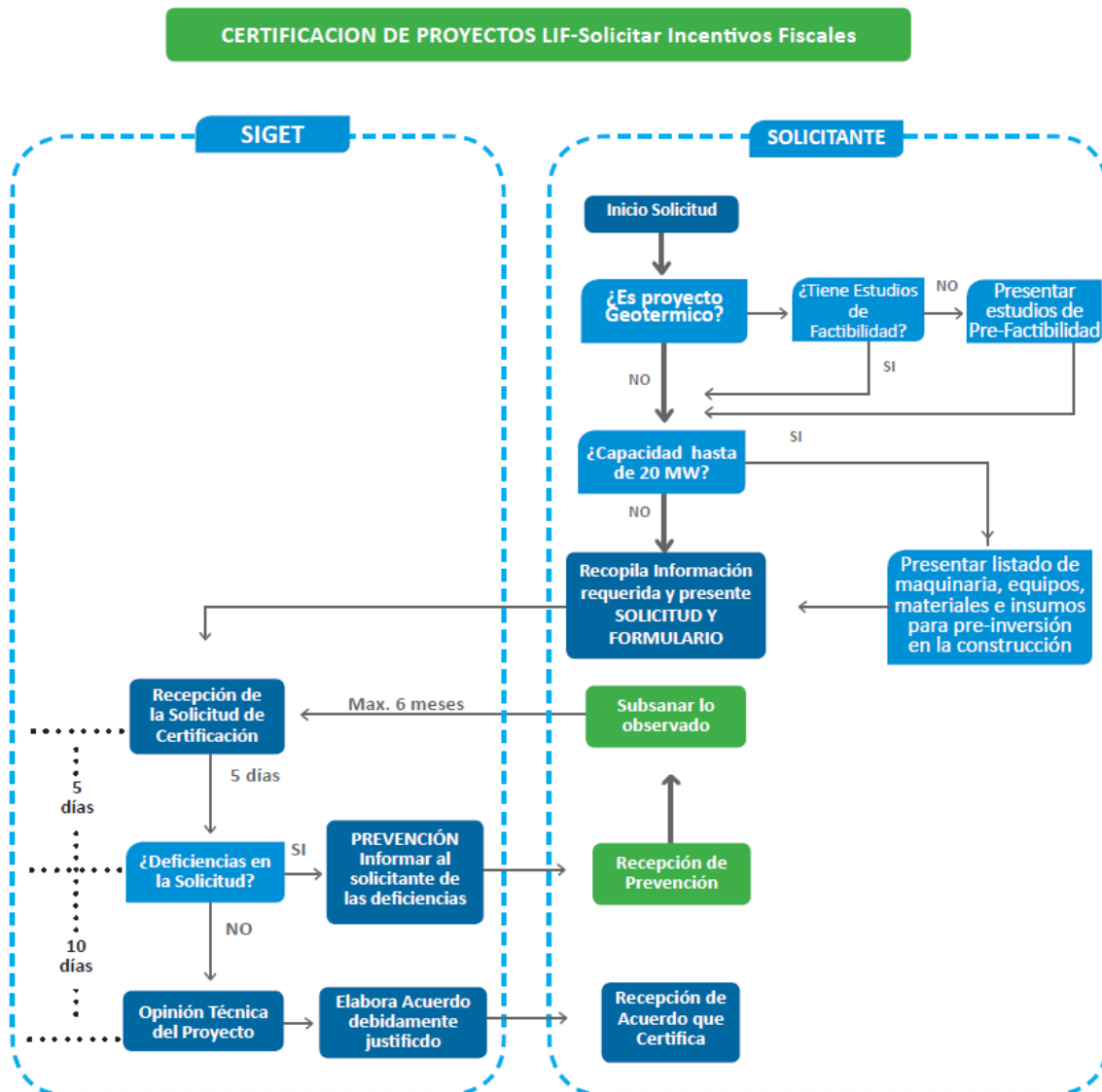
ANEXOS

Anexos A1

Inscripción en el Registro de SIGET – Generador y otro operador

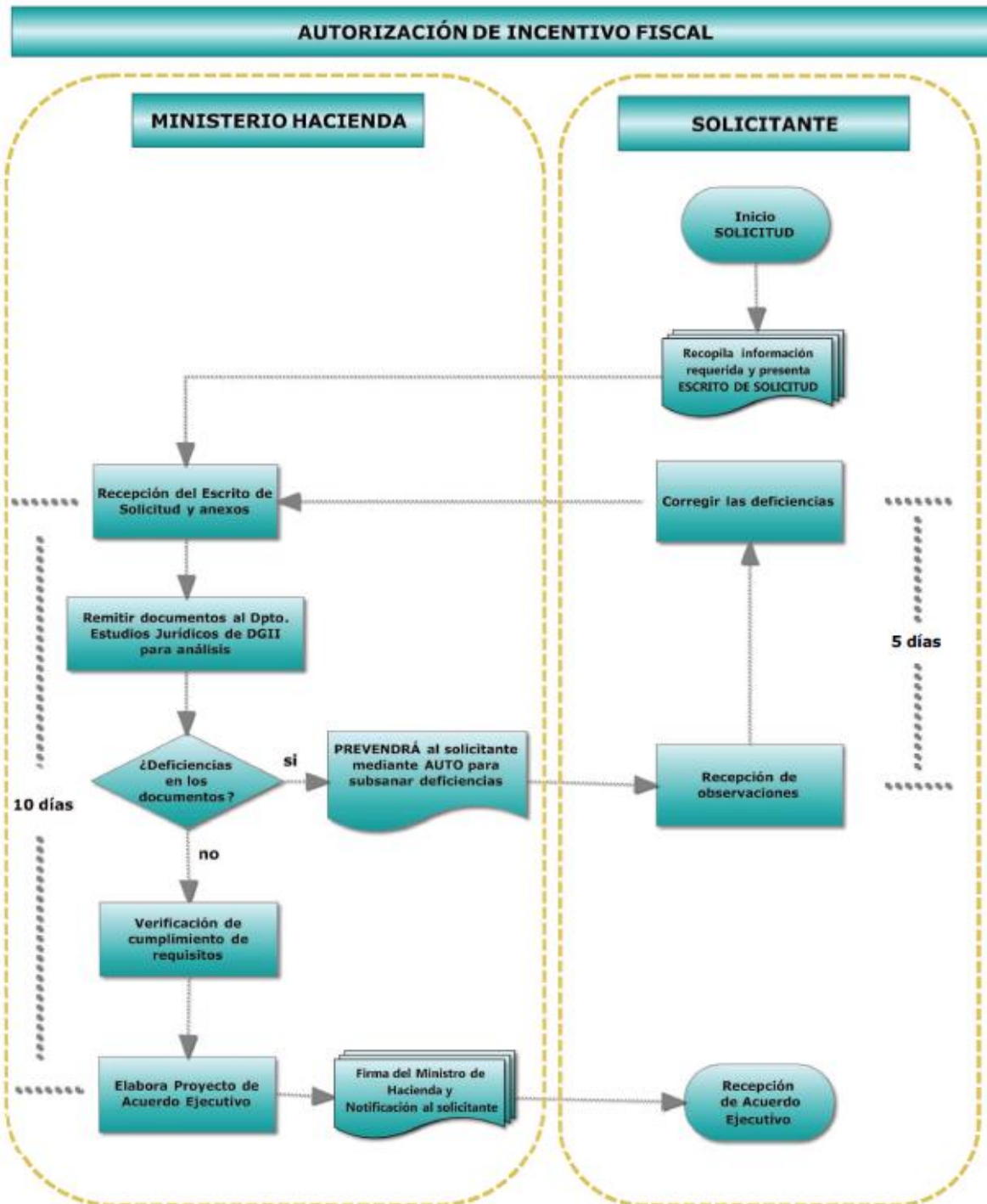


Certificación de Proyectos Previa Autorización de Incentivo Fiscal



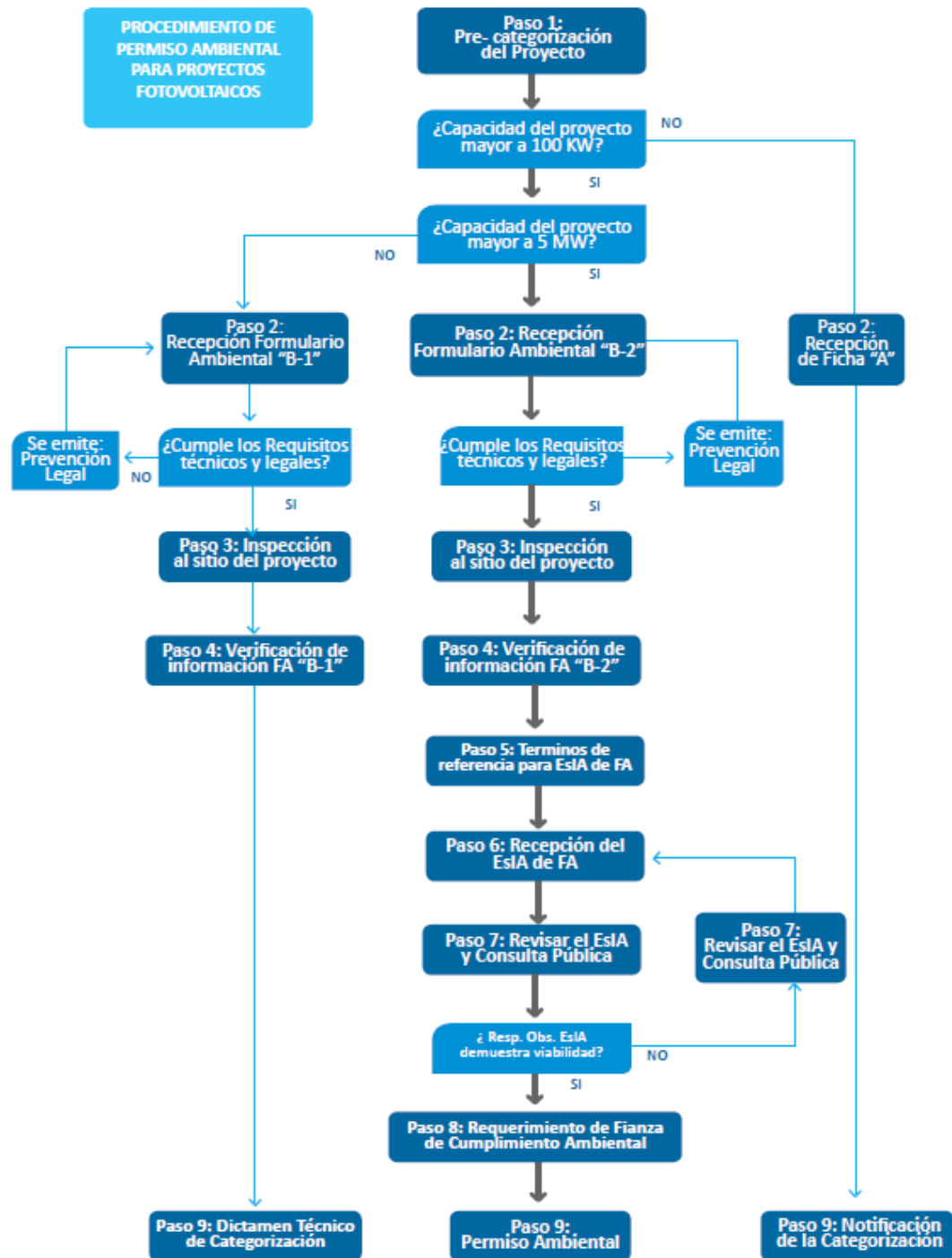
Nombre de la Institución	SIGET	Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones
Unidad Institucional Responsable		Gerencia de Electricidad
Formas de contactarla	Dirección	Sexta Décima Calle Poniente y 35 Avenida Sur No. 1907, Col. Flor Blanca, San Salvador, El Salvador
	Teléfono	(503) 2257-4440
	E-mail:	jose.regalado@siget.gob.sv
	Sitio Web	www.siget.gob.sv
