



UNIVERSIDAD DON BOSCO

VICERRECTORÍA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**LINEAMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO DE
PREFACTIBILIDAD DE UN PROYECTO SOLAR FOTOVOLTAICO. CASO DE
ESTUDIO SAN MIGUEL, EL SALVADOR.**

PARA OPTAR AL GRADO DE:

MAESTRO EN GENTIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

ASESOR:

MG. ÁLVARO RENÉ FLAMENCO RAMOS

PRESENTADO POR:

**LUISA MARÍA CAÑAS VILLACORTA
CARLOS ALBERTO CASTILLO ORTEGA
LAURA ELIZABETH MOLINA ALVARADO**

Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, Centroamérica

Septiembre de 2013

Resumen ejecutivo

Cada día la generación de energía eléctrica con fuente solar fotovoltaica es una posibilidad que se encuentra al alcance de países como El Salvador, pero la falta de conocimiento sobre cómo llevar a cabo un proyecto de este tipo y como tener un panorama claro del funcionamiento o rentabilidad de estas inversiones sigue siendo un reto, al mismo tiempo, la información de que instancias, reglamentos y legislaciones del país se encuentran involucradas y como intervienen a la hora del montaje de una planta solar fotovoltaica, aún se encuentra limitada.

En el marco de las líneas estratégicas de la Política Energética Nacional “Diversificación de la matriz energética y fomento a las fuentes renovables de energía”, se propone la realización de una prefactibilidad para un proyecto de generación de energía eléctrica de mediana escala mediante el aprovechamiento del recurso solar.

Actualmente en El Salvador no se cuenta con el desarrollo de proyectos de este tipo de mediana y gran escala, sin embargo se cuenta con la iniciativa de Comisión Ejecutiva del Río Lempa (CEL) la cual cuenta con la formulación de dos proyectos de generación de aproximadamente 18 MWe los cuales se esperan estar concluidos en el 2016. Esto refleja la necesidad de una guía metodológica que sirva de apoyo para incentivar la inversión y generación de energía eléctrica a fin de garantizar el abastecimiento eléctrico nacional.

La prefactibilidad presentada en este documento tiene el objetivo de servir como instrumento a potenciales inversionistas en proyectos de generación eléctrica mediante energía solar fotovoltaica, Para ello ha sido necesario plantear la idea del proyecto desde sus inicios, hasta la inversión financiera que deberá realizarse una vez establecida la magnitud del proyecto; determinando los insumos necesarios para su desarrollo, ubicaciones estratégicas técnicas y ambientales, como también el proceso para obtener los permisos correspondientes y los requisitos para conformar una propuesta del proyecto.

En este estudio se han utilizados datos históricos de irradiación solar y otros datos meteorológicos medidos en la estación ubicada en el sector UES y el Pacayal del departamento de San Miguel, equipo marca SUTRON INC (USA), así como también, el documento de categorización de actividades, obras y proyectos de energías renovables publicado por el ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales para establecer los aspectos ambientales a considerar y también la legislación vigente aplicable referente a conexiones y despacho de la energía eléctrica generada a red eléctrica nacional.

Para la propuesta del diseño se determinó una potencia instalada de 5 MWe conectada a red de distribución de 46 kV propiedad de la distribuidora eléctrica EEO en un terreno con una extensión superficial de 13 hectáreas ubicado en el Municipio de El Delirio departamento de San Miguel, esto según la disponibilidad del terreno seleccionado, de acuerdo a los incentivos fiscales vigentes y para visualizar una inversión financiera

representativa de un proyecto a mediana escala. Se realizó una simulación en el programa PVSyst 5.67, dicho programa utiliza promedios mensuales de radiación solar, irradiación solar, temperatura media y velocidad de viento, datos medidos el sitio y proporcionados por MARN-DGOA¹. para el dimensionamiento, determinación de pérdidas en el sistema y cantidad de energía a generar. La propuesta consta de 50 arreglos de 100 KW, conformados por módulos policristalinos de 245 W de potencia, con los cuales se espera una generación anual de 7,683 MWh.

Para el cálculo de la inversión se ha propuesto un flujo de caja con todos los componentes mínimos que deben tomarse en cuenta para encontrar la rentabilidad del proyecto. Se determinó una inversión de US\$13,225,800.00 dólares de los Estados Unidos de América, obteniendo una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 10.04%, con un precio de venta de US\$ 234 MWh, para más detalle del establecimiento de este precio ver Evaluación Económica en capítulo 6.

Finalmente se presentan las conclusiones generales y comentarios finales del desarrollo de esta prefactibilidad.

¹ MARN-DGOA: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos naturales – Dirección General del Observatorio Ambiental.

Contenido

Resumen ejecutivo.....	i
Índice de tabla.....	v
Siglas	vi
Abreviaturas y Simbologías.....	vii
Objetivo General.....	viii
Objetivos Específicos	viii
Alcances y Aportaciones	viii
Limitaciones	ix
Introducción.....	xi
Marco Teórico	xiii
Generación eléctrica en El Salvador.....	xiii
Radiación solar y su aprovechamiento.	xvi
Aprovechamiento de la energía solar mediante tecnología fotovoltaica	xvii
Tipos de células fotovoltaicas	xvii
Sistemas fotovoltaicos	xviii
Evolución de la capacidad instalada mundial de la tecnología fotovoltaica	xix
Sistemas fotovoltaicos conectados a red eléctrica.....	xx
Estudio de la Radiación solar en El Salvador.....	xxi
Proyectos fotovoltaicos conectados a red e instalados sobre el suelo en El Salvador...xxiii	
1. Determinación de potencial de radiación solar para el área de estudio.....	1
1.1 Recolección de datos	1
1.2 Ordenamiento de Datos	4
1.3 Procesamiento de datos:	6
2. Reconocimiento y Selección del terreno para el proyecto fotovoltaico	9
2.2 Selección de terrenos	11
2.2 Metodología de calificación:	21
2.3 Terreno seleccionado.....	24
3. Marco legal.....	27
3.1 Regulación sector eléctrico El Salvador.....	27
3.2 Proceso para el trámite de registro y desarrollo del proyecto.....	31
4. Propuesta de diseño y evaluación técnica.....	33

4.1 Conexión con la red de distribución	33
4.2 Dimensionamiento de la planta de generación fotovoltaica en estudio.....	36
4.3 Dimensionamiento de la potencia nominal de los generadores.....	38
4.4 Dimensionamiento de la potencia nominal del inversor	38
4.5 Dimensionamiento de la planta fotovoltaica en el Delirio por medio de un programa de simulación PVSyst.....	39
4.6 Resultados de la simulación mediante programa PVSyst.	44
4.7 Simulación de la planta de generación fotovoltaica de 5MWe	47
4.8 Características técnicas de los componentes que conforman la generación de energía fotovoltaica de la planta.....	49
4.9 Estudio de red de tierra para la planta de generación de 5MWe	61
5. Evaluación Ambiental	69
5.1 Evaluación ambiental del proyecto.....	71
6. Evaluación Económica	75
6.1 Introducción Análisis de factibilidad financiera.....	75
6.2 Costo de Subestación Eléctrica.....	77
6.3 Periodos temporales:	79
6.4 Flujo de caja	79
6.5 Resultados del análisis financiero.....	80
Conclusiones.....	83
Bibliografía.....	85
Anexo I. Hoja técnica generador fotovoltaico.....	87
Anexo II. Hoja técnica inversor trifásico	91
Anexo III. Hojas técnicas transformadores 3MVA y 5MVA.....	97
Anexo IV. Hoja técnica planta de emergencia 16 kVA	103
Anexo V. Hoja técnica estructura de módulos fotovoltaicos	109
Anexo VI. Diagrama unifilar de planta fotovoltaica	115
Anexo VII. Diagrama de comunicación de la planta.....	119
Anexo VIII. Simulación de planta de generación 100 kWe.....	123
Anexo IX. Simulación de planta de generación 5 MWe	129
Anexo X. Distribución en planta del proyecto fotovoltaico 5 MWe.....	135
Anexo XI. Especificaciones técnicas de equipo estación meteorológica.....	139

Índice de tabla

Tabla 1. Resumen de características de tecnología células fotovoltaicas [Energía Solar Fotovoltaica, Grupo NAP, 2002].....	xviii
Tabla 2. Proyectos fotovoltaicos, conectados a la red, desarrollados en.....	xxiv
Tabla 3. Peso (kg) Volumen (lt) y dimensiones (mm)	56
Tabla 1. 1 Irradiación mensual promedio	6
Tabla 2. 1 Características eléctricas de los puntos de conexión en los municipios seleccionados	10
Tabla 2. 2 Rangos de clasificación del terreno	22
Tabla 2. 3 Descripción de parámetros de evaluación.	22
Tabla 2. 4 Evaluación técnica de terrenos visitados	25
Tabla 3. 1. Normativa, legislación y documentos relacionados al sector eléctrico	30
Tabla 4. 1 Características eléctricas del Delirio 1	33
Tabla 4. 2 Superficie necesaria para un sistema de generación fotovoltaica 1 kWp.....	37
Tabla 4. 3 Ubicación y coordenadas de la planta fotovoltaica	40
Tabla 4. 4 Características del arreglo del generador fotovoltaicos de 100 kWp	46
Tabla 4. 5 Características de los sub-arreglos FV que compone el arreglo FV de 100kWe	47
Tabla 4. 6 Configuración de los arreglos FV para obtener el sistema de 5 MWe	47
Tabla 4. 7 Características técnicas del módulo.....	50
Tabla 4. 8 Características eléctricas del módulo	50
Tabla 4. 9 Características técnicas del inversor.....	52
Tabla 4. 10 Características eléctricas del inversor	52
Tabla 4. 11 Tablas de capacidades y voltajes del transformador de 3 MVA	54
Tabla 4. 12 Tabla de capacidades y voltajes del transformador 5MVA	56
Tabla 4. 13 Dimensiones generales del transformador de 5MVA	56
Tabla 4. 14 Características de los descargadores de sobretensión de las cajas de continua.	58
Tabla 4. 15 Características de los interruptores magnetotérmicos en las cajas de corriente continua.	59
Tabla 4. 16 Características de los interruptores magnetotérmicos en las cajas de corriente alterna.	59
Tabla 4. 17 Descargador de sobretensión a la salida del inversor	59
Tabla 4. 18 Características del interruptor diferencial	60
Tabla 5. 1 Categorización de proyecto Planta Fotovoltaica 5 MW.....	71
Tabla 6. 1 Inversión total del proyecto	77
Tabla 6. 2 Balance y resultados principales	78

Siglas

AC: Corriente Alterna.
ARECA: Acelerando las Inversiones en Energía Renovables en Centroamérica y Panamá.
CAESS: Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador.
CEL: Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa
CER's: Reducción de Certificado de Emisiones.
CNE: Consejo Nacional de Energía
DC: Corriente Directa.
DEUSEM: Distribuidora Eléctrica de Usulután
DGOA: Dirección General del Observatorio Ambiental
DYGESTIC: Dirección General de Estadísticas y Censos.
EDESAL: Empresa Distribuidora Eléctrica Salvadoreña.
EEO: Empresa Eléctrica de Oriente.
EEUU: Estados Unidos de Norte América.
ETESAL: Empresa Transmisora de El Salvador.
GIS: Geographic Information System (Sistemas de Información Geográfica)
GNL: Gas Natural Licuado.
JICA: Agencia de Cooperación Internacional del Japón.
LGE: Ley General de Electricidad.
LMA: Ley del Medio Ambiente.
MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
MDL: Mecanismos de Desarrollo Limpio
MH: Ministerio de Hacienda.
MINEC: Ministerio de Economía.
MRS Mercado Regulador del Sistema.
NASA: National Aeronautics and Space Administration (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio).
SIGET: Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.
SNET: Servicio Nacional de Estudios Territoriales.
TIR: Tasa Interna de Retorno
TMAR: Tasa Mínima Aceptable de Retorno
UCA: Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas".
UES: Universidad de El Salvador de Oriente.
UT: Unidad de Transacciones.
VAN: Valor Actual Neto.
VMVDU: Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano.
3TIER: Renewable Energy Risk Analysis (Análisis de Riesgo de Energías Renovables)

Abreviaturas y Simbologías

A: Amperios.
FV: fotovoltaico.
FS: factor de dimensionamiento.
G: Irradiancia.
H: Irradiación.
HZ: Hertz.
GW: Gigawatt.
ha: hectárea.
Km: kilómetro.
kV: Kilovoltio.
kW: Kilowatt.
kWe: kilowatt eléctrico.
KWh: Kilowatt hora.
kWp: kilowatt pico.
m³: metros cúbicos.
MVA: Megavoltios.
MW: Megawatt.
MWe: Megawatt eléctrico.
MWh: Megawatt hora.
V: Voltios.
VDC: Voltaje de corriente directa.
W: Watt.
XL: inductiva.
CO₂: Dióxido de Carbono.
 : Ohmios.
 -m: Ohmios- metros.
°C: Grados Celsius.

Objetivo General

Desarrollar un documento guía que permita a los desarrolladores e inversionistas de proyectos de generación eléctrica a través del aprovechamiento de la energía solar mediante tecnología fotovoltaica, establecer la evaluación de parámetros y aspectos esenciales tales como: trámites administrativos para la inscripción del proyecto, estudios previos de cuantificación de potencial de recurso solar, impacto ambiental y determinación de la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

Objetivos Específicos

- Determinación de la capacidad instalada del proyecto solar fotovoltaico que se puede implementar de acuerdo al potencial solar (irradiancia) en la zona de estudio.
- Desarrollar el dimensionamiento y tipo de conexión eléctrica de la planta solar fotovoltaica elaborada mediante el uso de la herramienta informática especializada en el diseño de sistemas fotovoltaicos PVSyst 5.67.
- Elaborar una evaluación técnica, ambiental y financiera del proyecto, tomando en cuenta la variación de parámetros que puedan afectar la rentabilidad del mismo.
- Listar las instituciones nacionales relacionadas en las diferentes etapas de desarrollo de proyectos fotovoltaico.
- Presentar los criterios de evaluación para identificar el sitio más adecuado para la implementación del proyecto.

Alcances y Aportaciones

- Desarrollar un estudio de pre-factibilidad para la implementación de una planta fotovoltaica conectada a red de distribución eléctrica propiedad de la distribuidora EEO en el departamento de San Miguel.
- Generar un documento de referencia que sirva de guía a los desarrolladores de proyectos para la elaboración de una prefactibilidad de proyectos fotovoltaicos en la zona de San Miguel.
- Establecer el procedimiento a seguir para la obtención de permisos para proyectos de este tipo y por cuales legislaciones se rigen estos proyectos.

- Hace uso de la herramienta PVSyst para determinar la cantidad de módulos fotovoltaicos a instalar y el tipo de conexión para la potencia instalada del proyecto en cuestión.

Limitaciones

- Calidad de la muestra de datos de irradiancia solar medidos en las zonas evaluar por medio de la estación meteorológica de la UES en San Miguel.
- Para el estudio económico no se contó con el precio actualizado de los materiales y equipo a instalar, por lo que el análisis se realizó como precios estimados con base a precios internacionales de otros proyectos similares.
- La logística para realizar visitas de campo a las zonas en estudio.
- A nivel nacional aún no se cuenta con proyectos de esta capacidad de potencia, que puedan ser tomados como referencia.
- La normativa para la implementación de este tipo de proyecto aún está en proceso de desarrollo.
- El precio de la tecnología sigue siendo alto, para la implementación de este tipo de proyectos, por lo que es de vital importancia que existan más leyes que incentiven al desarrollador e inversionista.

Introducción

Capítulo 1. Estimación del potencial

En esta etapa se calculará el potencial solar existente en el departamento de San Miguel, para lo cual se hará uso de datos de irradiación medidos por equipo adecuado instalado en estación meteorológica UES y el Pacayal, mediante la recolección, ordenamiento y tratamiento de los datos medidos cada 10 y 15 minutos respectivamente, de los años 2005-2008, 2010, 2011.

Capítulo 2. Reconocimiento y selección del terreno

Mediante la utilización de fotografías satelitales, ubicación de estaciones meteorológicas y subestaciones eléctricas de distribución, se estableció la ubicación potencial de la planta generadora en cinco inmuebles del departamento de San Miguel, los cuales fueron visitados y evaluados de acuerdo a la disponibilidad de área, disponibilidad de conexión a red eléctrica, entre otros, descartando los terrenos menos favorables para seleccionar el mejor sitio para la propuesta del proyecto.

Capítulo 3. Marco Legal

En esta etapa se hace referencia a la legislación vigente aplicable a conexiones a red eléctrica nacional del generador fotovoltaico para despacho de la energía producida. Se describirán los trámites y requerimientos a ser presentados ante las autoridades competentes para la obtención de permisos para proyectos de este tipo, También se describirán los requisitos y condiciones Ambientales que establece la legislación y las consideraciones e incentivos que apoyan estos proyectos.

Capítulo 4. Propuesta de diseño y evaluación técnica

En esta etapa se establece los tipos de componentes que conforman el diseño, módulos fotovoltaicos, inversores, transformadores, y el dimensionamiento de la planta con la utilización del programa PVSYS, donde se explica brevemente la utilización del programa y que insumos necesita para realizar una simulación adecuada así como se desglosa la distribución de la planta, su diagrama unifilar, conexión y sistema comunicación.

Capítulo 5. Evaluación ambiental

En esta etapa se ha tomado en cuenta los aspectos ambientales que generen impacto en la zona objetivo para el proyecto y sus alrededores de acuerdo a la legislación vigente y a la capacidad de potencia eléctrica instalada del proyecto. Dado que el impacto ambiental depende de la magnitud del proyecto, se ha elaborado también una ficha ambiental con todos aquellos aspectos más importantes a ser tomados en cuenta por un desarrollador de proyectos y que deben valorarse en un proyecto de este tipo ya sea por procedimientos legales como para el desarrollo del mismo.

Capítulo 6. Evaluación económica

En este apartado se hace una pequeña reseña de incentivos fiscales con los que cuenta este proyecto de inversión para producción de energía mediante aprovechamiento de sostenible de energía renovable. También se realizará un estudio económico y financiero del proyecto utilizando un flujo de caja con los criterios de la VAN y TIR y se incorporará un análisis del comportamiento de tres diferentes escenarios donde se modifica el precio de venta del MWh. y de esta manera establecer el más rentable.

Marco Teórico

Generación eléctrica en El Salvador

Actualmente, según la Dirección General de Estadísticas y Censos - DIGESTYC, en el país, para el año 2012, un aproximado de 93.6% de hogares salvadoreños cuenta con servicio de energía eléctrica, lo cual indica que un aproximado de 103,404 familias no tienen acceso a la electricidad, de las cuales 80,081 viven en áreas rurales. El crecimiento de electrificación en El Salvador se puede observar a continuación.

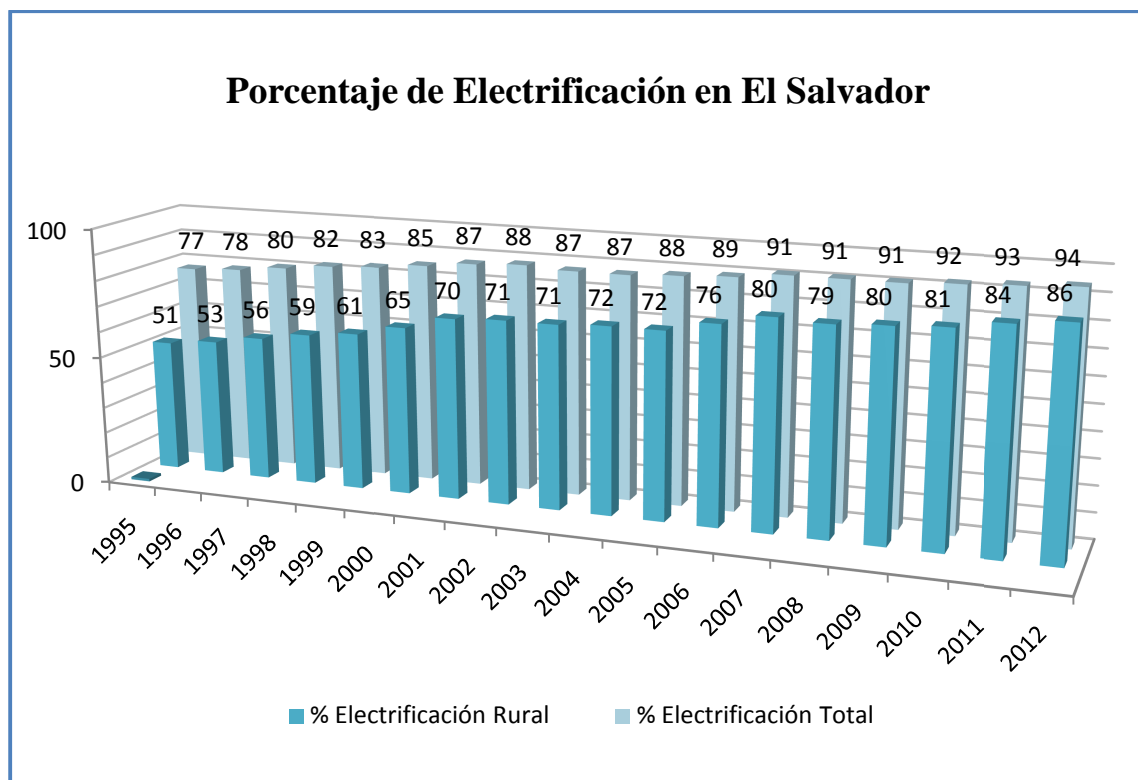


Figura 1. Porcentaje de Electrificación en El Salvador [Encuesta de Hogares y Propósitos Múltiples, DIGESTY]

El crecimiento económico y demográfico, la urbanización, el proceso de modernización, entre otros aspectos, un aumento en la demanda de energía eléctrica en el país, tal como lo presenta el Plan Indicativo de la Expansión de la Generación de El Salvador 2012-2026, del Consejo Nacional de Energía, el cual indica que se espera que presente una tasa promedio anual de 4.7%.

Según el Boletín de Estadísticas Eléctricas No 13, de la SIGET, la generación eléctrica, para el año 2011 fue de 5,728.8 GWh, la cual estuvo compuesta por energía Hidroeléctrica 1,913.42 GWh, energía Geotérmica 1,363.45 GWh, energía a base de

biomasa 160.40 GWh, y energía Térmica 2,291.51 GWh, siendo esta última la que más aporte presentó, como se puede observar en la siguiente figura.

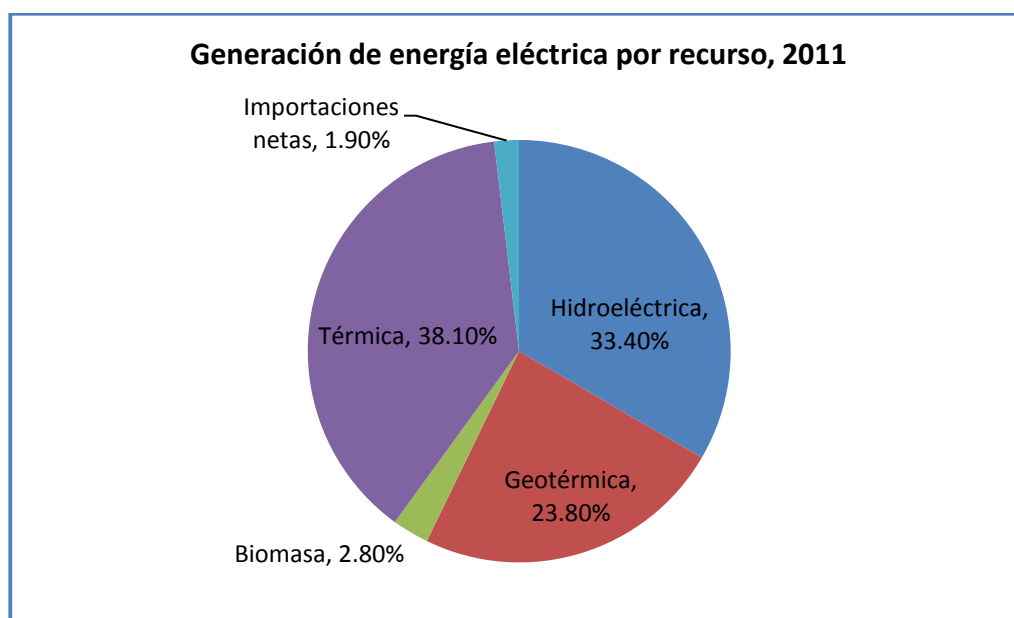


Figura 2. Generación de energía eléctrica por recurso [Boletín de Estadísticas Eléctricas No 13, SIGET 2011]

En El Salvador, la generación eléctrica térmica depende de la importación del 100% del petróleo, y el aumento acelerado de los precios de estos, vuelve de suma importancia el desarrollo de proyectos de energía renovable. En este contexto se establece como Línea Estratégica de la Política Energética Nacional la “*Diversificación de la matriz energética y fomento a las fuentes renovables de energía*”, la cual proyecta una matriz de generación de energía para el 2015 con un aporte del 19% de proyectos a desarrollar, entre los cuales se tienen considerados: El Chaparral (66 MW), Ampliación de 5 de Noviembre (80 MW), expansiones en Geotermia de 60 MW, El Cimarrón (262 MW), dejando la generación como se muestra en la figura 3. A largo plazo se ha considerado proyectos de solar térmica concentrada (2018-2020), y proyectos a pequeña escala que utilicen recurso solar y eólico. También se ha considerado la expansión con unidades de carbón y ciclos combinados con gas natural licuado (GNL).