Documentación a presentar		Formulario de acuerdo a la tecnología: • CTH-1, hidroeléctrica • CTG-2, geotérmica • CTE-3, eólica • CTS-4, solar • CTB-5, biomasa Documentos solicitados en cada formulario.
Tiempo de gestión		10 días hábiles
Legislación aplicada		ACUERDO No. 162-E-2012 “Normativa Técnica para Caracterizar los Proyectos que aprovechan las Fuentes Renovables en la Generación de Energía Eléctrica”, CAPÍTULO II Solicitud y formulario de certificación de proyectos con fuentes Renovables de energía en la generación de energía eléctrica. Todos los requisitos que debe incluir la solicitud están detallados en el artículo 8; y en el 9 se establece forma de presentación y algunos detalles a considerar en la información solicitada en el artículo anterior. La información que debe incluir un estudio de factibilidad esta listada en el artículo 10. Para los proyectos hidroeléctricos y geotérmicos en el artículo 11 se establece “la concesión del recurso”, dentro de los documentos a anexar. El tiempo de gestión y otros plazos se detallan en el artículo 14 y en el 17. Los proyectos geotérmicos pueden tener un trato especial en la Documentación que presenten, esto se explica en el artículo 15. En el artículo 16 se establece un beneficio especial para proyectos con capacidad menor o igual a 20 MW, donde toda la maquinaria, equipos, materiales (incluido la línea eléctrica) e insumos pueden tener exención del pago DAI.

Autorización de Incentivo Fiscal



Nombre de la Institución	MH	Ministerio de Hacienda
Unidad Institucional Responsable		Dirección General de Impuestos Internos (DGII)
Formas de contactarla	Dirección	Área de Correspondencia del Centro de Servicios al Contribuyente del Ministerio de Hacienda. (ex Bolerama Jardín) Calle Alvarado y Diagonal Centroamérica No. 4, contiguo a Edificio Tres Torres (Ex-Bolerama Jardín), San Salvador.
	Teléfono	503) 2244-3000 y 2237-3000
	E-mail:	info@mh.gob.sv
	Sitio Web	www.mh.gob.sv
Documentación a presentar		Presentar por escrito de solicitud de Calificación del Proyecto, Especificando los beneficios e incentivos fiscales de la Ley, dirigido a la Dirección General de Impuestos Internos. • El escrito debe ir firmado por el titular del proyecto, en caso de personas jurídicas, por parte de su representante legal o apoderado facultado para ello. Dichas firmas deberán ir autenticadas por notario. • El escrito debe indicar: a) Generales del solicitante, y en su caso también de quien lo represente legalmente. b) Tipo de Beneficios Fiscales a los que pretende acogerse, de conformidad con los literales a), b) y c) del art. 3 de la Ley de la materia. c) Consignar lugar para oír notificaciones
		DOCUMENTOS que se deben ANEXAR: • Documentación certificada por notario, con la que acredite en debida forma la personería con la que actúa. • Copia certificada de N.I.T. • Acuerdo emitido por SIGET, en el que se certifique el proyecto, con la correspondiente opinión técnica sobre la naturaleza del mismo. Caso Especial • Para el caso del art. 3 literal c) de la Ley, deberá agregar el Contrato de Venta de las Reducciones Certificadas de Emisiones (R.C.E.).
Tiempo de gestión		10 días hábiles
Legislación aplicada		LEY DE INCENTIVOS FISCALES Artículo 3: establece los tipos de beneficios fiscales a los que pueden acogerse. La competencia de calificar el goce de los beneficios e incentivos fiscales se determina en el artículo 7. En el Capítulo V, artículos del 11 al 17, se detallan los procedimientos, plazos de gestión, recursos y vigencia de la ley. REGLAMENTO DE LA LEY DE INCENTIVOS FISCALES En el artículo 11 se listan la información y los documentos que deben presentarse con la solicitud escrita. Y en el artículo 12 se detallan procedimientos y plazos. Sobre el procedimiento y plazos para completar información por requerimiento del Ministerio, se explica en el artículo 15