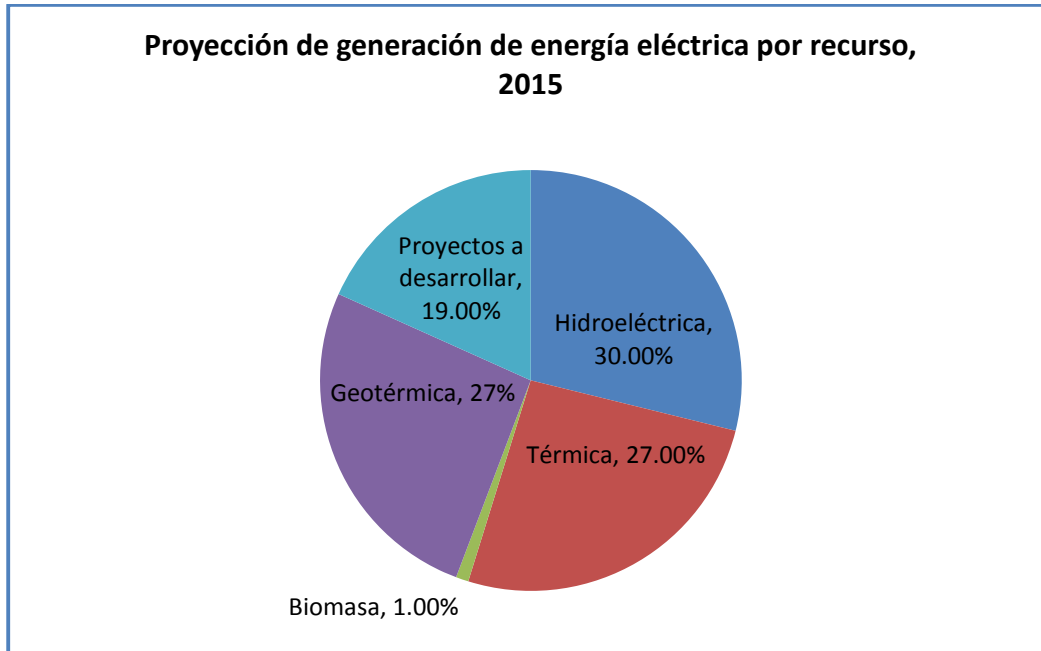


Figura 3. Proyección de la generación de energía eléctrica por recurso, 2015 [Política Energética Nacional, junio 2010]

Paralelo a esto se cuenta con la reforma realizada al Reglamento de la Ley General de Electricidad, la cual establece el desarrollo de Contratos de Largo Plazo transferibles a tarifa, lo cual logra incentivar inversión en generación de energía eléctrica a fin de garantizar el abastecimiento eléctrico nacional, viabilizar el desarrollo de nuevos proyectos de generación y contribuir a la diversificación energética asegurando el suministro eléctrico, principalmente.

Además, la empresa distribuidora CAESS, S.A. de C.V., en representación de las empresas distribuidoras DELSUR, S.A. de C.V., AES CLESA y CIA., S. en C. de C.V., EEO, S.A. de C.V., DEUSEM, S.A. de C.V., B&D, S.A. de C.V. y EDESAL, S.A. de C.V., en 2012 convocaron a licitación de 15 MW de potencia a instalar de generación de energía renovable, por un plazo de quince (15) años, la cual se distribuye en los siguientes bloques:

- Tecnología de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas: 4.0 MW
- Tecnología Solar Fotovoltaica: 6.0 MW
- Tecnología Biogás: 4.0 MW

Adicionalmente, se reserva un Bloque de Potencia a instalar de 1.0 MW para ser adjudicado a Usuarios Autoprodutores.

Todo lo anterior justifica el desarrollo de proyectos que empleen energía primaria de fuentes renovables, y entre estas, la energía solar recurso utilizado para el proyecto a en cuestión el cual es descrito a continuación.

Radiación solar y su aprovechamiento.

La mayoría de fuentes de energía primaria que existen en la tierra son formas alternativas de almacenamiento de la energía solar tales como la fotosíntesis de las plantas, el calentamiento de las masas de aire en la atmósfera, la evaporación del agua del océano, entre otros ejemplos donde el aprovechamiento de la energía solar permite dichos fenómenos. Lo anterior es debido que la energía solar son ondas electromagnéticas que viajan a través del espacio las cuales, al incidir en una superficie sobre la Tierra, pueden producir efecto de calentamiento. La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente desde el disco solar; sin reflexiones o refracciones intermedias, a diferencia de la difusa, que es la componente de la radiación la cual ha sufrido reflexiones o refracciones.

También se puede realizar la medición de los valores de, la radiación **directa normal** que se mide sobre una superficie orientada directamente hacia el sol, de tal manera que los rayos solares resultan siempre perpendiculares a dicha superficie, la radiación **directa horizontal**, la cual se mide al incidir sobre un plano horizontal (en relación con la superficie terrestre). En este caso la radiación directa normal es modificada por el coseno del ángulo de incidencia, la radiación **difusa horizontal** se puede definir como la radiación total proveniente de la esfera terrestre que cae sobre una superficie horizontal, menos el efecto de la radiación directa que incide sobre dicha superficie y la radiación **global horizontal**, que es la suma de la radiación directa horizontal y la radiación difusa horizontal. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, que mide la energía instantánea por unidad de superficie que alcanza a la tierra. Su unidad es el W/m^2 Se ilustra en la figura 4. La radiación global horizontal a nivel mundial.

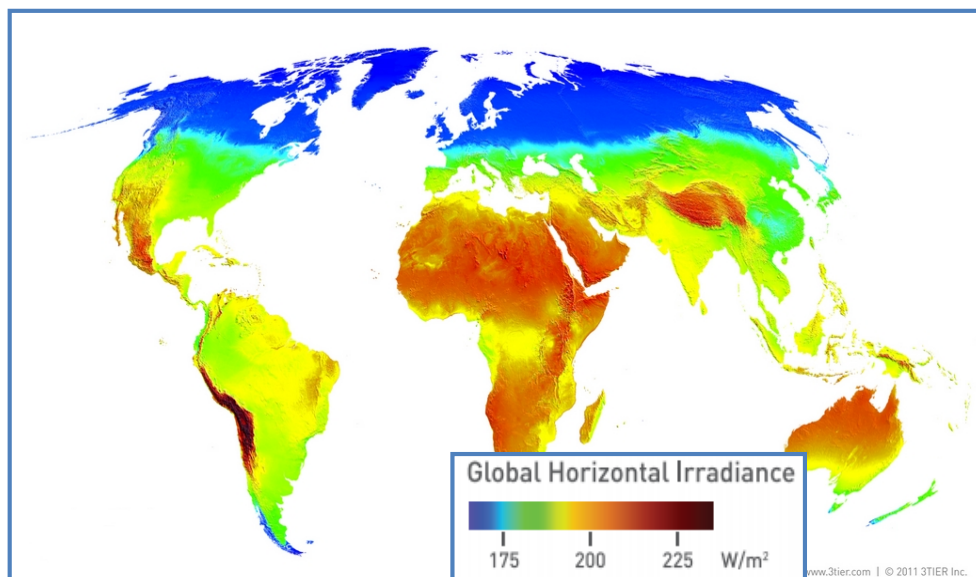


Figura 4. Irradiancia global horizontal a nivel mundial [3TIER]

La irradiancia, también llamada potencia de la radiación, varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m^2 , en la superficie terrestre. En la figura 5 se ilustra la dependencia de la irradiancia de los fenómenos de refracción, dispersión y reflexión.

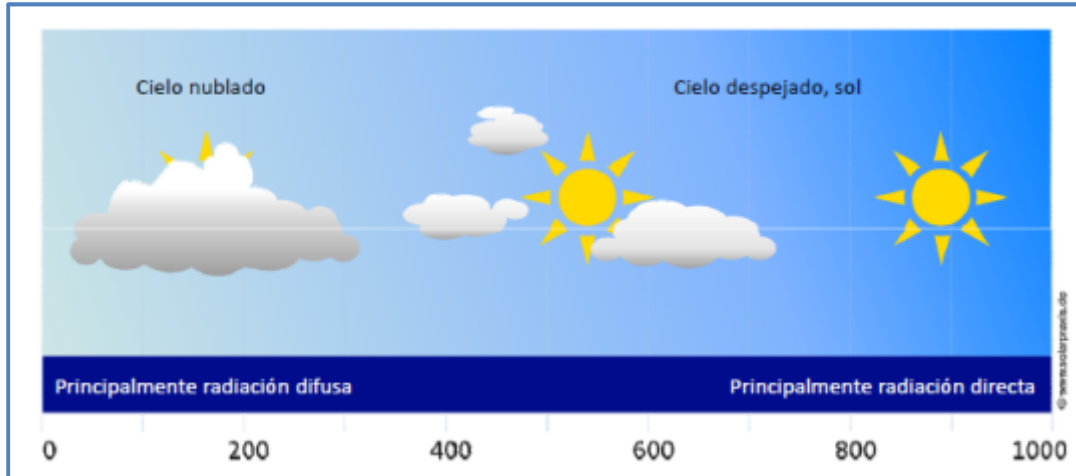


Figura 5. Incidencia de los fenómenos de la refracción, dispersión y reflexión en la irradiancia W/m^2 [SOLARPRAXIS]

La irradiación es la energía solar incidente en una superficie por unidad de área, sus unidades son J/m^2 o kWh/m^2 .

Aprovechamiento de la energía solar mediante tecnología fotovoltaica


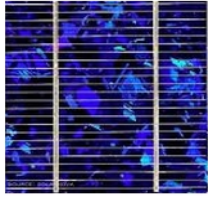



La energía solar fotovoltaica consiste en el aprovechamiento de la luz del Sol para producir energía eléctrica por medio de células fotovoltaicas las cuales por medio del efecto foto eléctrico transforman la irradiancia solar global (difusa más directa) en potencia eléctrica. Las células solares se combinan en serie, para aumentar la tensión o en paralelo para aumentar la corriente, dando lugar a módulos comerciales que suelen incorporar varias células. El parámetro estandarizado para clasificar la potencia de los módulos fotovoltaicos se denomina *potencia pico*, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son: **Radiación de 1000 W/m^2 , Temperatura de célula de 25°C (no temperatura ambiente).**

Tipos de células fotovoltaicas

Las células más utilizadas son las realizadas en silicio cristalino y silicio multicristalino denominadas más común mente como policristalinas. Ambos materiales utilizan silicio ultra puro. La segunda tecnología de células es la de capa fina, para la elaboración de este tipo de células se utiliza silicio amorfo, telurio de cadmio (CdTe) y

diselenurio de cobre e indio (CuInSe₂ o CIS); en la tabla 1 se muestra un resumen de las características de las tecnologías mencionadas.

Tabla 1. Resumen de características de tecnología células fotovoltaicas [Energía Solar Fotovoltaica, Grupo NAP, 2002].

				
Tipo de Tecnología células fotovoltaicas				
Monocrystalino (Si)	Policristalino	Diselenurio de Cobre e Indio (CIS)	Telurio de Cadmio (CdTe)	Silicio amorfo
Color				
Azul oscuro.	Azul.	Negro.	Verde oscuro, negro.	Rojo azulado, negro.
Eficiencia				
16% al 20 %	12% al 14 %	13% al 18%	Hasta 8%	8% al 12 %
Tamaño (m²) de generador de un kWp				
7 a 9	8 a 11	11 a 13	13 a 18	16- 20

Sistemas fotovoltaicos

Para utilizar módulos solares como fuente de energía es necesario que estos sean combinados en serie y paralelo para conseguir los voltajes y potencias adecuados a cada necesidad, creando de esta forma “campos fotovoltaicos”. Al conjunto de elementos necesarios para la generación, conversión, inyección, de energía eléctrica son llamados Sistemas Fotovoltaicos.

Los Sistemas Fotovoltaicos pueden agruparse en sistemas autónomos y sistemas fotovoltaicos conectados a la red, la diferencia entre un sistema fotovoltaico autónomo y los conectados a red, consiste en la ausencia del subsistema de acumulación en este último, formado por el sistema de baterías y reguladores de carga, en principio este punto los hace más complejos. Para los sistemas conectados a la red, será necesario que el sistema generador y la red se encuentren sincronizados, es decir cuenten con la misma frecuencia, voltaje y secuencia de fase, esto se logra mediante la tecnología electrónica del inversor permite acoplar de manera sincronizada los niveles de los parámetros antes mencionados entre la generación y la red. Dentro de la figura 6 se muestra las aplicaciones de los

Sistemas Fotovoltaicos; sin embargo, y para los alcances de este trabajo de graduación, únicamente se analizarán los sistemas conectados a red.

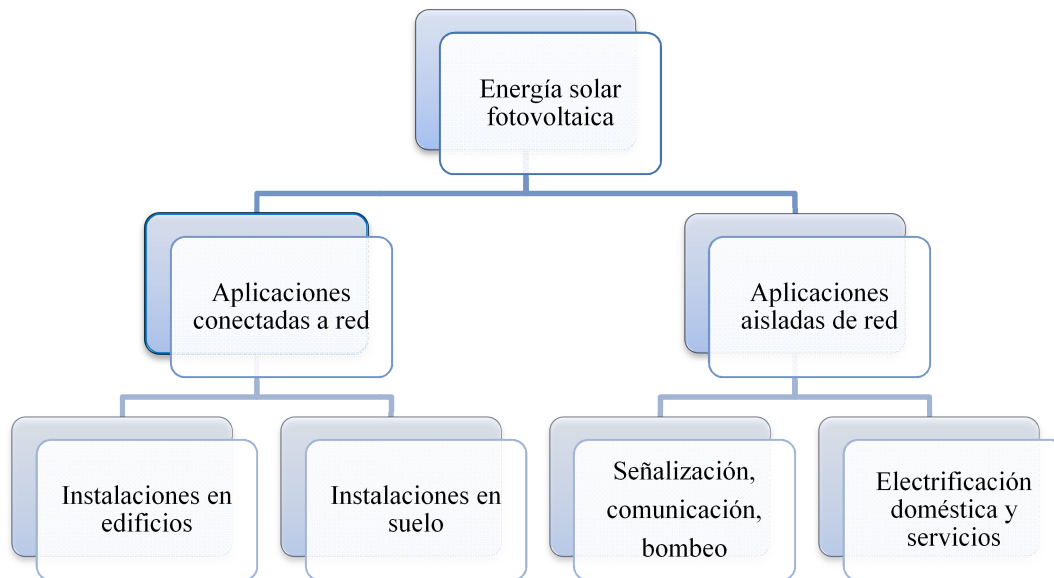


Figura 6. Aplicaciones Sistemas Fotovoltaicos

Evolución de la capacidad instalada mundial de la tecnología fotovoltaica

La Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (EPIA, por sus siglas en inglés), en su publicación “Global Market Outlook - for Photovoltaics 2013-2017” de fecha mayo 2013, plantea que el mundo sumó más de 31 GW de nueva energía solar fotovoltaica de capacidad en 2012, más o menos la misma capacidad que en el año de 2011, como se muestra a continuación.

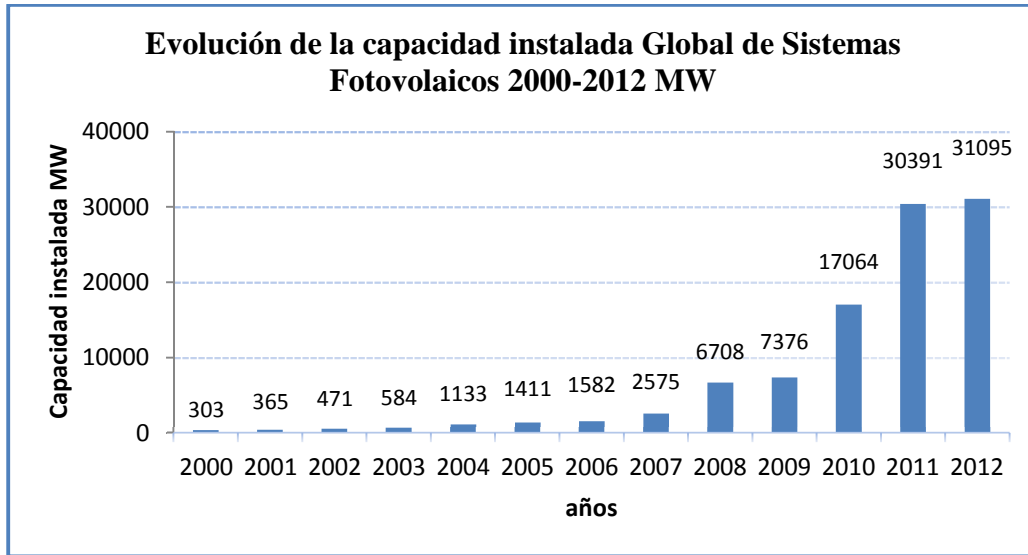


Figura 7. Evolución de la capacidad global de generación fotovoltaica instalada 2000-2012 (MW) [EPIA]

Sistemas fotovoltaicos conectados a red eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red eléctrica componen una de las aplicaciones de la generación de energía solar fotovoltaica que más se están utilizando en los últimos años, dado su potencial de utilización en zonas próximas a la red eléctrica; sus elementos principales se ilustran en la figura 8 y se describen a continuación:

- Módulos fotovoltaicos, normalmente llamados generador fotovoltaico.
- Inversor, convierte la electricidad de corriente continua de los módulos, en electricidad con las mismas características que las que suministra la red (corriente alterna).
- Cableado, la instalación se completa con protecciones, cableado, toma de tierra y contadores. Se instala un cuadro eléctrico en el cual van ubicadas las protecciones e interruptores necesarios y el contador de energía.
- Cajas de conexión, son elementos que conectan las ramas del módulo fotovoltaico. Esta garantizan una conexión impermeable entre las ramas e incluye varios dispositivos de seguridad muy recomendables para la protección la instalación de fallos eléctricos y problemas climáticos, como cortocircuitos causados por humedad y otros.
- Dispositivo medidor de energía eléctrica bidireccional.
- Subestación, destinada a modificar y establecer los niveles de tensión del sistema de generación eléctrica, para facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica.

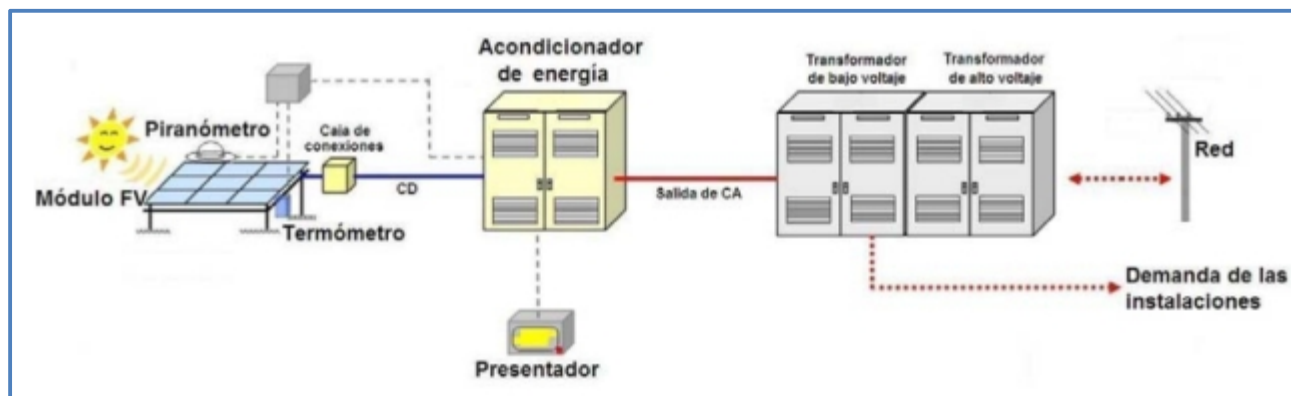


Figura 8. Componentes de un Sistema Fotovoltaico conectado a red

Estudio de la Radiación solar en El Salvador

De acuerdo al proyecto regional “Evaluación del Potencial de Energía Eólica y Solar”, SWERA por sus siglas en inglés, elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos naturales (MARN), Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”(UCA), Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET/MARN) publicado en octubre de 2005, la radiación solar promedio anual de El Salvador oscila entre los 4.20 kWh/m²/día y los 5.40 kWh/m²/día en el sector de la ciudad de San Salvador, lo cual muestra que en El Salvador la irradiación solar es moderada a alta (ver figura 9), si es comparado con el nivel de radiación solar en el desierto de Almería en España, en la cual se registran radiaciones de más de 5 kWh/m²/día según se muestra en la figura 10.

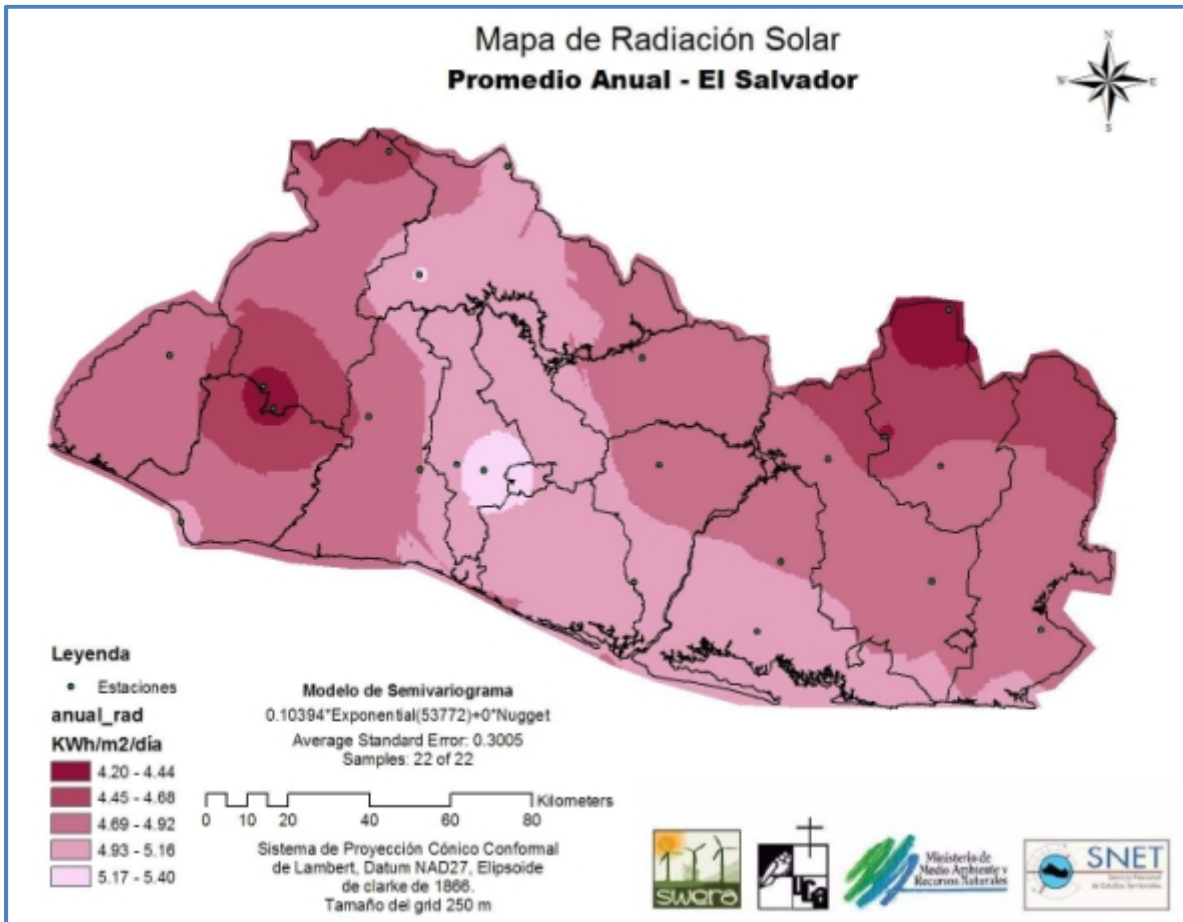


Figura 9. Radiación solar promedio anual - El Salvador [SWERA]

En el país de España se ha impulsado mucho los proyectos solares fotovoltaicos conectados a red, para el año 2011 contaban con una potencia solar instalada de 4.9 GW, con una irradiación solar similar a la de El Salvador.

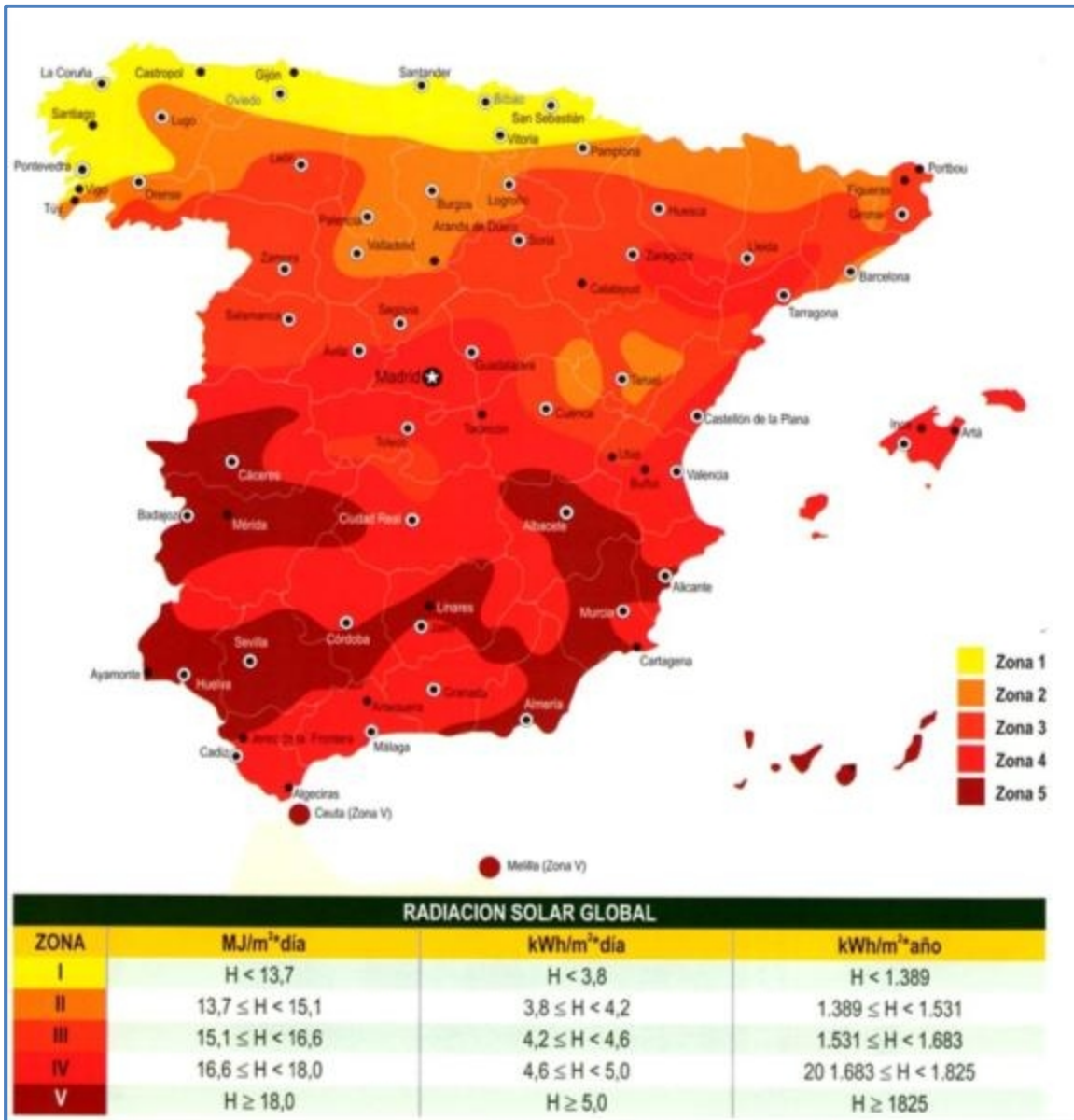


Figura 10 Nivel de radiación solar global de España [www.idae.es]

Proyectos fotovoltaicos conectados a red e instalados sobre el suelo en El Salvador

En cuanto a capacidad instalada de proyectos fotovoltaicos para generación de energía eléctrica, conectados a la red e instalados en suelo, El Salvador a la fecha, aún no cuenta con ningún proyecto desarrollado y en funcionamiento, sin embargo, de acuerdo al Plan Maestro para el Desarrollo de Energías Renovables elaborado por el Consejo Nacional de Energía (CNE) con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), publicado en marzo de 2012, la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, ha trabajado en el diseño para la instalación de aproximadamente 18 MW, se tiene el

supuesto que el plan de construcción será concluido en el año 2016; y complementando la información con la publicado en la página web de la autónoma, <http://www.cel.gob.sv/>, establecen que Los servicios de consultoría iniciaron en enero de 2011, habiéndose aprobado en septiembre de ese año el informe en que se establece la factibilidad técnica, financiera y económica para el desarrollo del proyecto de generación fotovoltaica en terrenos de las centrales hidroeléctricas 15 de Septiembre y Guajoyo. Se estimó una capacidad de generación de 14.2 MWp en la central 15 de Septiembre y 3.6 MWp en Guajoyo, totalizando 17.8 MWp la capacidad combinada del proyecto.