Permiso Ambiental Para Proyectos Fotovoltaicos



Nombre de la Institución	MARN	Ministerio de medio ambiente y recursos naturales
Unidad Institucional Responsable		Dirección General de Impuestos Internos (DGII)
Formas de contactarla	Dirección	Área de Correspondencia del Centro de Servicios al Contribuyente del Ministerio de Hacienda. (ex Bolerama Jardín) Calle Alvarado y Diagonal Centroamérica No. 4, contiguo a Edificio Tres Torres (ex-Bolerama Jardín), SS.
	Teléfono	503) 2244-3000 y 2237-3000
	E-mail:	info@mh.gob.sv
	Sitio Web	www.mh.gob.sv
Documentación a presentar	General	En los “Requerimientos Técnicos Generales”, están detallada la información que debe proporcionarse y en la forma en que debe entregarse al Ministerio. Todos los formularios se encuentran en http://www.marn.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=94&Itemid=161
	General	Se solicita Documentación Legal, de acuerdo a la razón social: • persona natural • persona jurídica • Alcaldía • Institución autónoma • Institución gubernamental
	Grupo A	Ficha de información para las actividades, obras o proyectos del grupo "A" de la categorización
	Grupo B1	• Formulario para proyectos termoeléctricos, geotérmicos e hidroeléctricos y líneas de transmisión. • Carpeta Técnica - En el documento “Requerimientos Técnicos Generales” se lista el contenido de la misma.
	Grupo B2	En la “Lista de chequeo de verificación de documentación técnica para admisión del Formulario Ambiental para iniciar el proceso de Evaluación Ambiental de proyectos de Urbanización, Lotificación y Obras de Construcción e Infraestructura” se presentan todos los documentos e información que debe anexarse y en la forma en que debe hacerse.
Tiempo de gestión	Grupo B1	10 días hábiles
	Grupo B2	170 días hábiles
Legislación aplicada		ACUERDO No. 33 En el Acuerdo No. 33 – Se modifica el Acuerdo Ejecutivo No. 39 de fecha 26 de abril de 2007, que contiene la Categorización de Actividades, Obras y Proyectos, según manda la Ley de Medio Ambiente. En el Anexo 1, se categorizan los que aprovechan la energía solar para la generación de calor o energía eléctrica. Se listan las actividades que en cada una de los Grupos A y B, donde los primeros no requieren presentar documentación ambiental; y en los segundos se establecen dos categorías: grupo B categoría 1 con moderado potencial de impacto ambiental y el grupo B categoría 2, se clasifican las actividades, obras o proyectos que requieren elaborar un estudio de impacto ambiental.

Anexos B1

Especificaciones del panel solar

Definición de un módulo FV

Datos básicos | Datos adicionales | Parámetros modelo | Dimensiones y Tecnología | Comercial | Gráficos

Modelo: COE-180M Fabricante: Coenergia ?

N. archivo: Coenergia_COE180M.PAN Origen datos: Photon Mag. 2009

Potencia nom: 180.0 Wp Tol. +/- N/A % Tecnología: Si-mono

Especificaciones del fabricante o otras medidas

Cond. de referencia: GRef 1000 W/m² TRef 25 °C ?