Con respecto a los proyectos fotovoltaicos, conectados a la red, de pequeña escala, se tiene una cantidad considerable de proyectos, tales como los que se mencionan dentro de la tabla 2. Proyectos fotovoltaicos, conectados a la red, desarrollados en El Salvador, la cual muestra la existencia de dos sistemas instalados en residencia, pero la mayoría se encuentra instalada en edificios gubernamentales, escuelas y universidades.

Tabla 2. Proyectos fotovoltaicos, conectados a la red, desarrollados en El Salvador

Aplicación	Ubicación	Capacidad (kW)
Sitio recreativo	Lago de Coatepeque, Santa Anta	1.63
Escuela Alemana	San Salvador	20.00
Granja ecológica Santo Domingo	Santo Tomás, San Salvador	2.48
Oficinas administrativas de CEL	San Salvador	24.57
Oficinas administrativas de FUNDE	San Salvador	2.17
Oficinas administrativas de SEESA	San Salvador	2.17
Residencia privada	San José Villanueva, La Libertad	2.02
Universidad de El Salvador	San Salvador	2.20
Supertienda San Carlos	San Rafael Cedros	6.00
Universidad Politécnica	San Salvador	0.7
Campamento base de EE.UU	La Paz	91.0 +9.0

[Fuente: Plan Maestro para el Desarrollo de Energías Renovables – El Salvador]

1. Determinación de potencial de radiación solar para el área de estudio

Saber cuál es el recurso solar es el primer paso para evaluar la producción anual de una planta solar fotovoltaica. Esto significa que es necesario conocer la irradiación solar incidente anual en el sitio seleccionado para el proyecto fotovoltaico.

Antes de iniciar con el detalle de la evaluación del recurso solar, resulta importante explicar qué es la irradiación solar y cuáles son las diferencias entre irradiación (H) e irradiancia (G). La irradiancia tiene unidades de vatios por metro cuadrado (W/m^2) de forma que la irradiancia es la densidad de potencia de luz del sol incidente, es decir, que la irradiancia no es sino potencia de luz de sol por metro cuadrado por lo que tiene que recalcarse el carácter instantáneo de la irradiancia. La irradiación tiene unidades de Wh/m^2 o kWh/m^2 : esto significa la energía recogida por metro cuadrado durante un intervalo de tiempo específico. Si el intervalo de tiempo considerado es un día o un año, se pueden utilizar los términos “irradiación diaria” o “irradiación anual”, normalmente se utilizan los valores medios mensuales o anuales de irradiación diaria ($H_{da}(0)$ y $H_{ma}(0)$, respectivamente)

Existen herramientas informáticas útiles para evaluar la irradiación de una superficie orientada e inclinada arbitrariamente para un terreno específico (determinado por la latitud y la longitud). La mayoría de estas herramientas de programa funcionan con una base de datos que se obtiene de dos formas: datos recopilados mediante mediciones del terreno y/o datos derivados de satélites. Normalmente, estas aplicaciones de programa tienen un motor de programa que permite evaluar la irradiación mediante complejos métodos de interpolación teniendo en cuenta los datos de varias estaciones meteorológicas y/u observaciones de satélites alrededor del lugar donde se encuentra ubicada la planta solar fotovoltaica. También existen algunas herramientas de programa en línea gratuitas para estimar la irradiación, como el sitio web de la NASA (<http://eosweb.larc.nasa.gov/see/>) facilita datos de irradiación en línea, pero en este caso los valores están disponibles para cualquier lugar del mundo con una resolución de 1° longitud por 1° latitud.

1.1 Recolección de datos

La Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) posee datos de estaciones meteorológicas telemétricas desde el año 2005 equipos marca SUTRON INC (USA) para medición solar global, temperatura, humedad, presión barométrica, velocidad y dirección del viento, precipitación. La radiación solar global es medida a través de un piranómetro de rango de 0 a $1,500 W/m^2$, resolución $1 W/m^2$ y exactitud de un 5% (para ver especificaciones técnicas de estación ver anexo XI).



Fotografía 1. 1 Estación Meteorológica UES, San Miguel.

En este caso, se gestionó con la institución la obtención de los datos históricos de las estaciones de El Pacayal y la estación UES ubicadas en el departamento de San Miguel, desde el año 2005 al 2008 y años 2010 y 2011, los cuales fueron proporcionados en formato excel para su tratamiento correspondiente.

Los datos de estaciones reflejan las mediciones de irradiación tomadas en un intervalo de tiempo de 15 minutos y 10 minutos en Estación El Pacayal y Estación UES San Miguel respectivamente, éstos debieron tener un tratamiento y ordenamiento previo a su utilización para eliminar datos que estuvieran fuera de rango de medición. (Ver figura siguiente.)

Id_Estacion	Fecha_Hora			[HR] Luz Solar (Hrs)	[SR] Radiacion Solar (W h/m2)
32	01/01/2010	06:00:00	a.m.	0	1
32	01/01/2010	06:10:00	a.m.	0	1
32	01/01/2010	06:20:00	a.m.	0	2
32	01/01/2010	06:30:00	a.m.	0	4
32	01/01/2010	06:40:00	a.m.	0	7
32	01/01/2010	06:50:00	a.m.	0	11
32	01/01/2010	07:00:00	a.m.	0	17
32	01/01/2010	07:10:00	a.m.	0	25
32	01/01/2010	07:20:00	a.m.	0	32
32	01/01/2010	07:30:00	a.m.	0	39
32	01/01/2010	07:40:00	a.m.	0.1	66
32	01/01/2010	07:50:00	a.m.	0.3	110
32	01/01/2010	08:00:00	a.m.	0.5	159
32	01/01/2010	08:10:00	a.m.	0.6	215
32	01/01/2010	08:20:00	a.m.	0.8	277
32	01/01/2010	08:30:00	a.m.	1	344
32	01/01/2010	08:40:00	a.m.	1.1	418
32	01/01/2010	08:50:00	a.m.	1.3	497
32	01/01/2010	09:00:00	a.m.	1.5	581
32	01/01/2010	09:10:00	a.m.	1.6	670
32	01/01/2010	09:20:00	a.m.	1.8	764
32	01/01/2010	09:30:00	a.m.	2	863
32	01/01/2010	09:40:00	a.m.	2.1	966
32	01/01/2010	09:50:00	a.m.	2.3	1073
32	01/01/2010	10:00:00	a.m.	2.5	1184
32	01/01/2010	10:10:00	a.m.	2.6	1299
32	01/01/2010	10:20:00	a.m.	2.8	1417
32	01/01/2010	10:30:00	a.m.	3	1538
32	01/01/2010	10:40:00	a.m.	3.1	1662
32	01/01/2010	10:50:00	a.m.	3.3	1789
32	01/01/2010	11:00:00	a.m.	3.5	1918
32	01/01/2010	11:10:00	a.m.	3.6	2049
32	01/01/2010	11:20:00	a.m.	3.8	2180
32	01/01/2010	11:30:00	a.m.	4	2314
32	01/01/2010	11:40:00	a.m.	4.1	2450
32	01/01/2010	11:50:00	a.m.	4.3	2587
32	01/01/2010	12:00:00	p.m.	4.5	2724
32	01/01/2010	12:10:00	p.m.	4.6	2861
32	01/01/2010	12:20:00	p.m.	4.8	2998
32	01/01/2010	12:30:00	p.m.	5	3133
32	01/01/2010	12:40:00	p.m.	5.1	3266
32	01/01/2010	12:50:00	p.m.	5.3	3397
32	01/01/2010	01:00:00	p.m.	5.5	3526
32	01/01/2010	01:10:00	p.m.	5.6	3652
32	01/01/2010	01:20:00	p.m.	5.8	3775
32	01/01/2010	01:30:00	p.m.	6	3896
32	01/01/2010	01:40:00	p.m.	6.1	4016
32	01/01/2010	01:50:00	p.m.	6.3	4130
32	01/01/2010	02:00:00	p.m.	6.5	4239
32	01/01/2010	02:10:00	p.m.	6.6	4344
32	01/01/2010	02:20:00	p.m.	6.8	4438
32	01/01/2010	02:30:00	p.m.	7	4535
32	01/01/2010	02:40:00	p.m.	7.1	4628
32	01/01/2010	02:50:00	p.m.	7.3	4712
32	01/01/2010	03:00:00	p.m.	7.5	4797

Figura 1. 1 Datos originales proporcionados por el MARN

1.2 Ordenamiento de Datos

Debido a que los datos proporcionados poseen errores de lectura y también saltos en tiempo, es decir, que la estación omite horas en algunos días, se debió realizar en Excel un archivo con cada día del mes con todas las horas del día, en intervalos de 10 minutos, de las 12:00 am a las 11:50 pm para colocar los datos correctamente, e identificar los datos faltantes tanto en horas como en días, también identificar los datos de lectura erróneos que la estación reportaba. Luego de esta depuración se procedió a la elaboración de un año promedio de irradiación obtenido de los años proporcionados como se muestra modo de ejemplo en la figura 1.2.

hora	día	mes	2005	2006	2007	2008	2010	2011	promedio
11:30	2	Enero	2021	2290	2127	2371	2156	2307	2212
11:40	2	Enero	2092	2423	2209	2506	2243	2443	2319
11:50	2	Enero	2152	2559	2297	2642	2358	2568	2429
12:00	2	Enero	2266	2679	2379	2778	2517	2678	2550
12:10	2	Enero	2315	2808	2443	2915	2661	2793	2656
12:20	2	Enero	2357	2929	2501	3050	2807	2898	2757
12:30	2	Enero	2427	3061	2578	3186	2950	2992	2866
12:40	2	Enero	2544	3194	2635	3320	3092	3046	2972
12:50	2	Enero	2616	3324	2707	3453	3238	3112	3075
13:00	2	Enero	2669	3452	2842	3584	3346	3183	3179
13:10	2	Enero	2778	3578	2972	3713	3481	3315	3306
13:20	2	Enero	2842	3702	3055	3839	3618	3449	3418
13:30	2	Enero	2898	3823	3097	3963	3721	3584	3514
13:40	2	Enero	2995	3940	3155	4083	3846	3709	3621
13:50	2	Enero	3118	4054	3207	4199	3974	3812	3727
14:00	2	Enero	3180	4164	3296	4312	4097	3928	3830
14:10	2	Enero	3242	4271	3413	4421	4160	4036	3924
14:20	2	Enero	3294	4374	3507	4525	4268	4058	4004
14:30	2	Enero	3410	4472	3565	4625	4328	4079	4080
14:40	2	Enero	3487	4565	3665	4720	4380	4105	4154
14:50	2	Enero	3522	4653	3761	4811	4433	4195	4229
15:00	2	Enero	3626	4737	3839	4896	4477	4266	4307
15:10	2	Enero	3681	4816	3868	4976	4533	4341	4369
15:20	2	Enero	3708	4890	3910	5052	4583	4411	4426
15:30	2	Enero	3776	4957	3961	5121	4652	4474	4490
15:40	2	Enero	3847	5018	3986	5186	4706	4533	4546
15:50	2	Enero	3884	5074	4011	5244	4729	4587	4588
16:00	2	Enero	3930	5123	4068	5296	4738	4636	4632

Figura 1. 2 Elaboración de año promedio utilizando los datos por año de la estación meteorológica

Una vez obtenido el año promedio se procedió a colocar la medida de irradiación, por intervalo de tiempo, ya que los datos reportados por la estación son datos acumulados de radiación solar.

Con ello se logro tener los datos de irradiación en intervalos de 10 minutos, como se muestra a continuación.

	A	B	C	D	N	O	R
2	concatenar	hora	día	mes	Promedio	Irradianción (H) Wh/m^2	
217	20.486111111111111	11:40	2	Enero	2319	107	
218	20.493055555555556	11:50	2	Enero	2429	110	
219	20.5	12:00	2	Enero	2550	=SI(N219-N218<0, (0),(N219-N218))	
220	20.506944444444444	12:10	2	Enero	2656	SI(prueba_lógica, [valor_si_verdadero], [valor_si_falso])	
221	20.513888888888889	12:20	2	Enero	2757	101	
222	20.520833333333333	12:30	2	Enero	2866	109	
223	20.527777777777778	12:40	2	Enero	2972	106	
224	20.534722222222222	12:50	2	Enero	3075	103	
225	20.541666666666667	13:00	2	Enero	3179	104	
226	20.548611111111111	13:10	2	Enero	3306	127	
227	20.555555555555556	13:20	2	Enero	3418	111	
228	20.5625	13:30	2	Enero	3514	97	
229	20.569444444444444	13:40	2	Enero	3621	107	
230	20.576388888888889	13:50	2	Enero	3727	106	
231	20.583333333333333	14:00	2	Enero	3830	102	
232	20.590277777777778	14:10	2	Enero	3924	94	
233	20.597222222222222	14:20	2	Enero	4004	81	

Figura 1. 3 Medición de irradiación en intervalos de 10 minutos

Finalmente se obtuvo la irradiancia por cada intervalo de tiempo dividiendo la irradiación entre los 10 minutos equivalentes en horas como se muestra en la siguiente figura:

	A	B	C	D	N	O	Q	R	S	T
2	concatenar	hora	día	mes	Promedio	Irradiancia (H) Wh/m^2	Irradiación (G) W/m^2			
3	10	00:00	1	Enero	0	0	0			
4	10.006944444444444	00:10	1	Enero	0	0	0	Intervalo de tiempo de medición	10 minutos	
5	10.013888888888889	00:20	1	Enero	0	0	0		0.167 horas	
214	20.465277777777778	11:10	2	Enero	1994	109	656			
215	20.472222222222222	11:20	2	Enero	2102	108	649			
216	20.479166666666667	11:30	2	Enero	2212	110	660			
217	20.486111111111111	11:40	2	Enero	2319	107	644			
218	20.493055555555556	11:50	2	Enero	2429	110	660			
219	20.5	12:00	2	Enero	2550	120	=+0219/\$555			
220	20.506944444444444	12:10	2	Enero	2656	106	638			
221	20.513888888888889	12:20	2	Enero	2757	101	607			
222	20.520833333333333	12:30	2	Enero	2866	109	652			
223	20.527777777777778	12:40	2	Enero	2972	106	637			
224	20.534722222222222	12:50	2	Enero	3075	103	619			
225	20.541666666666667	13:00	2	Enero	3179	104	626			
226	20.548611111111111	13:10	2	Enero	3306	127	761			
227	20.555555555555556	13:20	2	Enero	3418	111	668			
228	20.5625	13:30	2	Enero	3514	97	581			
229	20.569444444444444	13:40	2	Enero	3621	107	642			

Figura 1. 4 Medición de irradiancia por intervalo de tiempo

1.3 Procesamiento de datos:

Luego de esta depuración, ordenamiento y tratamiento de aproximadamente 500.000 datos de lecturas de las estaciones UES y el Pacayal, se obtuvo el promedio de energía diaria (Irradiación diaria). Los valores mensuales del año promedio son los siguientes.

Tabla 1. 1 Irradiación mensual promedio

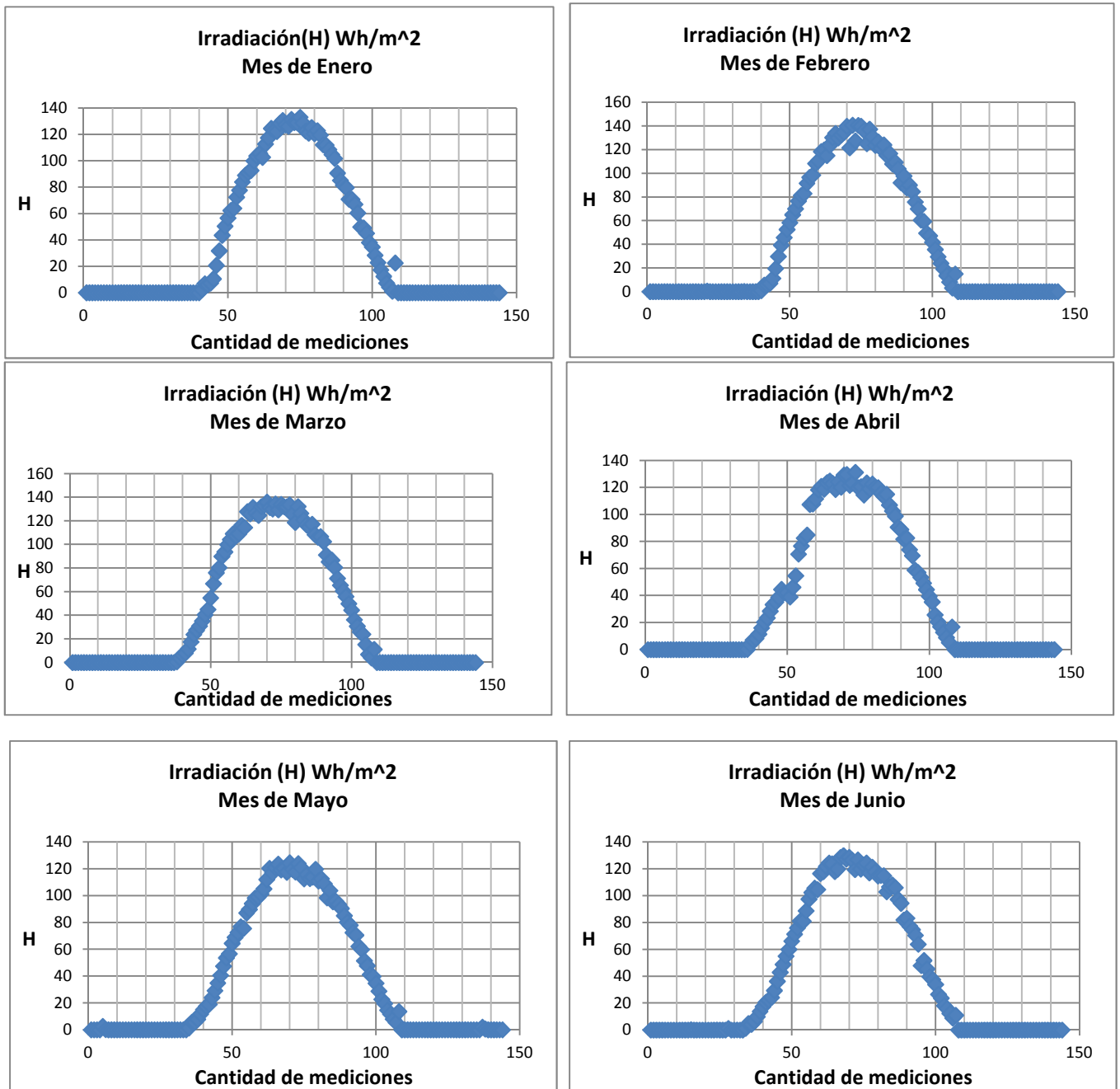
ESTACIÓN METEOROLÓGICA UES		ESTACIÓN METEOROLÓGICA EL PACAYAL	
Energía Promedio/m²/ día		Energía Promedio/m²/ día	
<i>MES</i>	<i>Wh/m²/día</i>	<i>MES</i>	<i>Wh/m²/día</i>
ENERO	5214	ENERO	4183
FEBRERO	4929	FEBRERO	4785
MARZO	4773	MARZO	5737
ABRIL	4411	ABRIL	4784
MAYO	4601	MAYO	4068
JUNIO	4738	JUNIO	3806
JULIO	4767	JULIO	6474
AGOSTO	4372	AGOSTO	5083
SEPTIEMBRE	4766	SEPTIEMBRE	4375
OCTUBRE	4801	OCTUBRE	4259
NOVIEMBRE	4729	NOVIEMBRE	4406
DICIEMBRE	5013	DICIEMBRE	4265
AÑO PROMEDIO (kWh/m²/día)	4.760	AÑO PROMEDIO (kWh/m²/día)	4.685

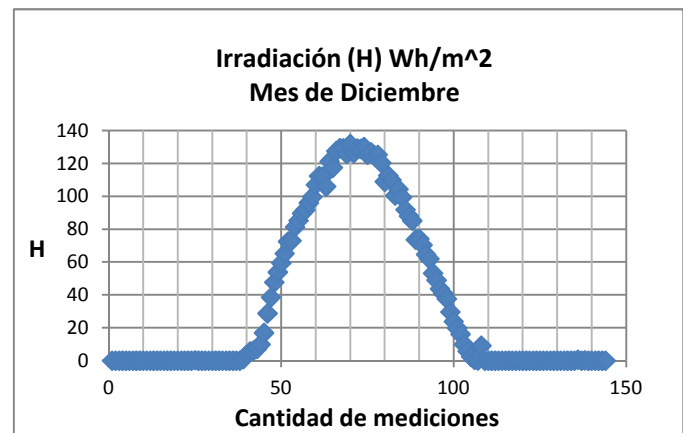
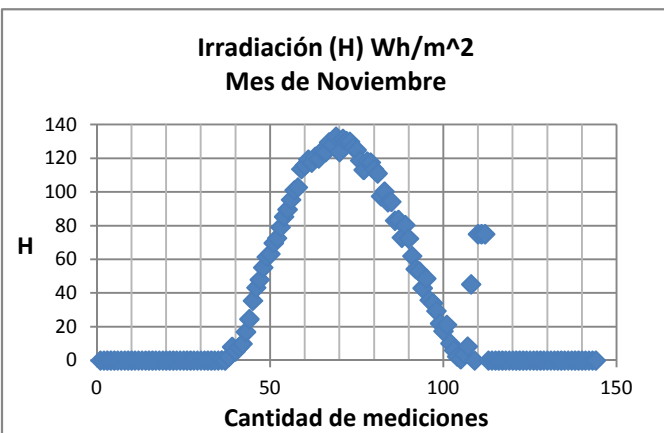
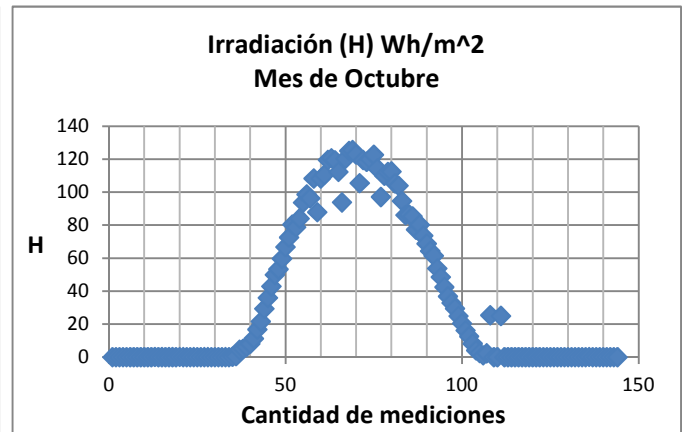
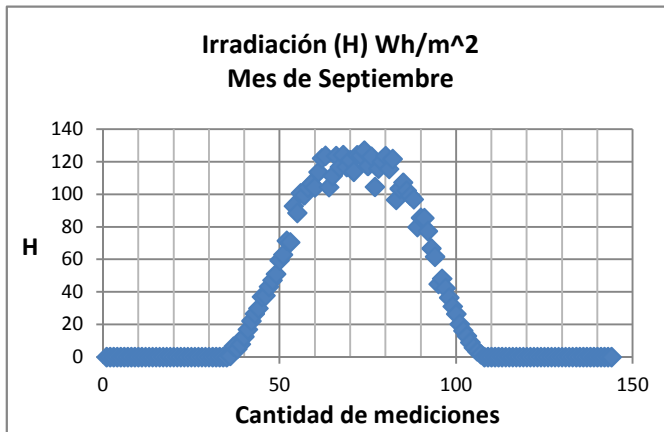
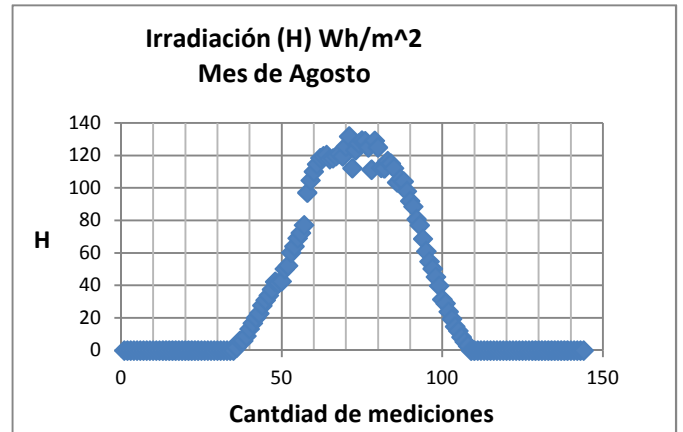
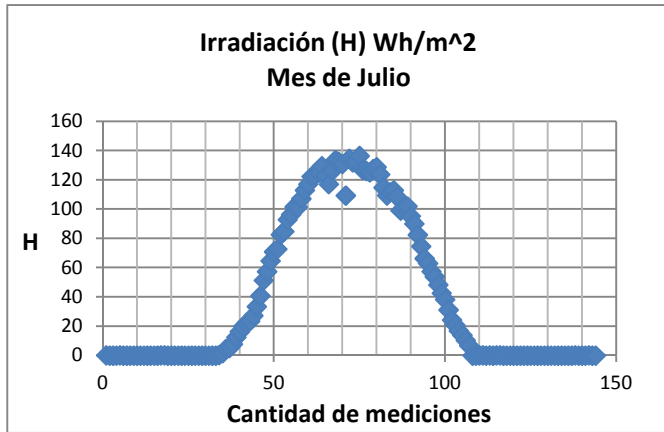
De los datos de la tabla 1.1 se tomarán las mediciones mensuales de la estación meteorológica UES, ya que dicha estación presentó menos errores de lectura, además, con dicha estación se obtiene un escenario más favorable de irradiación. Dichos datos se utilizarán como insumos dentro de la simulación para el cálculo de la potencia eléctrica a generar por el campo fotovoltaico en el programa PVSyst.

Se ha realizado otro estudio en el departamento de San Miguel, que indica que la energía promedio anual, se encuentra por encima de 5.5 kWh/m²/día, dicho estudio está

basado en datos satelitales, corregidos mediante correlaciones empíricas para evaluar condiciones atmosféricas tales como nubosidad u otros contaminantes de la zona, el cual fue elaborado por la empresa 3TIER en 2009, con un $\pm 5\%$ de error, valor que representa un 14% adicional a las mediciones que se muestran en la tabla 1.1; lo cual demuestra que los datos a utilizar en esta prefactibilidad son conservadores.

Posteriormente se procedió con el ordenamiento de cada mes del año para obtener un día promedio de éste, y de esta forma graficar la irradiación promedio del mes, la cuales se muestran a continuación.





El área bajo la curva de cada gráfico representa la cantidad de energía recibida sobre la superficie de la tierra, su magnitud está indicada en la tabla 1.1.

La irradiación total mostrada en la tabla 1.1 fue empleada como variable de entrada para realizar el cálculo de la producción de la energía eléctrica del campo fotovoltaico.

2. Reconocimiento y Selección del terreno para el proyecto fotovoltaico

2.1 Sitios propuestos para conexión eléctrica-

Las visitas de campo en terrenos probables para la implementación del proyecto, fue necesario investigar a través del sistema de información geográfica (GIS) de la distribuidora, donde se encuentran las subestaciones eléctricas y líneas de distribución, identificando en ellas el nivel de voltaje y capacidad para evacuar potencia; de acuerdo a esta información se establece los puntos más cercanos y favorables de terrenos disponibles respecto a los puntos más cercanos donde se ubica la subestación. Al mismo tiempo mediante la información publicada en la página del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) se ubicaron geográficamente las estaciones meteorológicas existentes en el departamento de San Miguel, y con esta información se seleccionó los puntos más propicios para el proyecto, en este caso se seleccionaron los municipios de Chapeltique y el Delirio.



Figura 2. 1Puntos de estaciones meteorológicas en el departamento de San Miguel

Tabla 2. 1 Características eléctricas de los puntos de conexión en los municipios seleccionados

Municipio	sistema	Identificación	conductor	# Hilos	Capacidad	Punto de referencia
Chapeltique	13.2 kV	307-1-43	2-ACSR	2	160 A	T-25816
Delirio	46 kV	34-4-85	4/0-ACSR	3	357 A	C32681



Figura 2. 2 Punto de subestación y terreno en Chapeltique



Figura 2. 3 Punto de conexión cerca de terrenos posibles en El Delirio

2.2 Selección de terrenos

Definidos los puntos posibles de conexión y las coordenadas de las estaciones meteorológicas, se procedió con la selección de sitios con potencial próximos a las subestaciones y que además tuviesen topografía plana. Para este análisis preliminar se analizaron imágenes de satélite tomadas de Google Earth.



Figura 2. 4 Puntos de visita

Se realizaron 5 sitios los cuales fueron inspeccionados en la visita de campo realizada en el departamento de San Miguel y el objetivo principal fue la selección del

terreno adecuado para el desarrollo del proyecto. Los sitios seleccionados se mencionan a continuación:

El Delirio 1:

Este terreno se encuentra en el mismo lugar que la estación meteorológica UES donde han sido medidos los datos de radiación solar; cuenta con área disponible de aproximadamente 13 hectáreas; es un terreno bastante plano y se observa que es utilizado para cultivos secundarios ya que presenta poca vegetación y sombreado. Las zonas aledañas con potencial industrial, desarrollo de instituciones académicas y con excelente acceso a red vial principal y pavimentada (Carretera RN 17), así como excelente conexión eléctrica, ya que frente al terreno pasa tendido eléctrico de 46kV características convenientes para conexión.



Figura 2. 5 Planta y Perfil Delirio 1



Fotografía 2. 1 Terreno visitado Delirio 1



Fotografía 2. 2



Fotografía 2. 3

Conexión a Red en Delirio 1

El Delirio 2:

Este terreno cuenta con área disponible de 14 hectáreas, con pendiente poco pronunciada, se observa que está destinado a cultivos secundarios y poca vegetación y sombreado; zonas aledañas con potencial industrial, acceso a red vial principal y pavimentada (Carretera RN 17), entre sus deficiencias se encuentran que la línea eléctrica próxima al terreno es de distribución a 13kV por lo que no se puede conectar a ella, ya que es tipo monofásica y el conductor de la línea no tendría la capacidad para poder soportar la potencia a inyectarse en la red (ver tabla 2.1 características eléctricas de los puntos de conexión en los municipios seleccionados), además de que el terreno se encuentra en una zona inundable, ya que el nivel de éste está por debajo del nivel de la carretera.

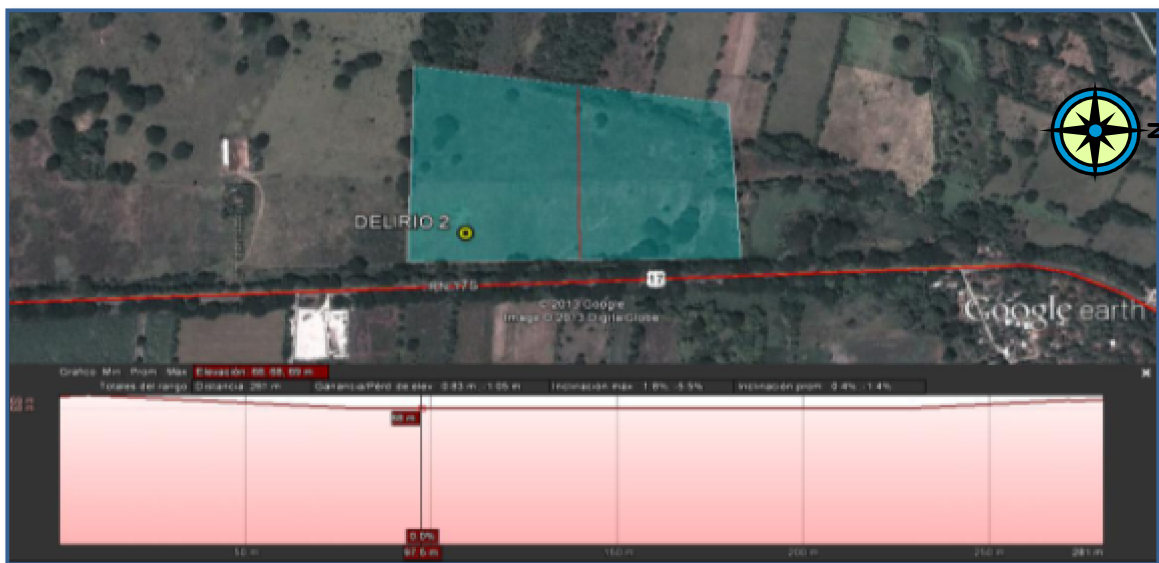


Figura 2. 6 Planta y Perfil de Delirio 2



Fotografía 2. 4 Terreno visitado Delirio 2



Fotografía 2. 5 Línea de red eléctrica en el Delirio 2

El Delirio 3:

Este terreno cuenta con área disponible de 15 hectáreas, pero se identifica bastante parcelado, lo que indica que son varios propietarios del potencial terreno. Su pendiente es moderada; Se presume que son terrenos ociosos, poca vegetación y sombreado con zonas aledañas polvorientas ya que se encuentra una cantera a un costado de los terrenos; tiene acceso a red vial principal y pavimentada (Carretera RN 17), entre sus deficiencias se encuentran que la línea eléctrica próxima al terreno es una línea monofásica de distribución por lo que no se puede conectar a ella, la existencia de una cantera tan próxima indica la excesiva generación de polvo, desventaja para los módulos fotovoltaicos.

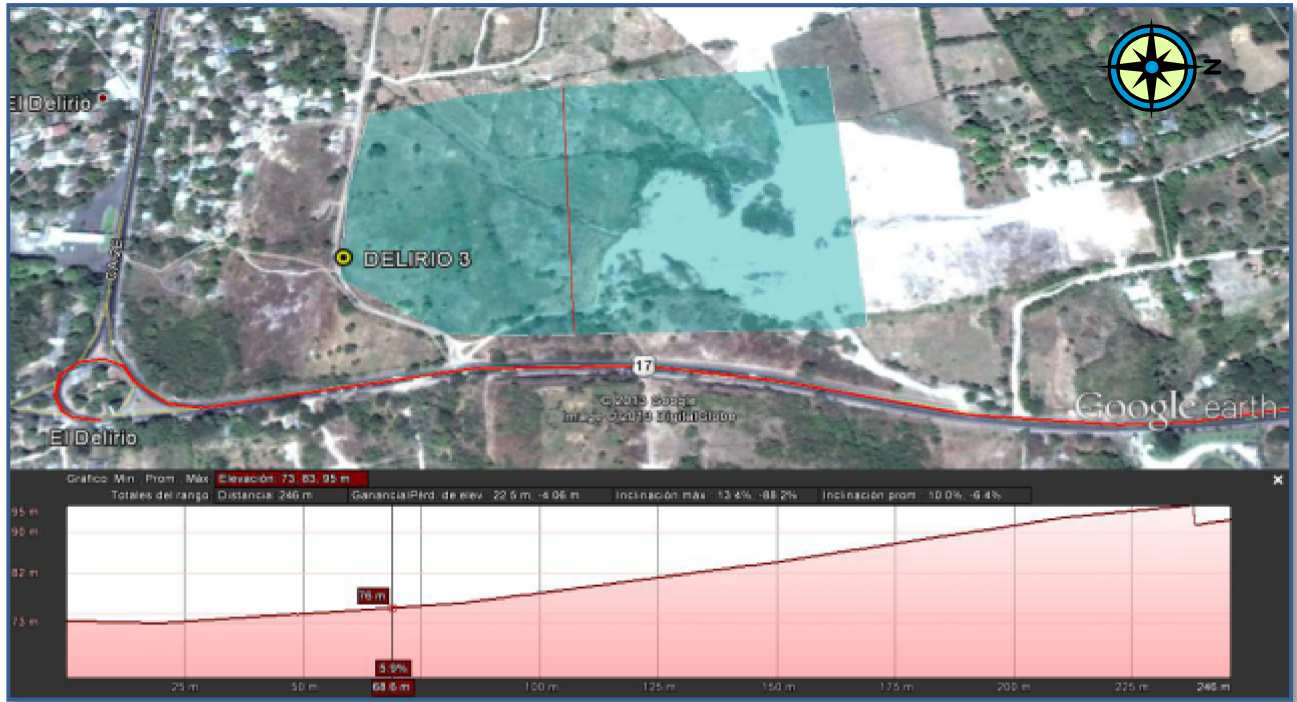


Figura 2. 7 Plano y perfil de Delirio 3



Fotografía 2. 6



Fotografía 2. 7

Terreno visitado el Delirio 3

Chapeltique 1:

Este terreno cuenta con área disponible de 10 hectáreas; su pendiente puede considerarse moderada a elevada. Se observó que son terrenos ociosos con poca vegetación y sombreado, con zonas aledañas habitadas, no susceptible a amenazas naturales; el acceso a red vial secundaria adoquinada.

Entre sus deficiencias se encuentran que la línea eléctrica próxima al terreno es una línea monofásica de distribución por lo que no se puede conectar a ella, requiriendo de la construcción de una línea de conexión hasta subestación más cercana. Por otro lado la pendiente obliga a obras de terracería.

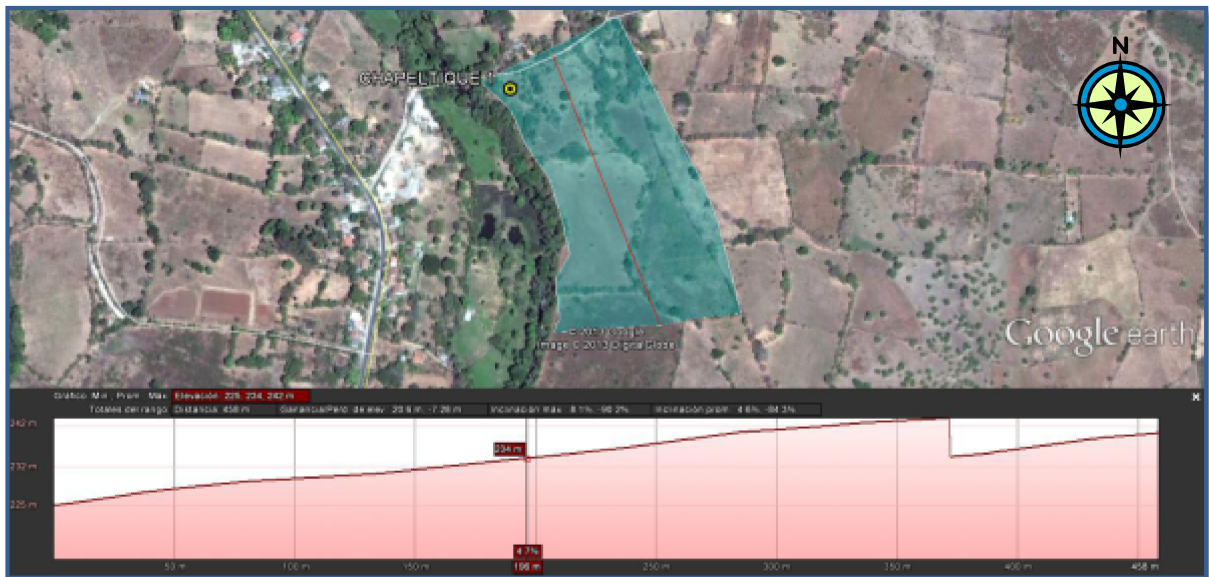


Figura 2. 8 Plano y Perfil Chapeltique 1



Fotografía 2. 8 Terreno visitado Chapeltique 1



Fotografía 2. 9 Acceso red vial Chapeltique 1

Chapeltique 2:

Este terreno cuenta con un área disponible de 10.5 hectáreas, se observó su pendiente bastante plana, y que se utiliza para cultivos secundarios, tienen poca vegetación y sombreado, las zonas aledañas con potencial industrial y desarrollo comercial, excelente acceso a red vial principal y pavimentada pero con conexión eléctrica monofásica de distribución cercana, lo que supone la necesidad de construcción de línea de conexión hasta subestación más cercana de Chapeltique.

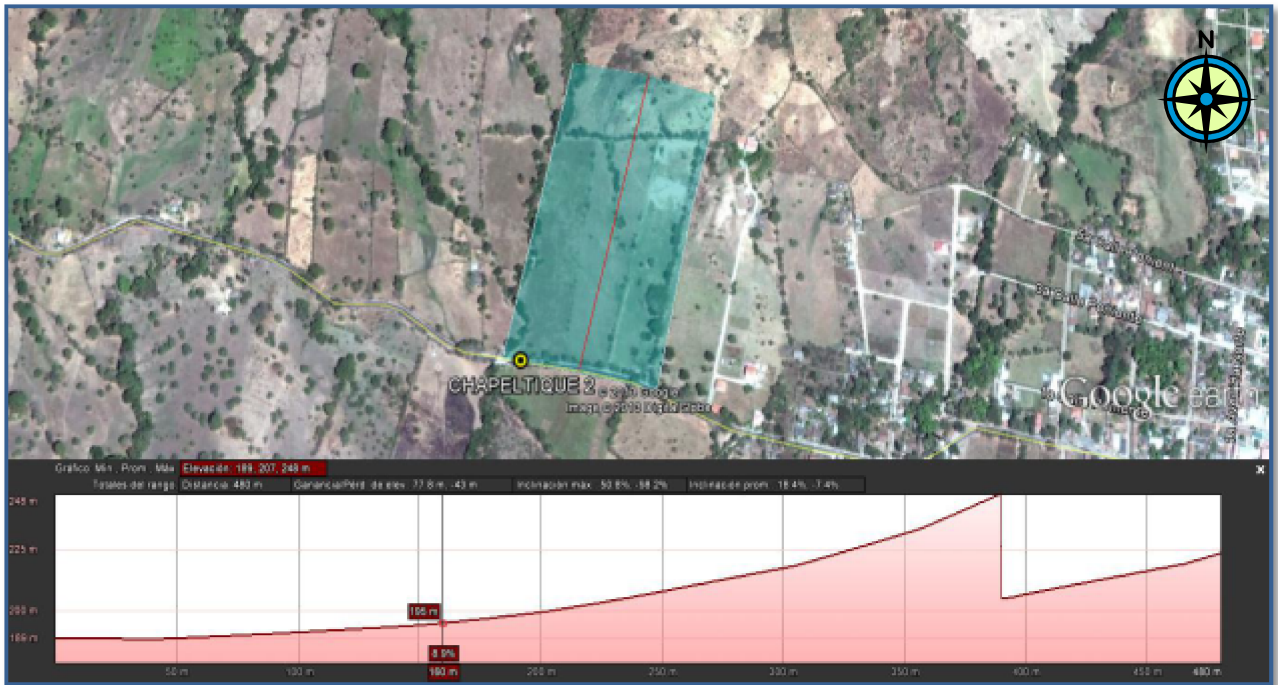


Figura 2. 9 Plano y perfil Chapeltique 2



Fotografía 2. 10



Fotografía 2. 11

Terreno visitado Chapeltique 2



Fotografía 2. 12 Acceso red vial Chapeltique 2

Para la selección del terreno donde se proyecta la instalación del campo fotovoltaico, se tomó en cuenta las consideraciones siguientes:

1. Superficie disponible del terreno: extensión de terreno y topografía del mismo: En cuanto a superficies, las mejores son las que presentan inclinación menor o igual que 15%, dado que inclinaciones mayores dificulta la instalación de módulos fotovoltaicos estáticos.
 - Deben evitarse los terrenos con superficies destinadas a un uso de producción agrícola, áreas naturales o protegidas, orientando la instalación de estos proyectos en terrenos ociosos para la revalorización de éstos.
 - Deben evitarse los extremadamente sombreados (por árboles o estructuras cercanas); sin embargo, las pérdidas de energía causadas por un pequeño sombreado en la salida y en la puesta de sol en invierno son insignificantes, en este caso, el terreno debería aceptarse.

- El rendimiento de conversión de luz a electricidad de los módulos fotovoltaicos se benefician del enfriamiento mediante convección forzada por medio del viento, así que en el caso de módulos fotovoltaicos estáticos, las zonas de viento moderadas favorecen la producción eléctrica; sin embargo, el polvo puede restar hasta un 20% de producción de electricidad por lo que deben evitarse los terrenos polvorientos o zonas circundantes donde se cultiven productos como la caña ya que durante la quema de la misma se produce mucho ceniza y otros materiales particulados.
 - Un suelo con una consistencia rocosa, arenosa o inundable no son recomendables para ningún tipo de instalación de módulos fotovoltaicos, también, los terrenos que presenten riesgos de actividad geológica o hidrológica deben rechazarse.
 - Los suelos húmedos o anegados no representan un obstáculo para las plantas solares.
2. Disponibilidad de información de irradiación solar (medición en el sitio mediante estación meteorológica o de un lugar más cercano al sitio).
 3. Acceso vial: Un fácil acceso a la red vial, facilitará el transporte de todo el material necesario que se utilizará en la planta fotovoltaica, así como también, por las tareas de explotación y mantenimiento que tendrán que llevarse a cabo durante toda la vida útil de la planta solar.
 4. Punto de conexión eléctrica: El acceso a un punto de conexión a la red eléctrica es de suma importancia y se deberá tener en cuenta lo siguiente:
 - Distancia y características de potencia y tensión respecto de transformador más cercano.

Mediante estos parámetros se construyó la siguiente tabla de calificación de terrenos verificados durante visita de campo (Ver tabla 2.3).

Calificación de aspectos técnicos tomados en consideración para la selección del terreno

- 1- REGULAR
- 2- BUENO
- 3- MUY BUENO

2.2 Metodología de calificación:

Tomando en cuenta que los parámetros evaluados son 10 (Ver tabla 2.4), y que la calificación máxima es 3, el puntaje mayor a que se totalizará será de 30 puntos; por lo que el total del puntaje que cada uno de los terrenos logre de acuerdo a la calificación por parámetro, se determinará de acuerdo a lo siguiente:

Tabla 2. 2 Rangos de clasificación del terreno

Puntaje total	Clasificación del Terreno
10 a 15 puntos	Mal terreno
15 a 20 puntos	Terreno Regular
21 a 25 puntos	Terreno Bueno
25 a 30 puntos	Terreno Muy Bueno

Tabla 2. 3 Descripción de parámetros de evaluación.

<u>Parámetros de evaluación</u>	<u>Puntaje de calificación</u>		
	1	2	3
Cantidad de irradiancia	Mayor de 400 W/m2 medidos con estación meteorológica situada a más de 5 Km del terreno.	Mayor de 400 W/m2 medidos con estación meteorológica situada a 1 Km del terreno.	Mayor de 400 W/m2 medidos con estación meteorológica situada en el terreno.
Área disponible	Si no se observa disponibilidad de terrenos, o numerosos propietarios de un área pequeña.	Terrenos inhabitados con varios o un propietario con tierras poco explotadas.	Terrenos inhabitados con varios o un propietario con tierras poco explotadas y acceso a servidumbres para instalaciones eléctricas.
Tipo de suelo	Suelos con necesidad de cimentaciones profundas.	Suelos con necesidad de restitución de capas.	Suelos con cimentaciones superficiales.
Pendiente	Más del 15% de pendiente en la inclinación del terreno y necesidad de obras de terracería.	Del 10 al 15% de pendiente en la inclinación del terreno.	Terrenos con un máximo de 5% de pendiente en la inclinación del terreno.
Uso de suelo	Agrícola, reservas naturales, áreas boscosas, áreas restringidas.	Cultivos secundarios y habitados. Terrenos orientados a uso industrial sin necesidad de reubicación de habitantes.	Terrenos ociosos sin potencial de uso agrícola.

<u>Parámetros de evaluación</u>	<u>Puntaje de calificación</u>		
	1	2	3
Amenazas naturales, susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones	Terrenos con actividad geológica o hidrológica. (Cárcavas, movimientos de suelo, cuerpos de agua cercanos y desbordables, etc.)	Terrenos con cercanía a cuerpos de agua y poco propensos a derrumbes y deslizamientos, con necesidad de obras de protección.	Terrenos sin cercanía a cuerpos de agua y escasamente propensos a derrumbes y deslizamientos.
Zonas circundantes del terreno	Terrenos polvorientos como canteras, industria con altas emisiones atmosféricas, zonas altamente cultivables. Estructuras generadoras de sombras al terreno.	Industria, habitacional, agrícola.	Terrenos baldíos, zonas con poca actividad agrícola y terrenos habitados con estructuras existentes sin proyección de sobras.
Acceso a la conexión de red eléctrica.	Sin conexión, construcción de línea de conexión para inyectar a red a subestación remota.	Construcción de línea de conexión para inyectar a red. Mayor de 500 m.	Sin construcción de línea de conexión, inyección en lugar de planta solar.
Acceso a red vial	Sin acceso a red vial pavimentada y principal.	Con acceso a red vial secundaria y no pavimentada.	Con acceso a red vial principal y pavimentada.
Vegetación existente	áreas boscosas con árboles de follajes espesos y perennes, con especies en peligro de extinción ó protegidas	Terrenos con densidad moderada de vegetación y árboles con follajes espesos.	Terrenos con escasa vegetación y predominación de arbustos.
Árboles existentes en el área.	Especificar especies de árboles existentes en el área a utilizar (Sin calificación)	Especificar especies de árboles existentes en el área a utilizar (Sin calificación)	Especificar especies de árboles existentes en el área a utilizar (Sin calificación)

2.3 Terreno seleccionado

Luego de la evaluación realizada en las visitas de campo y la metodología aplicada para la evaluación de cada uno de los terrenos, el Delirio 1 es el terreno con el puntaje más elevado (Ver tabla 2.4 Evaluación técnica de terrenos visitados) y el que se clasifica como terreno muy bueno para el proyecto propuesto en este trabajo dado que cuenta con área disponible suficiente, es un terreno bastante plano y utilizado para cultivos secundarios con poca vegetación y sombreado y con excelente acceso a red vial principal y pavimentada, así como excelente conexión eléctrica a tendido eléctrico de 46kV.



Fotografía 2. 13 Terreno seleccionado Delirio 1, San Miguel

Tabla 2. 4 Evaluación técnica de terrenos visitados

Generalidades del Terreno			Parámetros de evaluación										
Terreno visitados Departamento de San Miguel	Municipio	Coordenadas (longitud, latitud)	Cantidad de irradiancia	Área disponible	Tipo de suelo	Pendiente	Uso de suelo	Amenazas naturales, susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones	Vegetación existente	Zonas circundantes del terreno	Acceso a la conexión de red eléctrica.	Acceso a red vial	Total de puntaje
El Delirio 1	El Delirio	13.432179° -88.156176°	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	28
El Delirio 2	El Delirio	13.363588° -88.147444°	2	2	2	2	2	1	3	2	2	3	21
El Delirio 3	El Delirio	13.334659 -88.148372°	1	2	2	2	2	2	3	1	2	2	19
Chapeltique 1	Chapeltique	13.653036° -88.257726°	2	2	3	2	2	2	3	2	1	2	21
Chapeltique 2	Chapeltique	13.637728° -88.273391°	2	2	2	2	2	2	2	2	1	3	20

Excepciones: Los terrenos que se encuentran en zonas inundables y con cercanía a deslizamientos eminentes, así como los terrenos que pertenezcan a áreas protegidas son inmediatamente descartables debido al impedimento para utilizarlos para este tipo de proyectos

3. Marco legal

3.1 Regulación sector eléctrico El Salvador

En El Salvador el órgano rector del Sector Eléctrico estaba bajo la responsabilidad del Ministerio de Economía - MINEC, mediante la unidad administrativa de la Dirección de Energía Eléctrica, como parte del seguimiento de la rectoría y reformas impulsadas en el sector, en el año 2007, se creó el Consejo Nacional de Energía- CNE, con el fin de que se establecieran los lineamientos, políticas y estrategias que promovieran el desarrollo eficiente del sector energético, mediante la Dirección de Energía Renovable, la cual tiene a su cargo todos los aspectos referidos al desarrollo de proyectos que utilizan tecnologías renovables, como también su promoción, consulta, coordinación y seguimiento.