Corriente de cortocircuito Isc 5.600 A Circuito abierto Voc 44.30 V

Punto Potencia Máximo: Imp 5.050 A Vmpp 35.70 V

Coeficiente de temperatura milsc 2.8 mA/°C N° células 72 en serie

o milsc 0.050 %/°C

Resultado del modelo interno

Cond. de funcionamiento GOper 1000 W/m² TOper 25 °C ?

Punto Potencia Máximo: Pmpp 180.7 W Coef. temperatura -0.50 %/°C

Corriente Imp 5.15 A Tensión Vmpp 35.1 V

Corriente de cortocircuito Isc 5.60 A Circuito abierto Voc 44.3 V

Eficiencia / Sup. células N/A % / Sup. módulo 14.45 %

Resumen del modelo

Parámetro principal ?

R paral. 300 ohm

Rp (G=0) 1200 ohm

R serie modelo 0.63 ohm

R serie máx. 0.90 ohm

R serie aparente 1.02 ohm

Parámetros modelo

Gamma 1.16

Io Ref 6 nA

muVoc -182 mV/°C

miPmáx fijado -0.50 /°C

Show Optimization Export hacia tabla Imprimir Anular OK

Definición de un módulo FV

Datos básicos | Datos adicionales | Parámetros modelo | Dimensiones y Tecnología | Comercial | Gráficos

Descripción: Coenergia, COE-180M

Módulo

Largo 1183 mm

Ancho 1057 mm

Espesor 40.0 mm

Peso 17.00 kg

Sup. módulo 1.250 m²

Células

En serie 72

En paralelo 1

Superf. célula N/A cm²

N° total células 72

Superf. células N/A m²

Tensión Máxima Generador

Tensión absoluta máxima del generador en cualquier condición (es decir Voc a la temperatura ambiente más baja posible).

Tensión Máxima IEC N/A V

Tensión Máxima UL (US) N/A V

Diodo bypass de protección

N° diodos by-pass 4 /módulo

Partición de submódulo ☐ A lo largo ☐ A lo ancho

☐ Mezclados

☐ Módulo teja

☐ CFV : módulo de concentración

La definición del tamaño del Módulo es obligatoria: se utiliza para la determinación de la eficiencia "usual".
La superficie de las células es facultativa: si se define permitirá la definición de la eficiencia a nivel celular.

Tecnología y especificaciones del módulo

Marco:

Estructura:

Conexiones:

Show Optimization Export hacia tabla Imprimir Anular OK

Especificaciones del inversor

Parámetro principal	Curva de eficiencia	Parámetros adicionales	Dimensiones	Comercial
Modelo	JH 250 KA3			
N. archivo	Sharp_JH250_KA3.OND			
Fabricante	Sharp			
Origen de datos	Photon Mag. 2008			
Lado entrada (Campo FV CC)				
Tensión MPP Mínima	150	V		
Tensión Mínima para Pnom	350	V		
Tensión MPP Nominal	450	V		
Tensión MPP Máxima	700	V		
Tensión FV máx Absoluta	750	V		
Umbral Potencia	1250.0	W		
Especificación contractual, sin significado físico verdadero.  Obligatorio				
Potencia nominal FV	250	kW		
Potencia máxima FV	300	kW	☐	
Corriente máxima FV	770	A	☐	
Lado salida (Red CA)				
Tipo		Frecuencia		
☐ Monofásico		☒ 50 Hz		
☒ Trifásico		☒ 60 Hz		
☐ Bifásico				
Tensión de Red	400	V		
Potencia nominal CA	250	kW		
Potencia máxima CA	250	kW		
Corriente CA nominal	344	A	☐	
Corriente CA máxima	390	A	☐	
Eficiencia				
Eficiencia máxima	95.5 %			
Eficiencia EURO	93.0 %			
☐ Eficiencia definida para 3 tensiones				
 Export hacia tabla  Imprimir  Anular  OK				