La regulación del sector eléctrico está a cargo de la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones –SIGET, la cual es la encargada de aplicar las normas contenidas en los tratados internacionales, leyes y reglamentos que rigen al sector eléctrico. La SIGET vigila el cumplimiento de las disposiciones de la Ley General de Electricidad- LGE.

La LGE y su Reglamento, es la base legal en lo relacionado a electricidad, estos fueron creados para normar las actividades referentes a la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en El Salvador.

Las medidas establecidas dentro de esta ley, buscan tomar en cuenta, entre otros, los siguientes objetivos: (i) Desarrollo de un mercado competitivo en las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica y (ii) Libre acceso de las entidades generadoras a las instalaciones de transmisión y distribución, sin más limitaciones que las señaladas por la ley.

Otros puntos relevantes abordados dentro de la LGE son:

- La Unidad de Transacciones - UT, es la responsable de la operación del Mercado Mayorista de electricidad en El Salvador, del sistema de transmisión y su despacho, asimismo, de mantener la seguridad del sistema y asegurar la calidad mínima de los servicios y suministros.
- El Mercado Mayorista estará compuesto como mínimo por el Mercado de Contratos y por el Mercado Regulador del Sistema- MRS. La UT operará el MRS y usará el Mercado de Contratos para su despacho programado.

Además, es importante destacar que la Empresa Transmisora de El Salvador - ETESAL, es la encargada de dar el mantenimiento a la red de transmisión, así como las empresas distribuidoras realizan la administración de sus redes. ETESAL y las empresas distribuidoras, deberán informar a la SIGET todos los aspectos técnicos de operación.

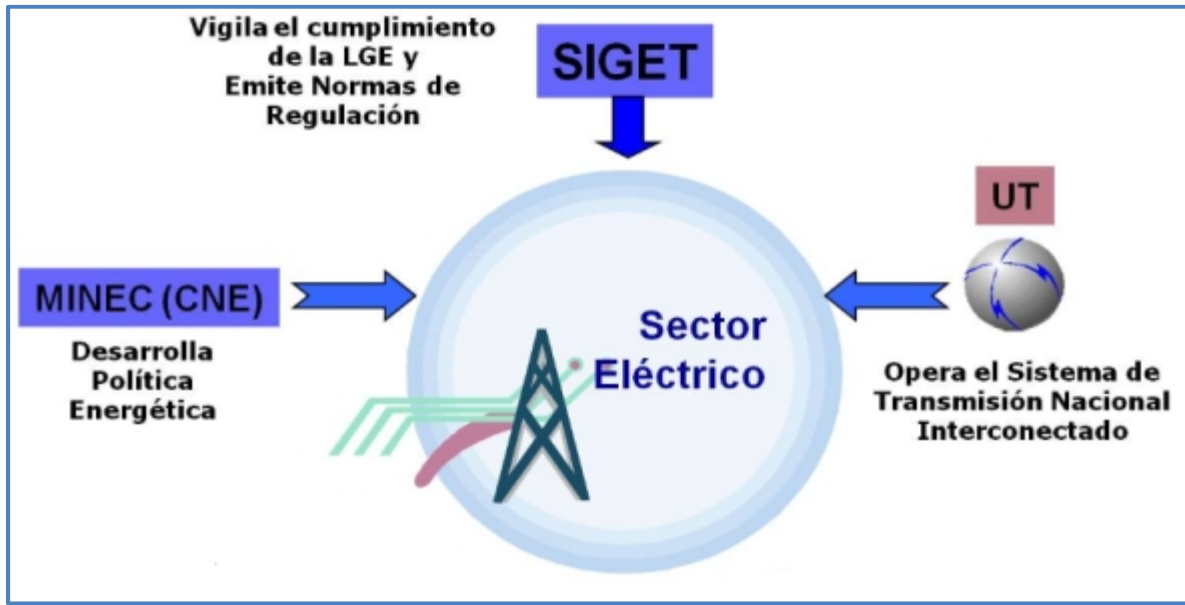


Figura 3. 1 Sector Eléctrico El Salvador [www.ut.com.sv]

El CNE, como ente encargado de la creación de políticas, presenta la nueva Política Energética Nacional (2010-2024), la cual pretende constituir una nueva configuración en el escenario energético, que facilite la ampliación de la cobertura energética, asimismo, reducir la dependencia energética del petróleo y sus productos derivados, fomentando las fuentes renovables, por lo que se plantea las siguientes líneas estratégicas, entre otras:

- Diversificación de la matriz energética fundamentada en el desarrollo sostenible y fomento a las fuentes renovables de energía.
- Ampliación de cobertura y tarifas sociales preferentes.

Para efectos de impulsar el fomento del uso de energías renovables, en el año 2012 se realizaron modificaciones al marco regulatorio, las cuales consistieron en:

- Reforma el artículo 67 del Reglamento de la LGE en el que se establece que *“Las centrales de generación de fuente renovable no convencional, tales como biomasa, eólica, solar y otras, tienen prioridad de despacho, para cuyos efectos se les considerará con costo variable de operación igual a cero, salvo las excepciones que para su efecto se establezcan en el Reglamento de Operación del Sistema de Transmisión y del Mercado Mayorista basados en costos de operación.”*
- 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, donde se menciona: *“...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...”

Además de la creación de las Normas sobre procesos de libre competencia para contratos de largo plazo respaldados con generación distribuida renovable, la cual regula el desarrollo de los procesos de libre competencia para la contratación de energía eléctrica cuya generación cumpla con las características establecidas en el artículo 86-B inciso segundo del Reglamento de la LGE, tales como:

- Conectada en la red de distribución eléctrica.
- Basada en fuentes renovables.
- Con una capacidad instalada de hasta un máximo de 20 MW.

Con lo que se busca implementar el porcentaje objetivo de participación de energías renovables en el suministro de las distribuidoras de electricidad.

También se cuenta con la creación de la Ley de incentivos fiscales para el fomento de las energías renovables en la generación de electricidad y su Reglamento, y la Normativa técnica para caracterizar los proyectos que aprovechan las fuentes renovables en la generación de energía eléctrica, los cuales regulan los incentivos fiscales a proyectos de instalación de centrales de generación de energía eléctrica que cumplan lo siguiente:

- Proyectos a partir de recursos hidráulicos, geotérmicos, eólicos, solares y de biomasa.
- Exención durante 10 años de derechos arancelarios de importación de maquinaria, equipo, materiales e insumos para las etapas de pre-inversión e inversión en la construcción de las centrales eléctricas, incluyendo las líneas de subtransmisión necesarias para transportar la energía hasta las redes de transmisión necesarias para transportar la energía hasta las redes de transmisión o distribución, a proyectos de hasta 20 MW.
- Exención durante 10 años del pago del Impuesto sobre la Renta para proyectos de hasta 10 MW. En el caso de proyectos entre 10 y 20 MW la exención será por un período de 5 años.
- Exención total del pago de todo tipo de impuestos sobre los ingresos provenientes directamente de la venta de las Reducciones Certificadas de Emisiones- CER's, en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio –MDL.

En la tabla 3.1 se presenta una recopilación de leyes y normativas que deberán tomarse en cuenta para el desarrollo de un proyecto de generación de energía eléctrica que aprovechen recursos renovables.

Tabla 3. 1. Normativa, legislación y documentos relacionados al sector eléctrico

Documentos	Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ley General de Electricidad –LGE. <i>Decreto Legislativo No 843, 1996</i> ▪ Reglamento de la LGE. <i>Decreto Ejecutivo No 70, 1997</i> 	<p>Regular las actividades referentes a la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en El Salvador.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ley creación de SIGET <i>Decreto Legislativo No 808, 1996</i> ▪ Reglamento de la ley de creación de la superintendencia general de electricidad y telecomunicaciones. <i>Decreto Ejecutivo No 56, 1998.</i> 	<p>Creación de institución autónoma de servicio público sin fines de lucro, para aplicar las normas contenidas en tratados internacionales y leyes que rigen los sectores de Electricidad y Telecomunicaciones y sus Reglamentos.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normativa de Construcción para Redes de 46 kV, 23 kV, 13.2 kV, 4.6 kV y 120/240 V <i>Acuerdo SIGET No 66-E-2001.</i> 	<p>Exigencias de seguridad y calidad, para los sectores relacionados con trabajos de diseño, construcción, supervisión, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución <i>Acuerdo SIGET No 192-E-2004</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ Calidad del suministro o servicio técnico (interrupciones). ○ Calidad del producto técnico suministrado (niveles de tensión, perturbaciones en la onda de voltaje). ○ Calidad del servicio comercial (atención al usuario, medios de atención al usuario, precisión de los elementos de medición). 	<p>Regular los índices e indicadores de referencia para calificar la calidad con que las empresas distribuidoras de energía eléctrica suministran los servicios de energía eléctrica a los usuarios de la Red de Distribución</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ley creación de Consejo Nacional de Energía <i>Decreto Legislativo No 404, 2007</i> ▪ Reglamento Ley creación de Consejo Nacional de Energía. <i>Decreto Ejecutivo No 76, 2008</i> 	<p>Creación de Institución autónoma administrativa, para el establecimiento de la política y estrategia que promueva el desarrollo eficiente del sector energético.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ley de Incentivos Fiscales para el fomento de las energías renovables en la generación de electricidad. <i>Decreto Legislativo No 462, 2007</i> ▪ Reglamento de Ley de incentivos fiscales. <i>Decreto Ejecutivo No 4, 2009</i> 	<p>Promover la realización de inversión en proyectos a partir del uso de fuentes renovables de energía, mediante el aprovechamiento de los recursos hidráulico, geotérmico, eólico, solar y biomasa.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Norma Técnica de Interconexión Eléctrica y Acceso de Usuarios Finales a la red de transmisión. <i>Acuerdo SIGET 30-E-2011, enero 2011</i> 	<p>Determinar los procedimientos, requisitos y responsabilidades aplicables a las interconexiones eléctricas entre operadores para garantizar el principio de libre acceso a las instalaciones de transmisión y distribución, así como la calidad y seguridad del sistema.</p>

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reglamento de Operación del Sistema de Transmisión y del Mercado Mayorista basado en Costos de Producción. <i>Acuerdo SIGET No 335-E-2011, julio 2011.</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ Anexo 10- Operación en Tiempo Real. ○ Anexo 12- Normas de Calidad y Seguridad Operativas. 	<p>Definición de normas técnicas, métodos y/o procedimientos desarrollados por la UT para la operación del sistema de transmisión, considerando aspectos de calidad y seguridad.</p> <p>Los aspectos conceptuales fundamentales de este reglamento son:</p> <p>(i) Define un sistema marginalista basado en costos para remunerar las transacciones de energía a nivel de generación y (ii) Se remunera la capacidad firme de las unidades generadores.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normativa técnica para caracterizar los proyectos que aprovechen las fuentes renovables en la generación de energía eléctrica. <i>Acuerdo SIGET No 162-E-2012</i> 	<p>Establecer las especificaciones técnicas de caracterización de los proyectos que aprovechan las fuentes renovables en la generación de energía eléctrica, para gozar de los beneficios e incentivos fiscales.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normas sobre contratos de largo plazo respaldados con generación distribuida renovable mediante procesos de libre concurrencia. <i>Acuerdo SIGET 120-E-2013</i> 	<p>Definir lineamientos para el diseño de Bases que registrarán las licitaciones públicas de energía eléctrica con generación distribuida renovable.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plan maestro para el desarrollo de energías renovables, elaborado por Jica y CNE. Marzo 2010. 	<p>Formulación de un plan maestro para el uso de energías renovables para la generación de energía eléctrica en El Salvador por un período de 15 años, desde 2012 hasta 2026.</p>

3.2 Proceso para el trámite de registro y desarrollo del proyecto

En base a lo establecido dentro del marco legal aplicable a los proyectos de generación de energía eléctrica con fuentes renovables, se presenta en la figura 3.2 un diagrama de flujo con los procedimientos a realizar en cada una de las instituciones involucradas en el desarrollo del proyecto, posterior al planteamiento del perfil técnico y evaluación técnica y financiera.

La factibilidad en el desarrollo y explotación de un proyecto para generación de electricidad como el planteado en este documento está relacionada con el conocimiento de dos aspectos fundamentales: la tecnología a implementar y la normativas y leyes que aplican en cada una de las etapas de su desarrollo desde la prefactibilidad, desarrollo y cierre para concluir el ciclo del mismo.

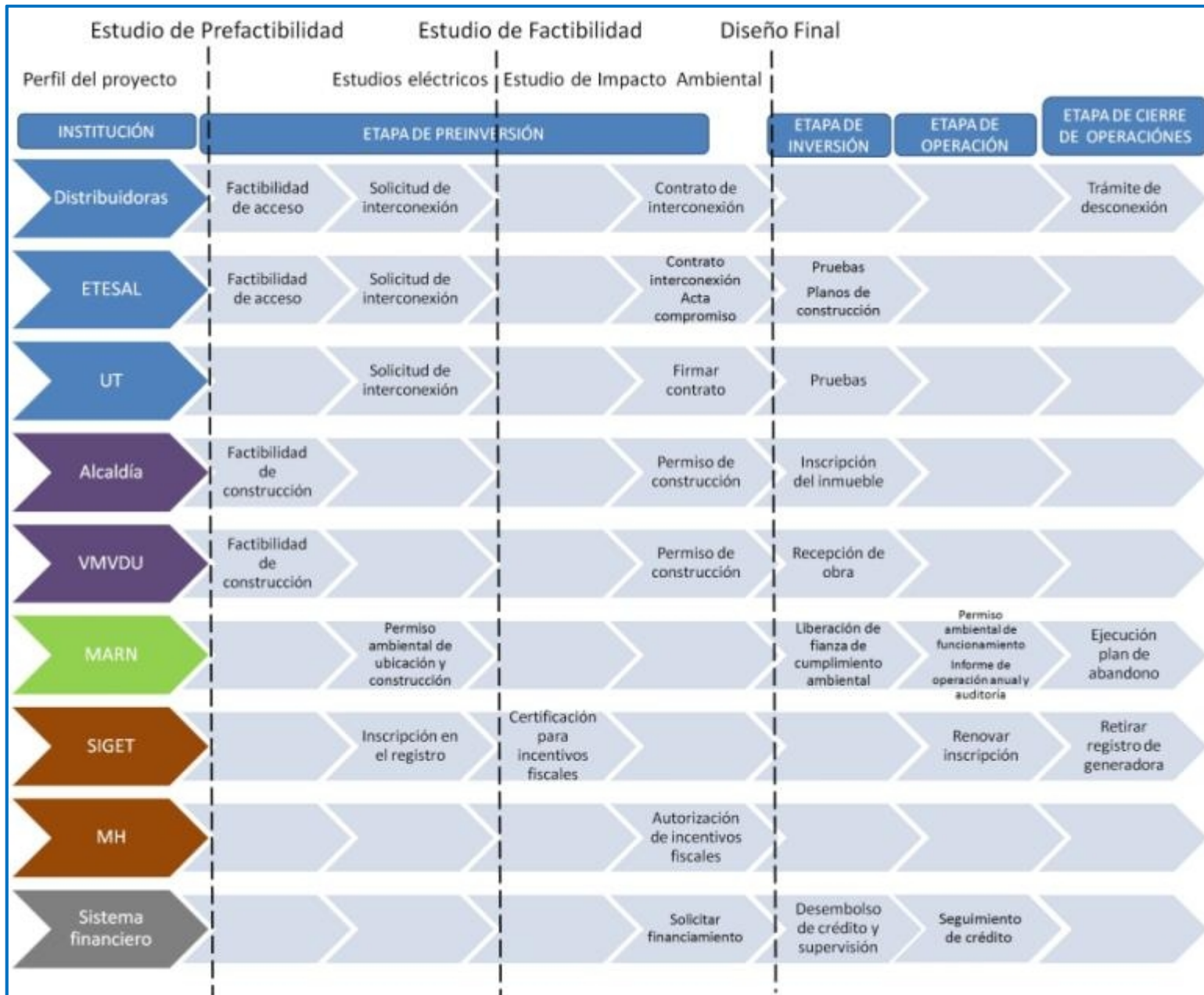


Figura 3. 2 Procedimiento a seguir para obtención de permisos [www.cne.gob.sv]

4. Propuesta de diseño y evaluación técnica

El presente capítulo expone los resultados de la evaluación técnica del proyecto de generación fotovoltaica en el Delirio 1 departamento de San Miguel, El Salvador.

Como parte de las actividades programadas para el desarrollo de la prefactibilidad del proyecto se realizaron evaluaciones en los sitios propuestos tal como se ha visto en el capítulo 2, dentro de estas valoraciones consideradas se evaluó la viabilidad de interconexión a la red eléctrica, seleccionándose El Delirio 1, en el cual se encuentra más cercana la conexión eléctrica, aproximadamente a 0.1 km y la capacidad para transportar energía es mayor, ya que es un sistema de distribución para 46 kV. a continuación se presentan las características de la red del Delirio 1.

Tabla 4. 1 Características eléctricas del Delirio 1

Terreno seleccionado	sistema	Identificación	conductor	# Hilos	Capacidad	Punto de referencia	Distancia del proyecto a la línea
El Delirio	46 kV	34-4-85	4/0-ACSR	3	357 A	C32681	0.1 km

4.1 Conexión con la red de distribución

Luego de conocer el lugar de montaje de la planta fotovoltaica, se evaluó la forma en la que se interconectará con la red eléctrica más cercana al proyecto. A continuación se muestran las 2 formas básicas de conexión.

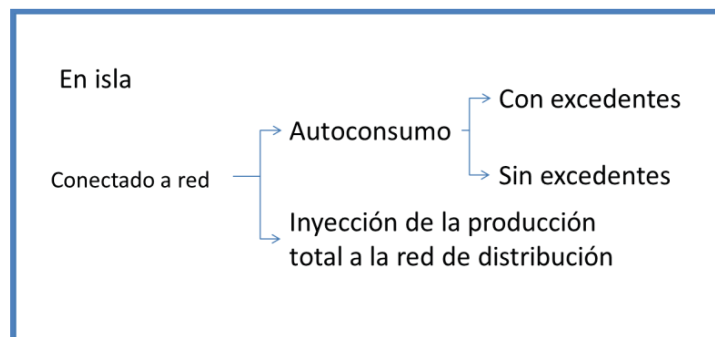


Figura 4. 1 Tipos de conexiones plantas fotovoltaicas

Para el caso de este proyecto se conectará directamente a la red de distribución, dado que el objetivo principal es la venta de energía de forma directa a la distribuidora EEO, también es importante mencionar que para conexión directamente a la red existen dos tipos de conexión.

- **Planta conectada a una subestación de distribución entre sistemas de voltaje de 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, al generador se le hace más conveniente conectarse en distribución que en transmisión.

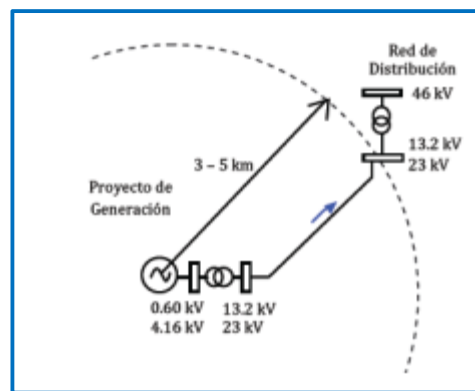


Figura 4. 2 Planta fotovoltaica conectada a subestación de distribución

- **Planta conectada a las redes de distribución primaria o secundaria.**

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.

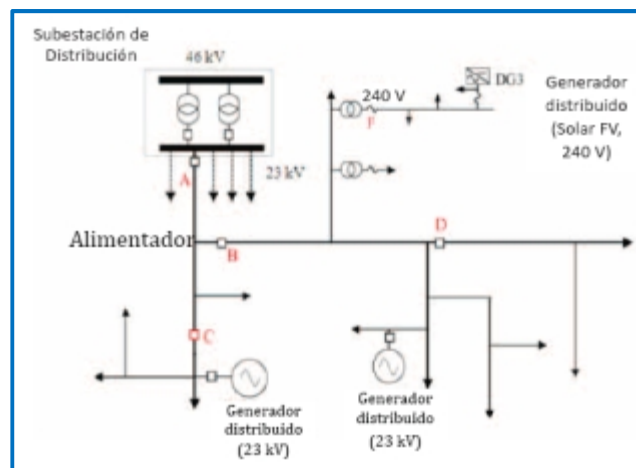


Figura 4. 3 Planta conectada a la red primaria o red secundaria de la distribuidora

Para el caso de la planta de generación fotovoltaica que se evalúa en este proyecto, la conexión será de la segunda forma (conectada a la red de distribución) por la ventaja que esta representa en cuanto a la inversión. De acuerdo a los niveles de voltaje con los que la red de distribución trabaja en El Salvador se muestran a continuación:

Art. 26. Del acuerdo 93-E-2008, Los niveles de tensión estandarizados para los suministros de energía eléctrica son los siguientes:

Tabla 4. 2 Tensiones Eléctricas y Sistemas Normales de Distribución en Media Tensión.

TENSIÓN NOMINAL (VOLTIOS)
4,160Y/2,400
13,200Y/7,620
22,860Y/13,200
34,500
46,000

Tabla 4. 3 Tensiones Eléctricas y Sistemas Normales de Distribución en Baja Tensión

TENSIÓN NOMINAL (VOLTIOS)
120
120/240
240

- a. Baja Tensión: Nivel de tensión menor o igual a 600 voltios.
- b. Media Tensión: Nivel de tensión superior a 600 voltios y menor que 115 kilovoltios.
- c. Alta Tensión: mayor o igual 115 kilovoltios.

La planta fotovoltaica estará conectada a 46000 V, lo que indica en la clasificación antes mencionada que estará conectada a media tensión línea primaria de la distribuidora, ya que las líneas secundarias alcanzan un voltaje máximo de 240 V.

Es importante resaltar que para garantizar una correcta operación de la planta generadora fotovoltaica conectada a la red y optimizar la conexión, es recomendable evaluar los siguientes aspectos:

- Elaborar estudios de interconexión eléctrica teniendo en cuenta la nueva instalación eléctrica necesaria para el funcionamiento del sistema fotovoltaico.
- Estimar la capacidad máxima de inyección en el punto de red de distribución, donde se conectara la planta, 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 la planta de generación fotovoltaica.

Por ejemplo uno de los criterios a evaluar, para el cálculo de pérdidas por potencia es la información básica de los alimentadores de distribución y la potencia que entregara la planta de generación fotovoltaica.

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

4.2 Dimensionamiento de la planta de generación fotovoltaica en estudio

En este apartado se tratan los conceptos básicos para dimensionar un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red.

Parámetros de selección de los módulos fotovoltaicos e inversores

Los módulos fotovoltaicos determinarán el dimensionamiento de los demás elementos de la planta de generación fotovoltaica. Una estimación inicial de 10 m² de área necesaria por kWp instalado resultó útil como primera aproximación. Este valor varió de acuerdo al tipo de irradiancia del sitio en estudio y al tipo de tecnología fotovoltaica empleada resultando un valor 6.72 m² por kWp.

En las plantas solares, el hacer una estimación del área necesaria para el sistema puede tornarse en un problema complejo que implica la latitud local, la pendiente del terreno, el ángulo de inclinación del módulo, entre otros.

No obstante, para entender de una manera más simple como influye la tecnología de los módulos fotovoltaicos el área necesaria para generar 1 kWp, se realizan las siguientes comparaciones entre tecnologías según condiciones del proyecto:

- Superficie del terreno horizontal.
- Ángulo de inclinación ligeramente inferior al de la latitud.
- Sin auto sombreado entre las series de módulos fotovoltaicos.

Tabla 4. 4 Superficie necesaria para un sistema de generación fotovoltaica 1 kWp
 [DGS y Ecofis, 2008. Planning and installing photovoltaic system, second edition. James & London page 151]

TECNOLOGÍA	SUPERFICIE (m2)	SUPERFICIE (m2) ¹
Silicio monocristalino	7-9	20
Silicio policristalino	8-11	27
Diselenuro de cobre e indio (CIS)	11-13	32
Telururo de cadmio (CdTe)	14-18	40
Silicio amorfo	16-20	-----

¹ Tomando en cuenta las condiciones de superficie del terreno horizontal, ángulo de inclinación y sin auto sombreado.

Tanto los fabricantes de inversores y de módulos fotovoltaicos proporcionan los parámetros eléctricos más característicos de sus productos, estos parámetros son fundamentales para el diseño del sistema, los cuales se observan a continuación respectivamente:

PARÁMETRO	SÍMBOLO
Coefficiente de temperatura corriente de corto circuito (mA·°C ⁻¹)	$\alpha I_{MOD,SC}$
Coefficiente de temperatura corriente de circuito abierto (mV·°C ⁻¹)	$\beta V_{MOD,OC}$
Corriente en el PMP a CEM (A)	$I_{MOD,MPP}$
Corriente de cortocircuito a CEM (A)	$I_{MOD,SC}$
Células conectadas en paralelo	N_p
Células conectadas en serie	N_s
Potencia máxima a CEM (Wp)	$P_{MOD,MPP}$
Temperatura celular operativa nominal (°C)	NOTC
Tensión en el PMP a CEM (V)	$V_{MOD,MPP}$
Tensión en circuito abierto a CEM (V)	$V_{MOD,OC}$

Figura 4. 4 Parámetros eléctricos más relevantes de los módulos fotovoltaicos

[Tomado de PVS in bloom, manual técnico]

PARÁMETRO	SÍMBOLO
Eficiencia máxima (adim)	η_{INVPM}
Factor de potencia (adim)	$\cos \varphi$
Frecuencia de red (Hz)	f
Corriente de CC de entrada máxima (A)	$I_{INV,DC}$
Corriente de CA de salida nominal (A)	$I_{INV,AC}$
Tensión más baja a la que el inversor sigue el PMP (V)	$V_{INV,MPP}$
Tensión más alta a la que el inversor sigue el PMP (V)	$V_{INV,MPP}$
Potencia de entrada nominal (W)	$P_{INV,DC}$
Potencia de salida nominal (W)	$P_{INV,AC}$
Tensión de entrada máxima (V)	V_{INVPM}
Tensión de salida nominal (V)	$V_{INV,AC}$

Figura 4. 5 Parámetros eléctricos más relevantes de los inversores

[PVS in bloom, manual técnico]

4.3 Dimensionamiento de la potencia nominal de los generadores

La planificación de la potencia nominal de un generador fotovoltaico, es decir, la suma de la potencia máxima (CEM) de los módulos usados puede depender de dos criterios principalmente, los cuales son:

- Área de terreno disponible
- Costos de los módulos fotovoltaicos según tecnología a instalar

La planta de generación fotovoltaica se compone de conexiones paralelas entre módulos conectados en serie (ramas) por consiguiente, la tensión del generador fotovoltaico es igual a la tensión de una rama (corriente en serie en la misma), mientras que la corriente es igual a la suma de la corriente de todas las ramas conectadas en paralelo.

4.4 Dimensionamiento de la potencia nominal del inversor

Antes de mencionar el dimensionamiento existen aspectos importantes a destacar de los inversores:

El inversor debe situarse próximo a los dispositivos protectores de corriente alterna, estos pueden ser: varistores, disyuntores de corriente residual, entre otros. Así mismo se debe colocar la caja de conexión de corriente continua cerca de donde se ubican las ramas, las cuales están conectadas en paralelo para obtener la potencia deseada, todo esto lo más cerca posible al inversor, de forma que las caídas de tensión por distancia en los conductores sean minimizadas.

A pesar de que muchos inversores cumplen el código IP 65 (grado de protección para sistemas en intemperie), es recomendable utilizar un cubrimiento impermeable para evitar que los efectos medioambientales afecten a estos dispositivos.

Para el dimensionamiento un parámetro utilizado para la potencia de entrada nominal ($P_{INV,DC}$) del inversor es el factor de dimensionamiento $FS = P_{INV,DC} / P_{GFV,M,STC}$, en el que $P_{GFV,M,STC}$ es la potencia máxima del generador fotovoltaico a potencia máxima. En la imagen 4.6 se muestran unos factores de dimensionamiento de seguridad utilizados en Europa². De acuerdo a PVS in bloom [2011, p.32] Se ha identificado que en países con alta incidencia de irradiación solar con frecuencia se utiliza el factor F_s de 1.

² Estas cifras se sugieren siempre y cuando se instale un generador fotovoltaico en el hemisferio norte y orientado hacia el ecuador (acimut igual a cero). Su ángulo de inclinación es próximo a la latitud

ZONA	F_s
Norte de Europa (lat. 55 - 70°)	0,65 - 0,8
Europa Central (lat. 45 - 55°)	0,75 - 0,9
Sur de Europa (lat. 35 - 45°)	0,85 - 1,0

Figura 4. 6 Valores recomendados para F_s en Europa
[PVS in bloom, manual técnico]

4.5 Dimensionamiento de la planta fotovoltaica en el Delirio por medio de un programa de simulación PVSyst

Para el presente estudio se utilizó un programa de simulación mediante el cual se hizo el cálculo de la cantidad, tipo de generadores e inversores que se necesitan para obtener la potencia deseada de acuerdo a los datos de irradiación, inclinación y demás variables del terreno seleccionado.

A continuación se detallan los parámetros utilizados en la simulación, es importante destacar que esta planta de generación fotovoltaica estará ubicada en el departamento de San Miguel específicamente a unos pocos kilómetros de la Universidad Nacional de San Miguel.



Figura 4. 7 Ubicación de la planta fotovoltaica

Será una planta fotovoltaica conectada directamente a la red, toda la energía generada será inyectada y no habrá ningún tipo de almacenamiento, el modelo conceptual del arreglo de planta será el siguiente:

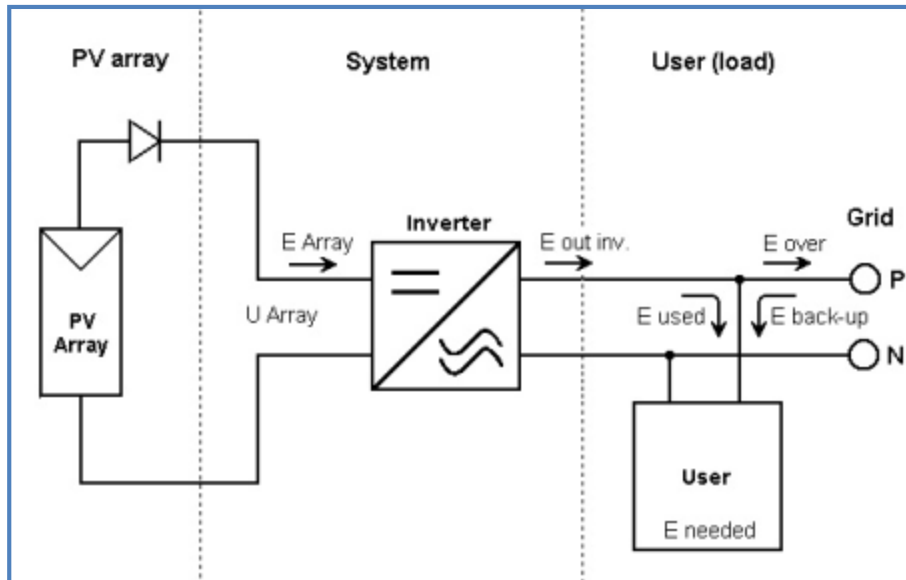


Figura 4. 8 Modelo de sistema fotovoltaico (imagen de PVSyst)

Este sistema debe ser definido en el programa, antes de comenzar a introducir los parámetros geográficos, climáticos, orientación de los módulos, entre otras características. Lo anterior definirá la capacidad de generación eléctrica instalada.

A continuación se presenta una tabla resumen de la ubicación de la planta fotovoltaica.

Tabla 4. 5 Ubicación y coordenadas de la planta fotovoltaica

Parámetros de Simulación			
Planta PV UES SAN MIGUEL ubicación:	País El Salvador	Latitud: 13° 25.967'N	Longitud: 88° 9.399'O
Hora definido:	como Hora Legal	Huso hor. UT-6	Altitud: 190 m
Albedo:	0.2		
Datos climatológicos :	Estación meteorológica de UES San Miguel	Tipo de Sistema: FV	Conectado: A la Red

Ángulos de inclinación y acimut de la posición del terreno

La orientación de los módulos, inclinación y acimut, está determinada para captar la mayor cantidad de radiación solar durante todo el año, estos son definidos también en el programa, y estos ángulos dependen de la latitud. Para el caso de esta simulación el programa ha calculado el ángulo óptimo para obtener la máxima producción de energía eléctrica durante todo el año, dicho ángulo de inclinación es de 18° y un acimut de 0°, orientado hacia el Ecuador. (Ver figura 4.9 y 4.10), ya que con dicha inclinación los

módulos fotovoltaicos aprovecharán la radiación cuando el sol está en su altura más baja (altura solar) durante los meses de noviembre a marzo.

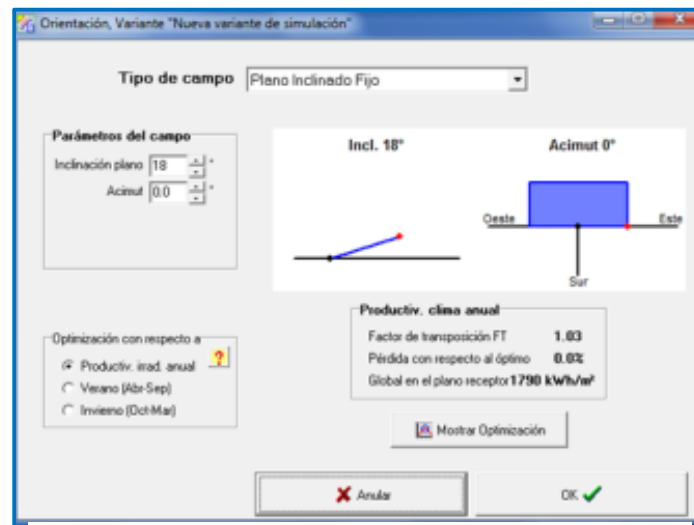


Figura 4. 9 Ángulos de inclinación y acimut

Para obtener la máxima producción de energía eléctrica anual, se selecciona la opción “productiv. irr. anual”; el ángulo de inclinación óptimo para esta opción se obtendrá mediante iteraciones realizadas por el programa, con la cual se obtiene un máximo absoluto para la inclinación del módulo fotovoltaico, ilustrada en la grafica “inclinación plano”. El resultado obtenido es 18°, respecto a un plano horizontal.

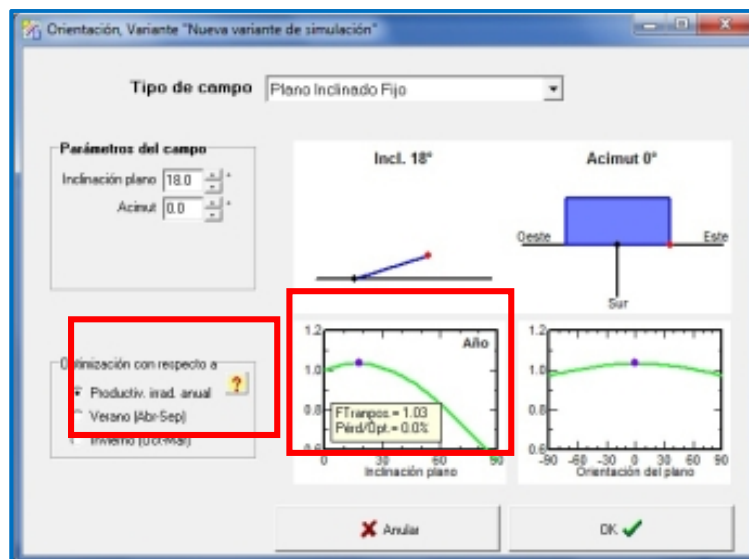


Figura 4. 10 Optimización de acuerdo a los ángulos

Datos meteorológicos que se introducen al programa para la respectiva simulación

Los datos climáticos como promedio mensual de radiación solar, fueron obtenidos mediante el tratamiento de los datos medidos por estación meteorológica de UES San Miguel tal como se menciona en el capítulo 1, página 5. La temperatura ambiente y velocidad y dirección de viento, para el cálculo de energía disponible, fueron tomadas de la página de la NASA www.nasa.com promedios históricos de datos satelitales de 12 años, ya que los datos proporcionados por el MARN-DGOA no presentaban una medición continua.

Decimal	Deg.	min.	
13.64	13	39	(+ = Norte, - = Hemisferio Sur)
-88.27	-88	15	(+ = Este, - = Oeste Greenwich)

Figura 4. 11 Parámetros geográficos del lugar

Otro parámetro importante a definir en la simulación es la temperatura de operación de los módulos, lo que dependerá de las temperaturas de la zona, en este caso el mínimo reportado por la estación meteorológica UES del municipio del Delirio, departamento de San Miguel es de 19° C el cual fue ingresado dentro de la casilla “Lower temperature VmaxAbs limit”. Asimismo para la temperatura máxima alcanzada por la célula fotovoltaica se asume un valor de 70°C, valor promedio presentado por proyectos en funcionamiento en El Salvador, ingresado en la casilla “Summer operating temperature for VmppMin desing”.

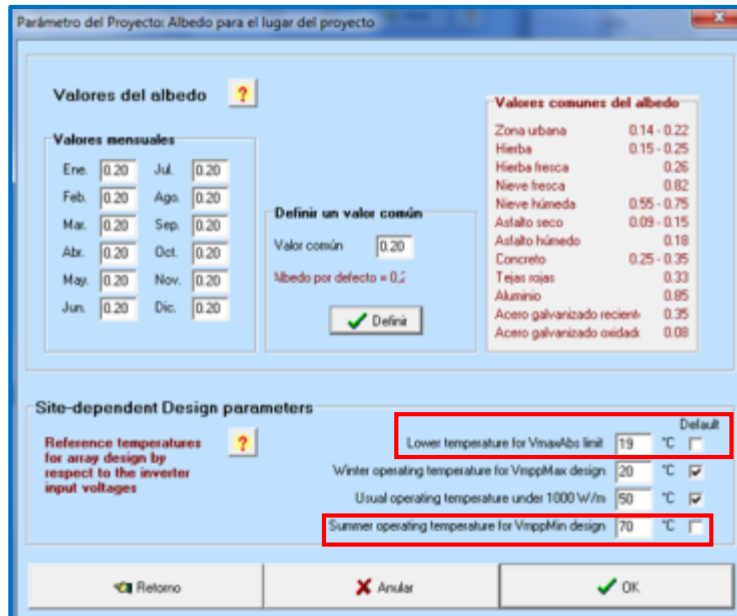


Figura 4. 12 Temperaturas de operación de módulos

Simulación de un arreglo de 100kWe, para el dimensionamiento de una planta de 5MWe

Un parámetro importante es la selección de los módulos fotovoltaicos que serán utilizados y el tipo de inversor; el programa PVSyst permite indicar las características técnicas del equipo a utilizar, mediante la herramienta “System”, seleccionando las especificaciones de nuestro equipo preestablecidas dentro del diseño preliminar de las opciones disponibles presentadas dentro de este.

Para el establecimiento de los parámetros técnicos de los equipos a instalar en la planta fotovoltaica:

1. Establecimiento de la potencia pico a generar, por el sistema fotovoltaico, 100 kWp
2. Selección de potencia de módulo fotovoltaico, 245 W modelo KD245GXLFB marca Kyocera.
3. Selección de inversor de 25 kW de potencia eléctrica, modelo Powador 30.0 TL3 M, marca KACO new energy y cantidad a utilizar
4. Determinación del arreglo de módulos en serie (15) y filas (string) en paralelo (30) hasta obtener los niveles de tensión y potencia nominales a la entrada del inversor.
5. Cuadro de verificación, donde se indica el estado del diseño, es importante mencionar que durante la ejecución del arreglo, no se obtuvo mensajes de advertencia de sobre o sub dimensionamiento.
6. Se presenta Resumen del sistema, bajo las condiciones establecidas dentro de los numerales anteriores.

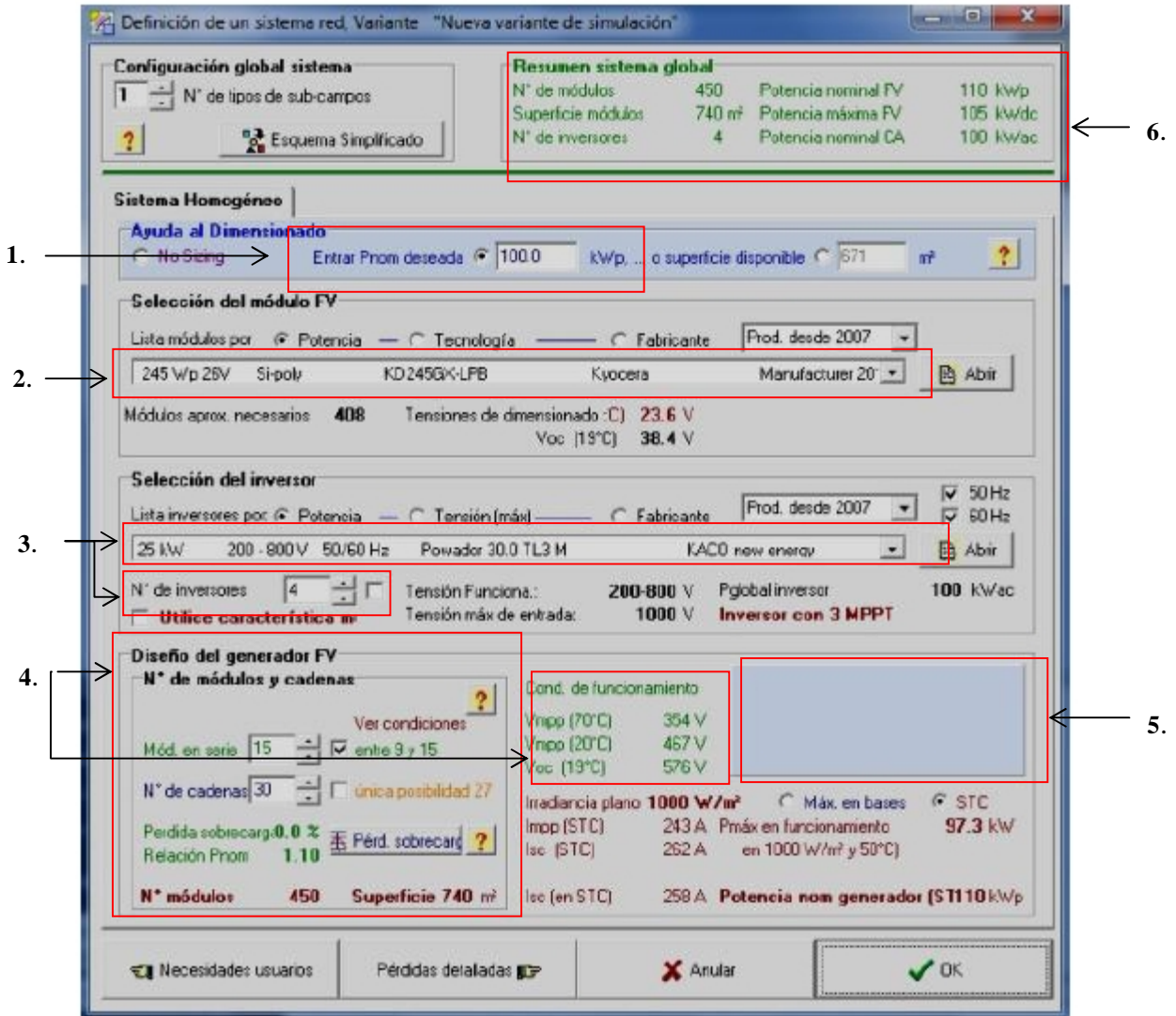


Figura 4. 13 Dimensionamiento del sistema 100kWe

4.6 Resultados de la simulación mediante programa PVSystem.

Utilizando el arreglo de 100 kWp dimensionado anteriormente se estableció la necesidad de utilizar 50 arreglos de estos, para obtener la potencia nominal de 5 MWe, valor que fue establecido tomando en cuenta la disponibilidad de terreno y la irradiación de lugar.

Para el caso de la planta propuesta se obtuvieron distintas simulaciones, a continuación se presenta la simulación con el resultado óptimo de acuerdo a los módulos e inversores seleccionados.

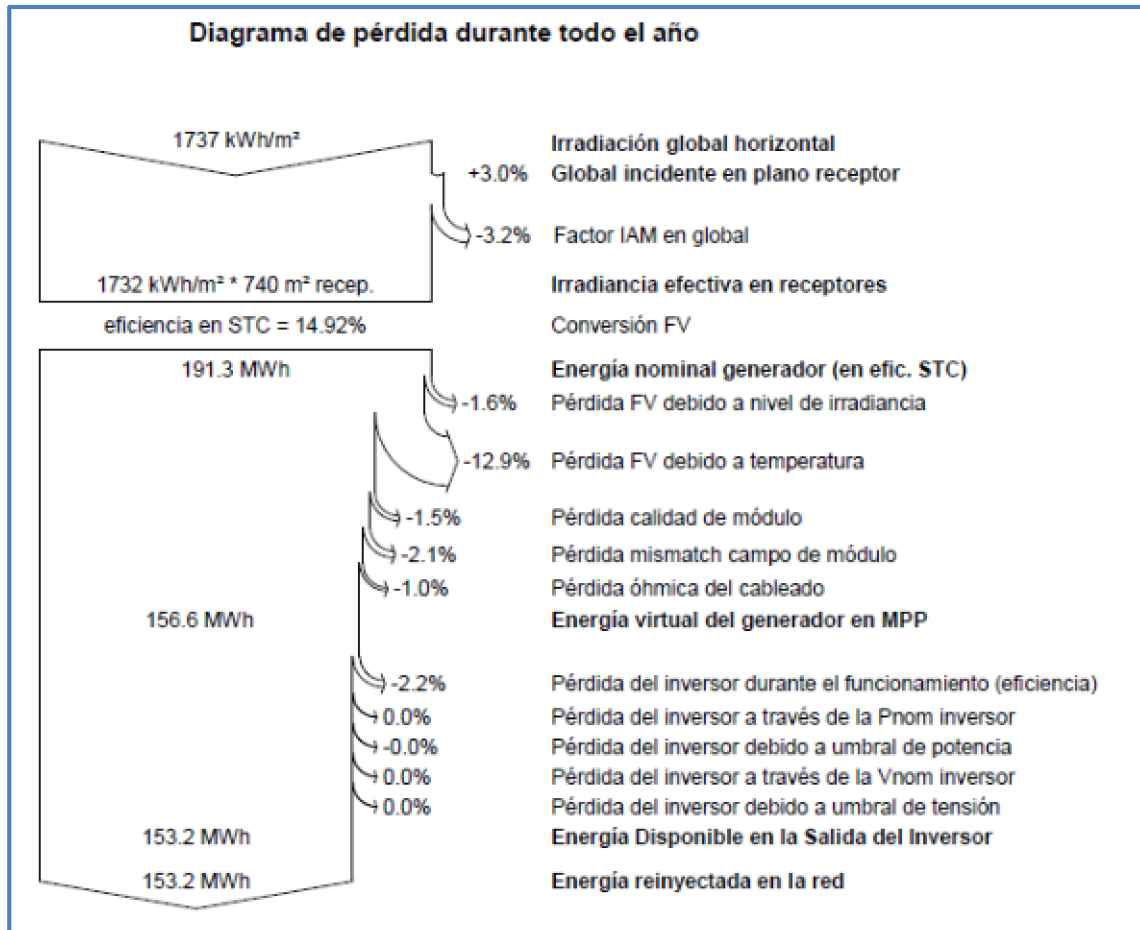


Figura 4. 14 Diagrama de pérdida durante todo el año para un arreglo de 100 kW

Determinación de pérdidas en el arreglo de 100kW

En la figura anterior se muestra que la inyección a red anual de una planta con capacidad de 100kW será de 153.2 MWh, valor que incluye pérdidas en el generador fotovoltaico de 19.1 % y pérdidas por inversión de 2.2%. Estas pérdidas se originan en cada etapa de conversión de energía y por el efecto que causa la elevación de temperatura ambiente de la zona (32°C).

El programa (PVSyst 5.67), no considera las pérdidas que hay por caídas de tensión en los conductores, ya que éstas son despreciables en cuanto a las pérdidas que ocurren por conversión de energía en los módulos e inversores. Se considera que los conductores necesarios tendrán la sección adecuada para reducir las caídas de tensión y los calentamientos, por lo que deberán tener unos valores de sección transversal tales que la caída de tensión en ellos sea inferior al 3%.

Configuración eléctrica de los módulos e inversores para un arreglo de 100kWe

Para producir la energía anual (153.2 MWh), se necesita el siguiente arreglo de módulos e inversores:

15 módulos fotovoltaicos de 245W en serie, colocados en fila, totalizando 7 u 8 filas de igual característica, conectadas a un inversor de 25kWe, conexión que se repite cuatro veces en cada arreglo de 100kWe de potencia.

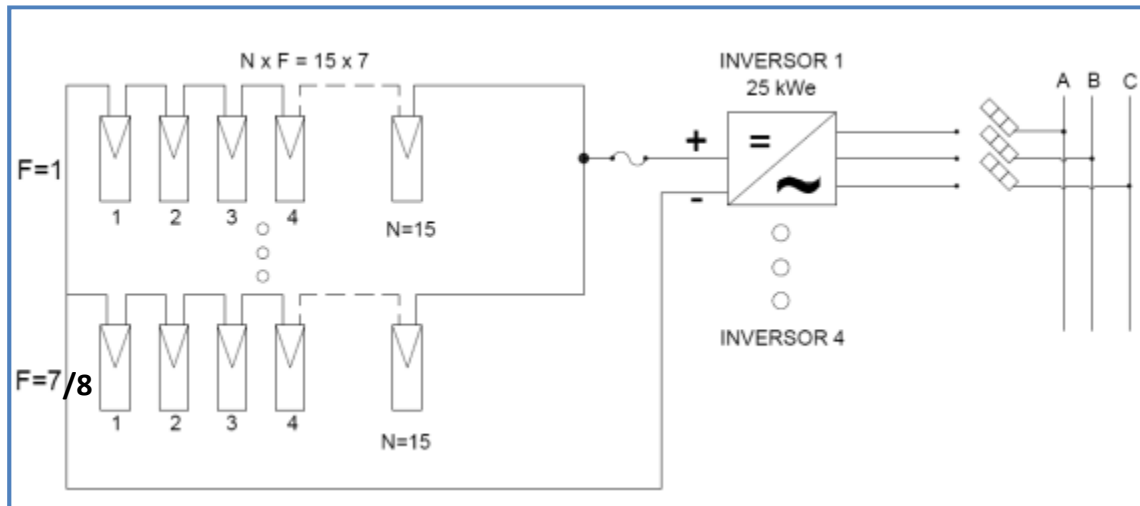


Figura 4. 15 Diagrama esquemático de las conexiones entre módulos e inversor

Entonces para un arreglo de 100kWe la configuración es 15 módulos en serie para obtener el voltaje del sistema fotovoltaico 390 VDC a la entrada del inversor, ya que las características del inversor definen el rango de voltaje mínimo, máximo y nominal de operación, 30 cadenas de 15 módulos en paralelo para obtener la potencia deseada (100kWe), con 4 inversores de 25 kWe. A continuación se presenta una tabla resumen de las características de los elementos antes mencionados.

Tabla 4. 6 Características del arreglo del generador fotovoltaico de 100 kWp

Parámetros	Tipo	Potencia	Modelo
Tipo de Sistema	Conectado a la red	N/A	N/A
Orientación de la planta Fotovoltaica	inclinación 18°, acimut 0°	N/A	N/A
Módulos Fotovoltaicos	15 en serie y 30 cadenas en paralelo	245 Wp	KYOCERA KD245GX-LPB
Generador Fotovoltaicos 100 kWp	450 módulos	Pnom 110 kWp instalada Pnom 100kW ac real	N/A
Inversores	4	25 kW ac	KACO Powador 30 TL3 M

Descripción de los sub-arreglos que componen el arreglo fotovoltaico de una potencia de 100kWe

El arreglo de los módulos fotovoltaicos para obtener una potencia de 100 KWe, estará formado por cuatro sub-arreglos, dos de ellos compuestos por 8 ramas de 15 módulos y los otros dos compuesto por 7 ramas de 15 módulos. En total disponemos de 30 ramas con 15 módulos cada uno de estos sub-arreglos estarán conectados eléctricamente en una caja de conexiones de corriente continua, donde se realiza el paralelo de cada una de sus ramas. En el plano de esquema eléctrico se detalla el diseño del generador con la localización de las ramas y las cajas de corriente continua.

Tabla 4. 7 Características de los sub-arreglos FV que compone el arreglo FV de 100kWe

Sub-arreglo FV	1	2	3	4
Nº de ramas	7	8	8	7
Nº módulos/rama	15	15	15	15
VM (V)	447	447	447	447
IM (A)	57.61	65.84	65.84	57.61
PM (kW)	25.75167	29.43048	29.43048	25.75167

A continuación se presenta en la tabla siguiente la configuración final del sistema de 5 MWe, que lo compone 50 arreglos de 100 kWe, ésta será la potencia total instalada de la planta fotovoltaica.

Tabla 4. 8 Configuración de los arreglos FV para obtener el sistema de 5 MWe

Arreglo FV de 100 kWe	1/50
Nº de ramas	30
Nº módulos/rama	15
VM (V)	447
IM (A)	246.9
PM (kWp)	110.3643

4.7 Simulación de la planta de generación fotovoltaica de 5MWe

Se realizó la simulación de la planta con todos los componentes y arreglos de elementos para obtener la potencia instalada deseada, el objetivo, cuantificar la energía a producir mensual y anualmente, incluyendo en estos cálculos, las pérdidas por conversión de energía.

Parámetros de la simulación				
Orientación Plano Receptor	Inclinación	18°	Acimut	0°
Perfil obstáculos	Sin perfil de obstáculos			
Sombras cercanas	Sin sombreado			
Características generador FV				
Módulo FV	Si-poly	Modelo	KD245GX-LPB	
		Fabricante	Kyocera	
Número de módulos FV		En serie	15 módulos	En paralelo 1540 cadenas
Nº total de módulos FV		Nº módulos	23100	Pnom unitaria 245 Wp
Potencia global generador		Nominal (STC)	5660 kWp	En cond. funciona. 4997 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	400 V	I mpp 12496 A
Superficie total		Superficie módulos	38008 m²	Superficie célula 33735 m²
Inversor		Modelo	Powador 30.0 TL3 M	
		Fabricante	KACO new energy	
Características		Tensión Funciona.	200-800 V	Pnom unitaria 25.0 kW AC
Banco de inversores		Nº de inversores	204 unidades	Potencia total 5100.0 kW AC

Figura 4. 16 Parámetros de simulación de la planta de 5 MWe

En la figura anterior se puede observar que el número total de módulos que se utilizarán en la planta propuesta es de 23,100 con 204 inversores de 25kW para obtener una potencia instalada de 5MWe, a continuación se muestran los parámetros de pérdidas de los generadores fotovoltaicos.

Factores de pérdida Generador FV				
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s
=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s)			TONC	56 °C
Pérdida Óhmica en el Cableado	Res. global generador	0.55 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de Pérdidas	1.5 %
Pérdidas Mismatch Módulos			Fracción de Pérdidas	2.0 % en MPP
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parámetro bo	0.05
Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red)				

Figura 4. 17 Factores de pérdidas del generador fotovoltaico

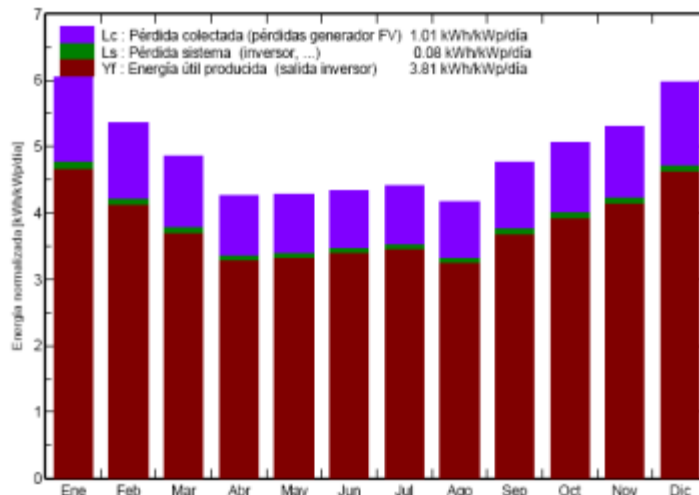


Figura 4. 18 Producciones normalizadas por kWp instalado

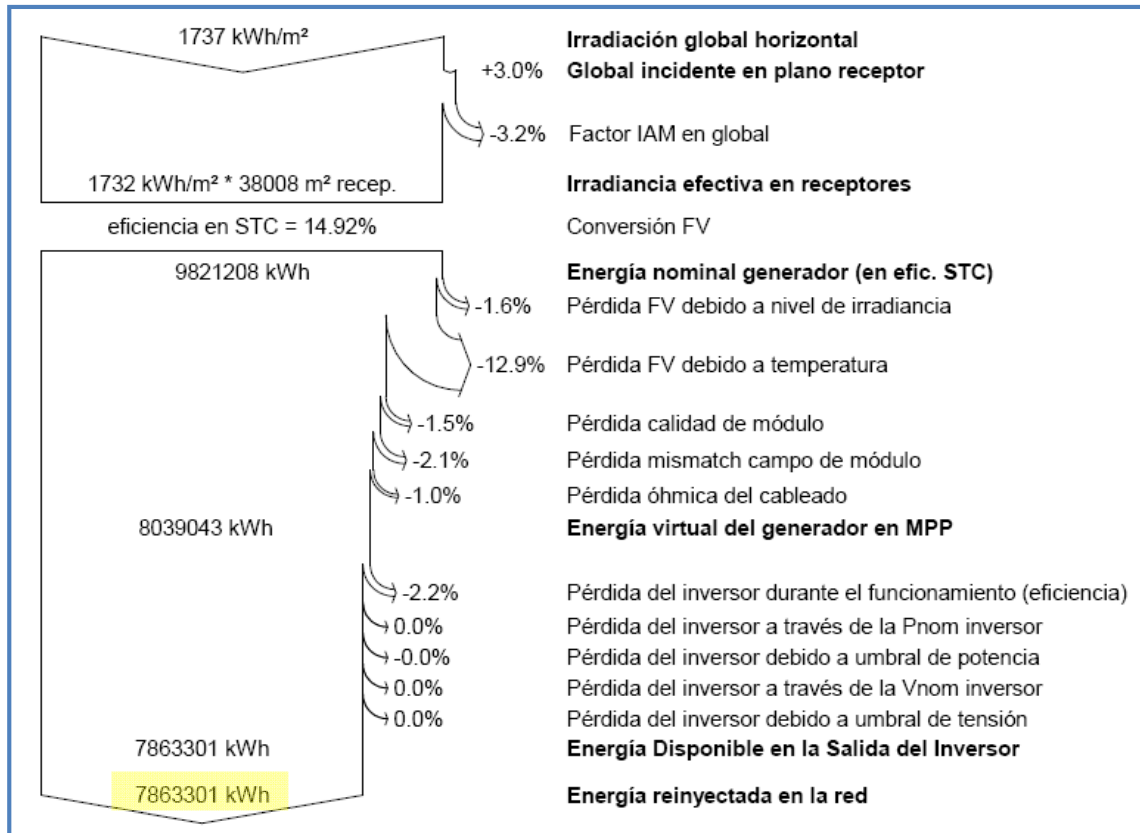


Figura 4. 19 Diagrama de pérdidas anuales

De lo anterior se concluye que anualmente la planta generará 7863301 kWh al año, incluyendo pérdidas, también es importante resaltar que a esta energía habrá que descontarle las pérdidas por transformación (elevaciones de voltaje en los transformadores y caídas en los conductores), estas se han tomado como despreciables en esta simulación.

4.8 Características técnicas de los componentes que conforman la generación de energía fotovoltaica de la planta

Modulo fotovoltaico propuesto KYOCERA KD245GX-LPB

Está constituido por 60 células cuadradas fotovoltaicas de silicio policristalino de alta eficiencia, las conexiones redundantes múltiples en la parte delantera y trasera de cada célula ayudan a asegurar la fiabilidad del circuito del módulo. El marco de aluminio anodizado y el frente de vidrio de conformidad con estrictas normas de calidad hacen que estos módulos soporten las inclemencias climáticas más duras, funcionando eficazmente sin interrupción durante su vida útil.

Además ofrece calidad integrada, apoyo de los principales fabricantes de la estructura de montaje, fácil acceso a puntos de conexión a tierra en las cuatro esquinas para

una rápida instalación. También ofrece tecnología probada caja de conexiones con cable 12 AWG PV para trabajar con inversores sin transformador si fuera el caso, calidad de bloqueo MC4 conectores para proporcionar conexiones seguras y rápida.

Kyocera ofrece el estándar de 20 años de garantía de potencia y 5 años de garantía de mano de obra, se aplica fuera de los EE.UU. Se muestran a continuación las características técnicas más significativos del módulo.

Tabla 4. 9 Características técnicas del módulo

Tipo de módulo	KYOCERA KD245GX-LPB
Dimensiones	(1662mm/990mm/46mm)
Tipo de célula	Silicio Policristalino
Número de células	60
Granizo de impacto	25 mm
Peso	46.3lbs (21.0kg)

Los módulos cumplen las siguientes especificaciones, para sus parámetros eléctricos principales, en condiciones estándar de operación (Irradiancia: 1.000 W/m² AM: 1,5 Tc: 25 °C)

Tabla 4. 10 Características eléctricas del módulo

Potencia pico (Wp) 220 W	245 W
Corriente de cortocircuito (Isc)	8.91 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	36.9 V
Tensión punto de máxima potencia (Vmp)	29.8 V
Intensidad punto de máxima potencia (Imp)	8.23 A
Coefficiente de variación de Isc con Temperatura	0.060 %/oC
Coefficiente de variación de Voc con Temperatura	-0.36 %/oC
Coefficiente de variación de Pmax con Temperatura	-0.46 %/oC
Temperatura de operación de	40 a +90 oC
Tensión nominal	29.8 V
Tensión máxima	600 V
Índice de tolerancia	+/- 5%

Estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos

En la siguiente figura se muestra las vistas principales de la estructura metálica que soportaran los módulos fotovoltaicos; los cuales serán instalados de forma apaisada (horizontal) orientados al Ecuador con acimut 0°, ver figura 4.32 y 4.33; esta está elaborada a partir de perfil angular de acero galvanizado en caliente.

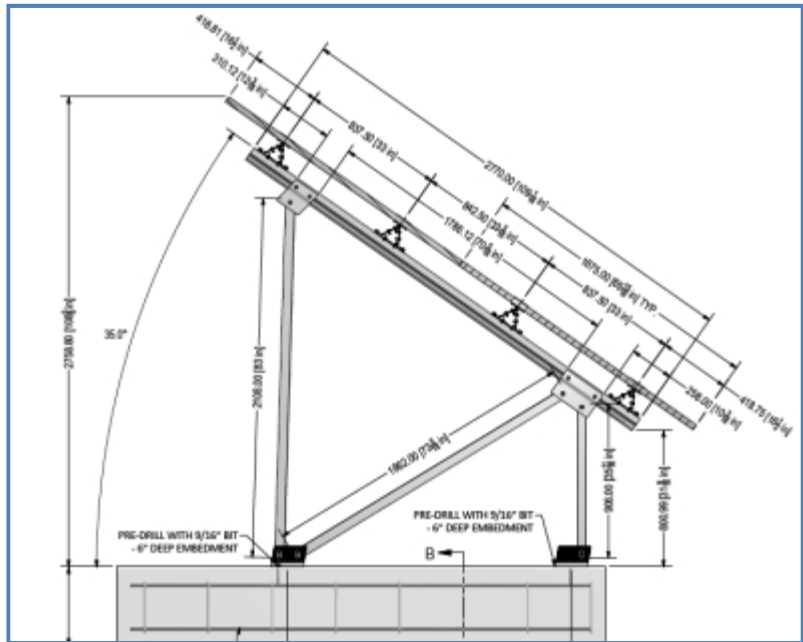


Figura 4. 20 Vista de perfil de la estructura

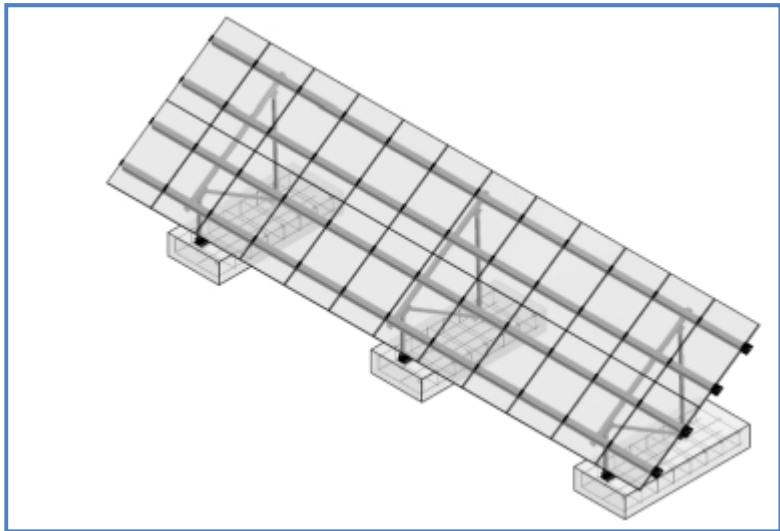


Figura 4. 21 Isométrico de la estructura de los módulos

Inversor propuesto

Los inversores trifásicos **KACO Powador 30.0 TL3 XL INT** sin transformador, están específicamente diseñados para descentralizar las instalaciones de sistemas fotovoltaicos para aplicaciones comerciales e industriales. Estas unidades le dan una flexibilidad extrema en el diseño de la instalación fotovoltaica. Operan con tres rastreadores MPP separados que

puede manejar tanto cargas simétricas como cargas asimétricas para permitir el óptimo ajuste. Cada seguidor es capaz de procesar 20 kW.

Los tres rastreadores o seguidores MPP también pueden compensar para los desajustes entre los módulos, tales como las que resultan de las diferencias de temperatura y la variación de radiación solar. El colector de cadena integrada con fusibles y protección contra sobretensiones para las variantes XL (inductivas) de las unidades abre importantes ventajas de costo.

Tabla 4. 11 Características técnicas del inversor

Entradas	CC 4
Protección IP	IP54
Transformador	No
Display	Sí
Peso	151 kg
Dimensiones	1 360 x 840 x 355 mm
Protección IP	IP 54
Enfriamiento	Forzado por ventilador

También se presentan las características eléctricas del inversor para el mejor dimensionamiento de la planta de generación fotovoltaica.

Tabla 4. 12 Características eléctricas del inversor

Potencia nominal (kW)	25
Potencia pico (kWp)	30
Potencia máx. (kVA)	25
Tensión máx. (V)	1000
Intensidad máx. (A)	34
Tensión mín. (V)	350
Tensión máx. (V)	800
Entradas MPP	3
Monitorización de red	3-Phase
Protocolo de comunicaciones	RS485
Eficiencia	0.98

Transformadores propuestos en la planta de generación fotovoltaica

Transformador tipo pedestal trifásico

A continuación se presentan algunas características eléctricas de los transformadores que se utilizarán en la planta, sus dimensiones y potencias de los mismos, como también las ventajas que éstos.

El transformador tipo pedestal trifásico está diseñado para operar a la intemperie y estar montado sobre una base típicamente de concreto. Tiene integrado un gabinete a prueba de vandalismo, el cual contiene los accesorios y las terminales de conexión.

El tipo de transformador propuesto es un **Prolec fabricado por General Electric**, y se utiliza en lugares donde la seguridad y apariencia son un factor decisivo, tales como: Desarrollos comerciales, turísticos, edificios de oficinas y/o residenciales, hoteles, hospitales, parques eólicos, pequeña y mediana industria bajo el concepto de subestaciones compactas, universidades, entre otros sitios con similares características.

Entre las ventajas que éste presenta están:

- Requerimiento mínimo de espacio
- Seguridad, ya que no presenta partes energizadas accesibles a personas, por lo que puede instalarse en lugares públicos con acceso restringido
- Constituye una subestación completa
- Mantenimiento mínimo por contaminación



Figura 4. 22 Transformador de 3MVA

A continuación se presentan las partes más importantes del transformador de 3 MVA, entre ellas las terminales primarias y secundarias.



Figura 4. 23 Partes de transformador de 3MVA

También se presentan los niveles de voltaje del lado de baja y alta, como su respectivo nivel de aislamiento.

Tabla 4. 13 Tablas de capacidades y voltajes del transformador de 3 MVA

kVA	2000,2500,3000
Tensiones en el Primario (v)	13200 13200YT/7620 NBAI 125 kV 23000 NBAI 150 kV 34500YT/19920 NBAI 150 kV
Tensiones en el Secundario (v)	440Y/255 480Y/277 NBAI 45 kV

NBAI: Nivel Básico de Aislamiento al Impulso

Transformador trifásico de 5 MVA

Este es el transformador principal de la subestación de la planta de generación fotovoltaica, ya que éste, es el que estará conectado a la red de distribución de EEO, el mismo es el encargado de elevar el voltaje 23000 V a 46000 V, el cual es el voltaje del sistema.



Figura 4. 24 Transformador de 5MVA

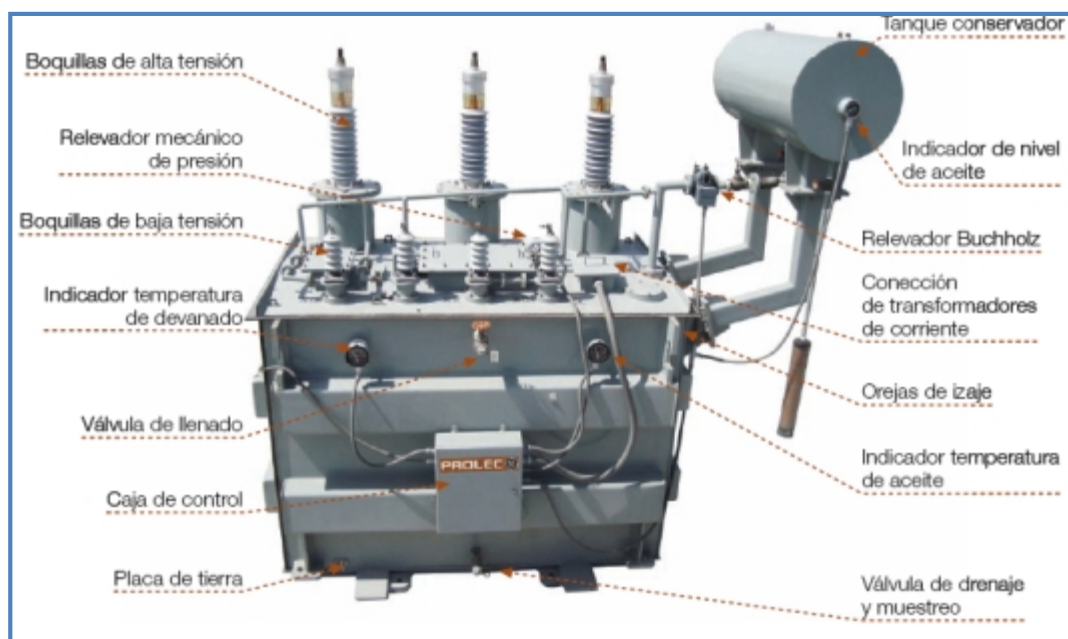


Figura 4. 25 Partes del transformador de 5MVA

Tabla 4. 14 Tabla de capacidades y voltajes del transformador 5MVA

KVA	5000
Tensiones en el Primario (v)	46000 NBAI 250 kV
Tensiones en el Secundario (v)	23000 Y/13280 V NBAI 45 kV

NBAI: Nivel Básico de Aislamiento al Impulso

Tabla 4. 15 Dimensiones generales del transformador de 5MVA

Tabla 3. Peso (kg) Volumen (lt) y dimensiones (mm)					
MVA	Alto	Largo	Ancho	Aceite	Peso
5	3900	4570	3810	9080	21750

Las conexiones de estos transformadores se pueden observar en el diagrama unifilar de la planta, se utilizan 2 transformadores de 3 MVA, para elevar el voltaje a la salida de los inversores desde 440 V a 13200 V, para luego elevar dicho voltaje por medio del transformador de 5MVA hasta 46000 V, para entregar la potencia generado por planta fotovoltaica.

Conductores de corriente continúa propuestos.

El tipo de cable que se usará en el sistema fotovoltaico presenta las siguientes características:

- Tensión normalizada 0.6/1 kV.
- Aislamiento polietileno reticulado (XLPE).
- Cubierta exterior: Policloruro de vinilo acrílico “especial intemperie” para canalización al aire.
- Policloruro de vinilo (canalización subterránea).
- Designación: RV 0.6/1 kV canalización subterránea. RV-K 0.6/1 kV resto de canalizaciones.
- Clase 5 (flexible) El nivel de aislamiento (tensión de ensayo) deberá cumplir las prescripciones de la norma UNE 211123 apartado 14.4 (3.5 kV a frecuencia industrial y $2.4 \times 3.5 = 8.4$ kV para tensión continua).

Conductores de corriente alterna propuestos

Para la parte de corriente alterna se utilizarán conductores de 95 mm² con cable Unipolar asilados con polietileno reticulado (XLPE) y con cubierta a base de policloruro de vinilo (PVC), RV 0,6/1kV, de 1x95 mm² Cu para las fases y de 1x50 mm² Cu para el neutro.

Configuración de la instalación, seguridad y protecciones.

La conexión de los sub-arreglos y arreglos fotovoltaicos, será de tipo aterrizada. Ya que la planta se encuentra en una zona de alto nivel isoceráunico³.

En cuanto a protecciones internas, en la red de corriente continua se ha propuesto la instalación de descargadores de sobretensión en cada una de las cajas de conexión, de los cuatro sub-arreglos que forman el arreglo FV de 100 kWe, y así sucesivamente para todos los arreglos FV que forman el sistema FV 5 MWe. En estas además se instalarán interruptores magnetotérmicos para asegurar la protección frente sobreintensidades de corriente.

No se han determinado al instalación de protecciones a la entrada del inversor ya que el inversor las tiene incorporadas, es decir, ya viene equipado con dicha protección. En la red de alterna, es conveniente un descargador Clase II a la salida del inversor si este no está protegido, y en el caso de conexión a la red mediante líneas aéreas o en zonas con alto riesgo de caída de rayos, es recomendable la instalación de un dispositivo Clase I, lo más cerca posible de la acometida a la red.

La interconexión estará protegida por relés de protección de tensión y frecuencia, un interruptor magnetotérmico y un interruptor diferencial. A continuación se detallan las características de los dispositivos.

Descargadores de sobretensiones en las cajas de conexión de DC.

- Conexión en estrella a prueba de fallos para utilizar según VDE0100-712 (IEC 60364-7-712).
- Para la conexión equipotencial de protección contra sobretensiones según VDE 0100-443 (IEC 60364-4-44)
- Capacidad de descarga de hasta 40 kA (8/20) por polo
- Bajo nivel de protección en DC.

³ El nivel Isoceráunico de un lugar es el número promedio de días al cabo del año en los que hay tormenta, se considera día con tormenta a aquel en el que al menos se oye un trueno.

- Descargador a base de varistores de óxido de cinc encapsulado y sin gaseo, para instalar en armarios de distribución.

Tabla 4. 16 Características de los descargadores de sobretensión de las cajas de continua.

Tipo	Descargador fotovoltaico completo V20
Tensión máxima de régimen permanente U_c	1000 VDC
Corriente de descarga nominal I_n	20 kA
Corriente de descarga máxima I_{max}	40 kA
Nivel de protección a I_n U_p	<4 kV
Dimensiones	90 x 61.8 x 54 mm
Conexión a la red	Por terminales de tornillos
Montaje Carril simétrico	2.5-35 mm
Grado de protección	IP20
Norma	DIN EN 61643-11 o IEC 61643-11

Como se observa en su ficha de características técnicas, el sub arreglo es adecuado para el generador ya que posee una tensión máxima de régimen permanente de 600 V, además posee un corriente de descarga nominal de 20 kA. El esquema de conexión es el siguiente, en el que se observa un tercer varistor en serie para alcanzar los 1000 V.

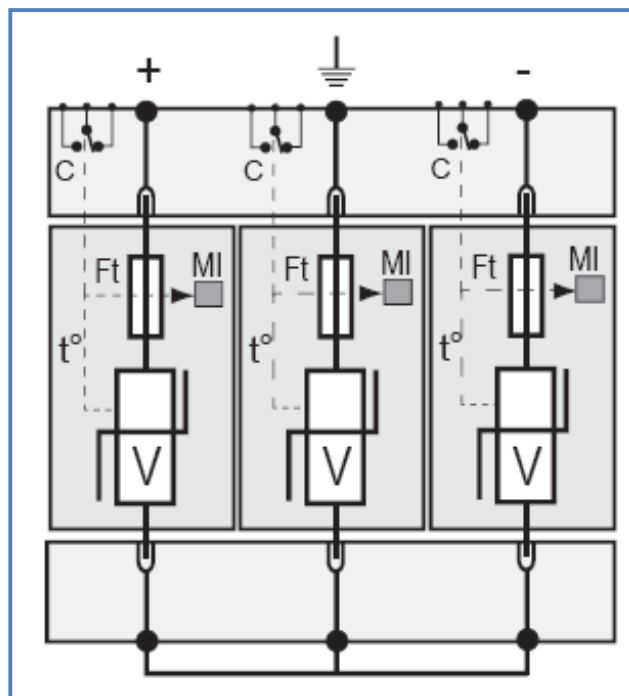


Figura 4. 26 Diagrama de conexiones de los descargadores

Estos dispositivos se conectan al electrodo de puesta a tierra de las masas, ya que el objetivo es derivar a tierra dichas sobretensiones peligrosas independientemente de su fuente de procedencia.

Interruptores magnetotérmicos en cajas

Tabla 4. 17 Características de los interruptores magnetotérmicos en las cajas de corriente continua.

Cajas de conexión	1	2	3	4
Polos	2	2	2	2
Intensidad de operación media	60 A	70 A	70A	60 A
Tensión de operación media	600 V	600 V	600 V	600 V

Tabla 4. 18 Características de los interruptores magnetotérmicos en las cajas de corriente alterna.

Polos	4
Intensidad de operación media	120 A
Tensión de operación media	480 V

Descargador de sobretensión a la salida del inversor.

Para protección de instalaciones fotovoltaicas contra sobretensiones, incluso en caso de descargas directas de rayo.

Tabla 4. 19 Descargador de sobretensión a la salida del inversor

Modelo	Descargadores monobloque Tipo 1
Tipo según	IEC 61643-1 y EN 61643-11 I + II
Tensión nominal	255 V ac /por fase
Corriente de choque de rayo	50 kA
Corriente máxima de descarga	100 kA

Interruptor diferencial

Un interruptor diferencial, también llamado disyuntor por corriente diferencial o residual, es un dispositivo electromecánico que se coloca en las instalaciones de la planta fotovoltaica, con el fin de proteger a las personas de las derivaciones causadas por faltas de aislamiento entre los conductores activos y tierra o masa de los aparatos.

Tabla 4. 20 Características del interruptor diferencial

Polos	4
Intensidad de operación media	120 A
Tensión de operación media	V
Sensibilidad	30 mA

Protecciones externas de la planta de generación fotovoltaica

La protección se realiza con los siguientes dispositivos equipados en el inversor:

- Relé de protección de máxima y mínima frecuencia, ajustado para operar en frecuencias de 61 y 59 HZ respectivamente.
- Relé de máxima y mínima tensión, ajustado para operar en tensiones de 1,1 y 0,85 Um respectivamente.
- Interruptor automático de la interconexión, para la desconexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de actuación de los anteriores relés de protección. Para evitar paradas prolongadas, el rearme de dicho interruptor debe ser automático una vez restablecida la tensión de red.

Partes metálicas y protecciones en la planta de generación fotovoltaica

En un sistema fotovoltaico, tanto las partes de corriente alterna como de corriente continua tienen partes metálicas conductoras a las que tienen acceso las personas encargadas del mantenimiento de la planta. La polarización o toma de tierra es un elemento fundamental para evitar que dichas partes metálicas causen descargas eléctricas a las personas. También hay otra protección importante que es el varistor, el cual proporciona el camino para purgar la sobretensión ocasionada por la descarga, ya que este tiene una de sus terminales a la polarización.

La polarización (parte metálica) no es una parte activa del sistema de generación fotovoltaica, sino la clave para solucionar los problemas de seguridad relacionados a fallas de aislamiento, sobrecargas y sobretensiones.



Figura 4. 27 Polarización de los tableros de la planta

4.9 Estudio de red de tierra para la planta de generación de 5MWe

Tipo de suelo en el Delirio

De acuerdo a los resultados de los estudios de suelos realizados en el Delirio, específicamente, en los terrenos del proyecto solar fotovoltaico, se determinó que el tipo de suelo predominante es Marga y Arcillas Compactas, los cuales se observaron en la primera capa superficial del terreno es decir a una profundidad de 0.5 metros, que es el nivel del terreno en el cual se instalará la red de puesta a tierra (cable de cobre desnudo calibre No. 4/0 AWG). Este conductor de puesta a tierra deberá ser de cobre para que minimicen la corrosión durante su vida útil prevista⁴.

Entre las recomendaciones los conductores de puesta a tierra no deben tener empalmes, de tal forma que no se incremente notablemente la resistencia del conductor, así como deberán tener adecuadas características mecánicas y de resistencia a la corrosión.

⁴ *El estudio fue realizado por los autores de la tesis, con recursos de la universidad Don Bosco*

NATURALEZA DEL TERRENO	Resistividad en Ω -
Limo	De algunas unidades a 30
Humus	20 a 100
Turba Húmeda	10 a 150
Arcilla Plástica	5 a 100
Marga y Arcillas Compactas	50
Margas del jurásico	100 a 200
Arena Arcillosa	30 a 40
Arena Silíceo	50 a 500
Suelo Pedregoso Cubierto de Césped	200 a 300
Suelo Pedregoso Desnudo	300 a 500
Calizas Blandas	1,500 a 3,000
Calizas Compactas	100 a 300
Calizas Agrietadas	1,000 a 5,000
Pizarras	500 a 1,000
Roca de Mica o Cuarzo	50 a 300
Granito y Gres procedentes de Alteraciones	500 a 5000
	1,500 a 10,000
	5,000 a 15,000

Figura 4. 28 Resistividad del terreno [www. totalground.com]

De acuerdo a tablas de resistividad eléctrica (ohmios metro, Ω -m) de los suelos, la característica del suelo tipo Marga y Arcilla Compactas, tiene un valor de conductividad eléctrica bastante bueno, lo que favorece a la red de puesta a tierra del proyecto.

Descripción de la red de puesta a tierra

Los cálculos y el diseño final de la red de puesta a tierra del proyecto deberán cumplir con, el estándar del Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos conocido por sus siglas en ingles IEEE-80, como también bajo el acuerdo 29-E-2000 emitido por la SIGET.

El cálculo deberá utilizar una resistividad del terreno de 200 ohmios metro (Ω - metro) como mínimo, si la resistividad del terreno fuese mayor a 200 ohmios metro, se deberá diseñar y construir la red de tierra con la resistividad medida del terreno.

Como diseño básico de puesta a tierra de las áreas de obra permanente como la subestación eléctrica, planta de emergencia, sistemas eléctricos, transformador de servicio, medidores, entre otros, se considera utilizar una sola red de puesta a tierra, la cual consiste en colocar un cable de cobre desnudo calibre 4/0 AWG alrededor de la superficie de la infraestructura ocupada por los equipos, y conectando derivaciones a cada aparato o equipo eléctrico, mediante un cable de cobre desnudo, con lo que eliminan las grandes distancias

de descarga a tierra y se disminuyen los potenciales eléctricos peligrosos al disiparse la corriente de falla por los varios caminos en paralelo.

La malla de puesta a tierra se conectará, a un número determinado de barras de cobre, las cuales harán que se alcance el valor deseado, el cual para una planta de 5MVA es de 1 ohmio; las conexiones de la malla entre conductores y barras de cobre serán de soldadura tipo “cadweld” para evitar que estos puntos alcance una mayor resistencia.

En las instalaciones de puesta a tierra de los módulos fotovoltaicos, se considera el sistema tipo red, con lo que se instalará cable de cobre desnudo, considerando que las estructuras de soporte de módulos servirán como barra de puesta a tierra multiterrizado, es decir valores reducidos de tierra por los diferentes puntos interconectados.

Los cables de guarda de la subestación deberán igualmente ser conectados a la red de puesta a tierra a través de conectores adecuados siempre con el objetivo de no tener puntos vulnerables para las corrientes de falla o puntos que nos incrementen la resistencia. Para mejorar la resistividad del terreno, cuando se realice la excavación para los conductores de tierra se aplicarán sustancias salinas.

Sistema de comunicación de la planta fotovoltaica

El sistema de comunicación de la planta será como se muestra en la figura 4.23, este arreglo ha sido hecho para el sistema de 5 MWp, el mismo busca tener una medición continua de las variables eléctrica para un buen control de la planta. Entre las variables eléctricas que se pretende monitorear se encuentran:

Módulos Fotovoltaicos: en estos elementos se pretende monitorear las variables eléctricas (voltaje, corriente, potencia, temperatura de célula, velocidad de viento, temperatura ambiente entre otras).

Inversor, en este elemento se monitorearán las variables eléctricas de salida del mismo (voltaje, corriente, frecuencia, potencia, principalmente)

Subestaciones: se pretende monitorear los niveles de voltaje, corriente y potencia.

Estación meteorológica: se pretende monitorear temperatura, radiación solar, humedad entre otras.

Este sistema de monitoreo está conectado por medio de una red Ethernet, lo que permitirá que todos los equipos sean conectados entre sí. Las ventajas de este sistema, es que proporciona sistemas de red a nivel de toda la planta con el uso de tecnologías de conexión de red abierta y estándar del sector, permite control e información en tiempo real en aplicaciones discretas y de proceso continuo, lotes, seguridad, variadores, movimiento y alta disponibilidad.

La red conecta dispositivos tales como arrancadores de motor y sensores a controladores, dispositivos HMI, entre otros. Este sistema lo proporciona la empresa Allen Bradley, con años de experiencia en el campo e incluyen todos los dispositivos para el control de la planta fotovoltaica.

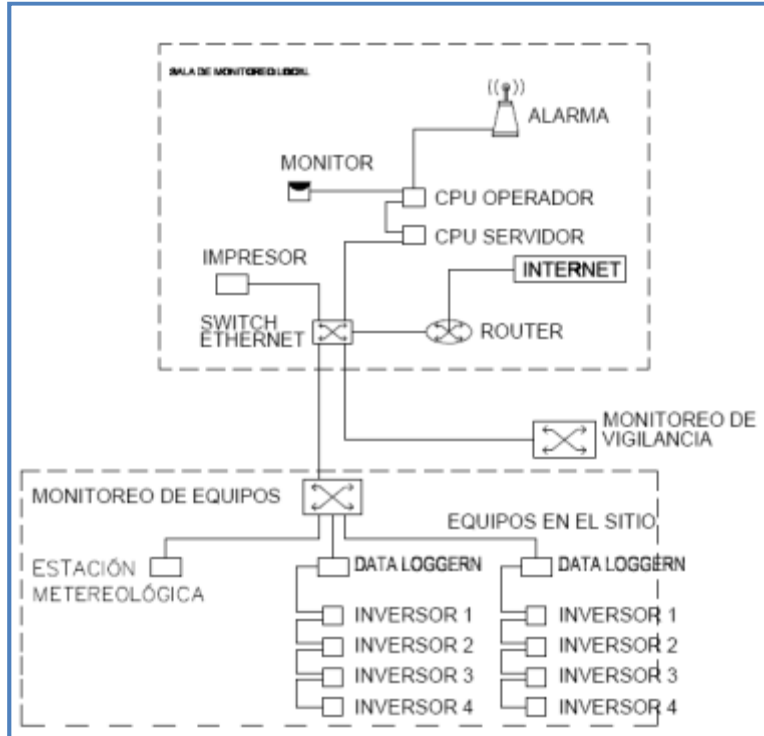


Figura 4. 29 Diagrama de comunicación

Otra ventaja es que se tendrá un sistema de alarmas para aviso ante cualquier variable eléctrica que este fuera de los valores preestablecidos para el buen funcionamiento de la planta, se contará con un monitor para visualizar gráficamente el comportamiento de cada unos de los puntos que están siendo monitoreados, así como con un impresor para obtención de reportes.

Planta de emergencia eléctrica.

En el diseño de la planta fotovoltaica se ha considerado un planta de emergencia de 15 kVA, la cual servirá para respaldo de los sistemas sensibles, entre ellos podemos mencionar el sistema de protecciones, el sistema de monitoreo sistemas de iluminación y equipo, ya que se considera necesitado de un servicio 7/24 durante todo el año.



Figura 4. 30 Generado Diesel Mitsubishi 15KVA

A continuación se presenta el diagrama unifilar eléctrico de la planta de generación de 5 MWe.

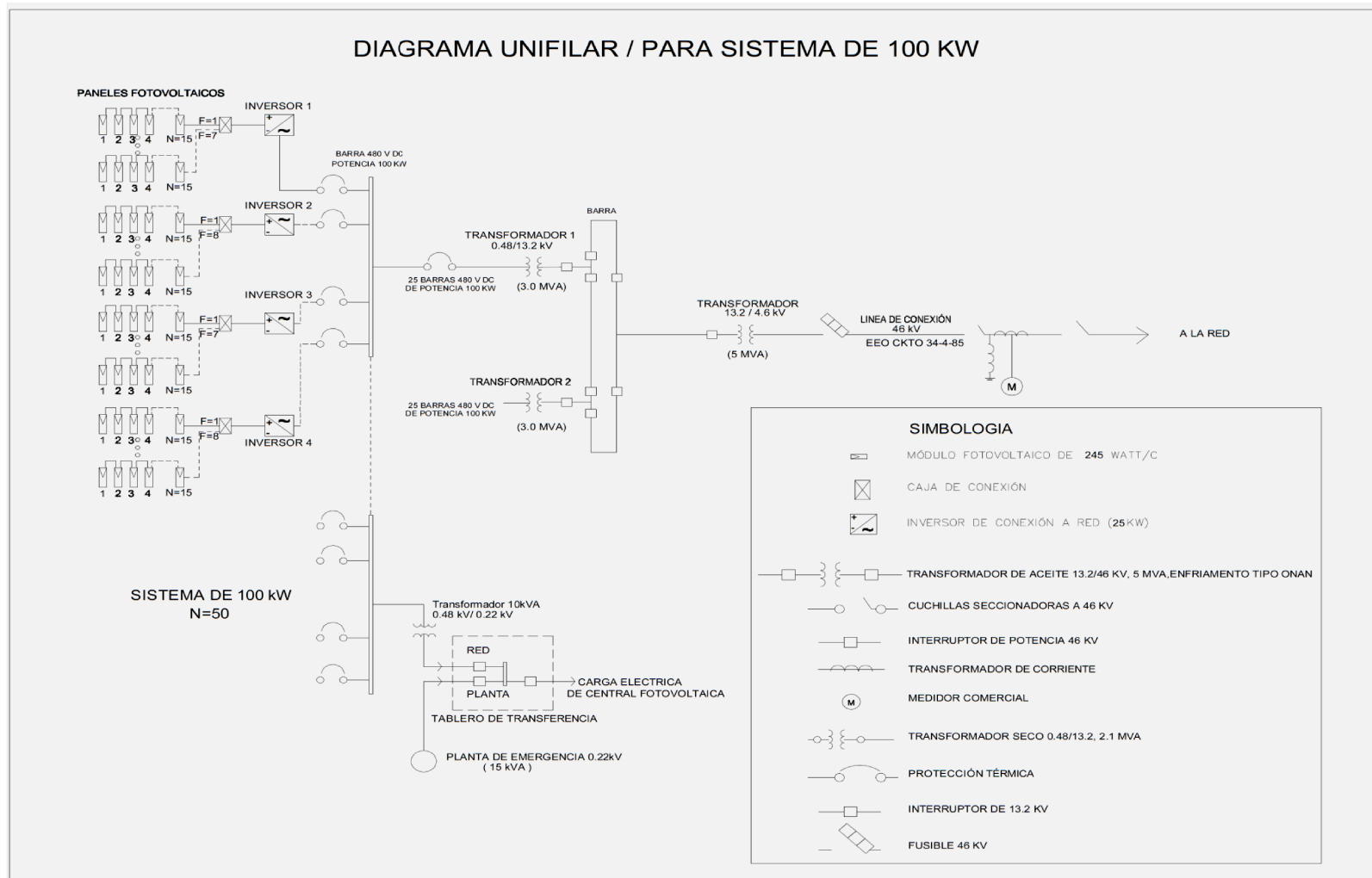


Figura 4. 31 Diagrama unifilar de la planta fotovoltaica (Ver anexo VI)

Distribución de Planta solar fotovoltaica de 5 MWe



Nomenclatura	
	Módulos fotovoltaicos
	Cerco perimetral externo
	Cerco perimetral interno
1	Área Verde
2	Oficina, bodega, sala de monitoreo y operaciones
3	Caseta de entrada
4	Torre de vigilancia
5	Subestación eléctrica elevadora
5-A	Transformador de servicio propio
5-B	Sistema eléctrico de respaldo
5-C	Planta de emergencia
6	Calle internas de planta
7	Transformadores elevadores

Esquema de ubicación



Figura 4. 32 Planimetría planta solar fotovoltaica propuesta (Ver AnexoX)

A continuación se muestra una imagen que representa el montaje de la planta de generación fotovoltaica de 5 MWe, una vez instalada en el sector seleccionado. Los módulos fotovoltaicos serán instalados de forma apaisada (horizontal) orientados al Ecuador con acimut 0° .



Figura 4. 33 Distribución de la planta fotovoltaica 5 MWe(obtenida de la web)

5. Evaluación Ambiental

De igual forma que se establece la factibilidad técnica y económica, la rentabilidad de la inversión y los estudios de mercado en los proyectos de desarrollo para generación de energía eléctrica, resulta ahora necesario evaluar la Factibilidad Ambiental de los mismos.

La evaluación ambiental deberá proporcionar componentes fundamentales para las decisiones en cuanto a, ubicación final y diseño definitivo de los elementos que conforman el proyecto; así como las directrices de acción que garanticen el menor impacto ambiental, el cumplimiento de la legislación ambiental durante la construcción y funcionamiento del mismo, los cuales lograrán la interrelación adecuada del proyecto con el entorno, paisaje natural, uso y manejo apropiado de los recursos naturales del inmueble y de la zona y planteamiento de medidas de prevención, compensación y mitigación de los impactos ambientales que se pudieran ocasionar. De esta manera se asegura un contexto de mucha mayor certeza en el éxito, ambiental y social del proyecto.

De acuerdo a la Ley del Medio Ambiente-LMA, la evaluación del impacto ambiental *“Es un conjunto de acciones y procedimientos que aseguran que las actividades, obras o proyectos que tengan un impacto ambiental negativo en el ambiente o en la calidad de vida de la población, se sometan desde la fase de preinversión a los procedimientos que identifiquen y cuantifiquen dichos impactos y recomienden las medidas que los prevengan, atenúen, compensen o potencien, según sea el caso, seleccionando la alternativa que mejor garantice la protección del medio ambiente.”*

Para la obtención del Permiso Ambiental de construcción y funcionamiento, para el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica, éste deberá de someterse a la evaluación de impacto ambiental, mediante el ingreso del Formulario Ambiental. El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales-MARN, categorizará el proyecto de acuerdo a su envergadura y a la naturaleza del impacto potencial. Para la realización de la categorización del proyecto, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales ha elaborado el Documento de Categorización de Actividades, Obras o proyectos según la Ley del Medio Ambiente de acuerdo a su potencial impacto, por lo que establece el *Grupo A* como impacto ambiental potencial bajo y *Grupo B* como potencial impacto ambiental leve, moderado o alto, como se muestra en la figura 4.1.

Las actividades, obras o proyectos destinados al aprovechamiento de la energía solar para la generación de calor o energía eléctrica, que se encuentran dentro del Grupo A, para los cuales no se requiere de presentación de documentación ambiental, son:

- Aprovechamiento térmico de la energía solar para intercambio de calor en edificaciones existentes.

- Instalación de módulos solares fotovoltaicos u otros dispositivos para captar la energía solar hasta 100 kW en edificaciones existentes.
- Instalación de módulos u otros dispositivos solares fotovoltaicos, con capacidad de hasta 100 kW en viviendas unifamiliares, condominios multifamiliares horizontales o en altura, centros comerciales, educativos y naves industriales u otras instalaciones ya existentes, ya sea para autoconsumo y/o conectados a la red.

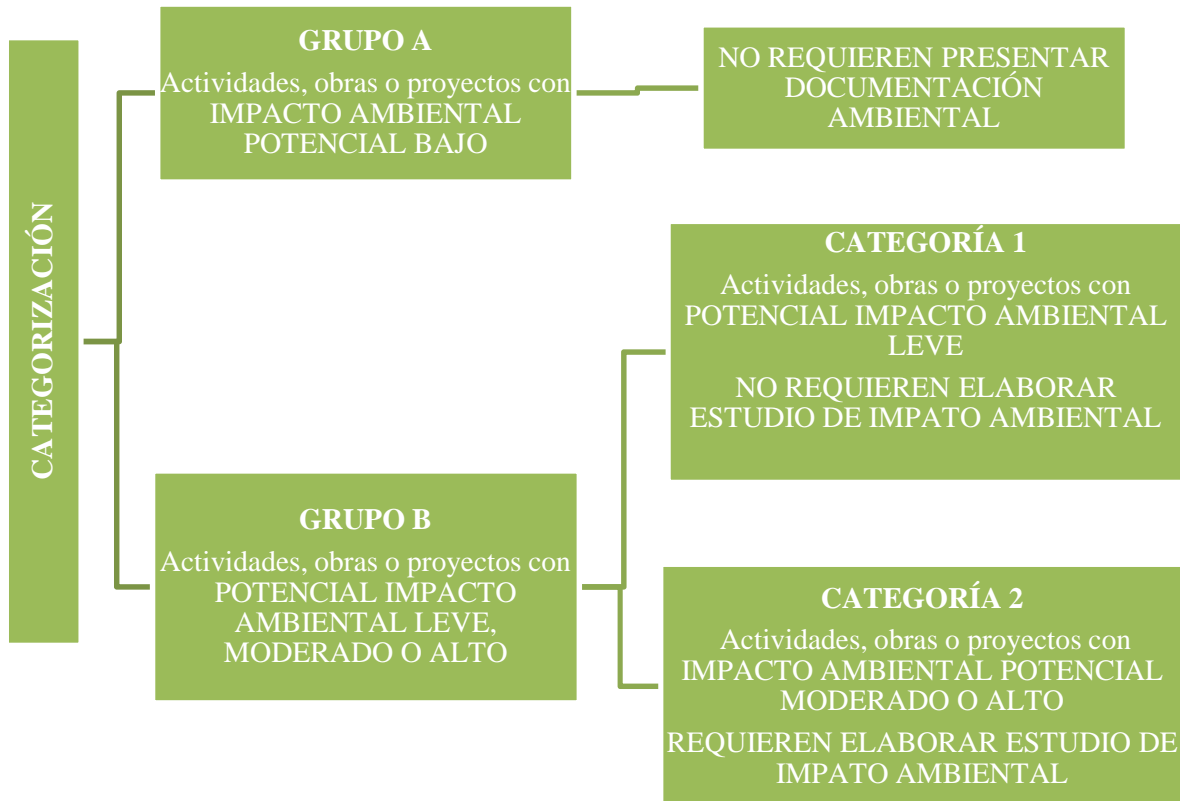


Figura 5. 1Categorización de Actividades, obras o proyectos según la Ley del Medio Ambiente [Documento de Categorización de actividades, obras o proyectos, MARN]

Para los proyectos contenidos dentro del Grupo B, Categoría 1, con potencial impacto ambiental leve, el MARN emitirá *Resolución de No Requiere Elaborar Estudio de Impacto Ambiental*, a través del Formulario Ambiental debidamente completado y con la información anexa que con él se solicite.

Las actividades, obras o proyectos incluidos dentro del Grupo B, Categoría 2, deberán presentar un *Estudio de Impacto Ambiental*. El MARN emitirá una Resolución determinando que se requiere de la elaboración de dicho documento, para lo cual se anexarán los Términos de Referencia correspondientes.

5.1 Evaluación ambiental del proyecto

A continuación se presenta la evaluación ambiental del proyecto para la instalación de la Planta solar fotovoltaica con una potencia de 5 MW, en el municipio del Delirio departamento de San Miguel, de acuerdo a los criterios establecidos dentro del documento de Categorización.

Tabla 5. 1Categorización de proyecto Planta Fovoltaiica 5 MW

Criterios	Grupo B		
	Categoría 1	Categoría 2	“Proyecto Fovoltaiico 5 MW”
Área a utilizar	Hasta 5 Hectáreas (Ha).	Mayor de 5 Hectáreas (Ha).	El proyecto utilizará un área de 13 hectáreas.
Cobertura vegetal	Pastizales, cañales y otras áreas abiertas con cobertura vegetal arbustiva y/o arbórea, hasta 10 árboles/Ha, con DAP igual o mayor de 20 cm.	Cobertura vegetal arbórea, mayor de 10 árboles/Ha con DAP igual o mayor de 20 cm	Existe cobertura vegetal de 17 árboles/ha (madre cacao, <i>Gliricidia sepiu</i>) utilizados como cercos vivos en el lindero del inmueble, las cuales no serán afectados, únicamente se tiene previsto su mantenimiento por medio de podas periódicas cuando se consideren necesarias. La cobertura vegetal existente dentro del inmueble deberá ser removida (8 árboles/ha); sin embargo se ha destinado un área en el sector Norte del inmueble donde se realizará la plantación de 320 árboles de la zona en un área de 0.8 hectáreas.
Clase de generación	Fotovoltaica o termo solar	Fotovoltaica, termo solar, térmica concentrada	Fotovoltaica (módulos policristalinos)
Topografía	Pendiente promedio hasta del 15%	Pendiente promedio mayor del 15%	El inmueble presenta una pendiente menor al 5%
Localización	Fuera de Áreas Naturales Protegidas, sus zonas de amortiguamiento y áreas de recarga acuífera.	Dentro de Áreas Naturales Protegidas, sus zonas de amortiguamiento, áreas de recarga acuífera y en zona costero marina	El proyecto se ubicará en las coordenadas N 13.432179°, O - 88.156176°. El inmueble se encuentra fuera de Áreas Naturales Protegidas, sus zonas de amortiguamiento, áreas de recarga acuífera y zona costero marina.
Capacidad de generación	De más de 100 kW hasta 5 MW	Mayor de 5 MW	La potencia a instalar será de 5 MW.

Criterios	Grupo B		
	Categoría 1	Categoría 2	“Proyecto Fotovoltaico 5 MW”
Generación de desechos sólidos	Si se conectan a la red, no hay generación de desechos. Si hay almacenamiento de energía, se utilizan acumuladores requiriendo un manejo ambiental adecuado.	Si se conectan a la red, no hay generación de desechos. Si hay almacenamiento de energía, se utilizan acumuladores requiriendo un manejo ambiental adecuado	No se almacenará energía eléctrica. Toda la energía generada será inyectada en la red eléctrica.
Amenaza natural	Las amenazas naturales se han valorado como con Grado de Amenazas Moderado (A2)	Las Amenazas se han valorado por un Grado Alto (A3) o Muy Alto (A4) por lo que es necesario análisis detallado de las amenazas y presentar medidas de prevención, preparación y/o atención a la emergencia en el caso de producirse el evento esperado.	De acuerdo a la naturaleza del proyecto, el grado de amenaza natural sísmica, volcánica, inundación y deslizamientos se han determinado como Moderadas (A2)

En base a lo anterior se determina que según los criterios de categorización, *área a utilizar y potencia a instalar*, el proyecto se encuentra dentro de la Categoría 2, por lo que requiere de la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental.

Sin embargo dentro del diseño del proyecto, se ha considerado la ejecución de las siguientes actividades, como medidas ambientales:

- *Reforestación*, plantación de 320 árboles en el sector Nor-oeste del inmueble, con especies compatibles con las condiciones ambientales de la zona.
- *Manejo adecuado de los desechos sólidos generados por los operarios*, instalación de contenedores por tipo de desechos para reciclaje del material que presente potencial aprovechamiento posterior.
- *Manejo de agua residual*, durante la construcción del proyecto, se tiene previsto la dotación de sanitarios portátiles (1 por cada 15 trabajadores) y sanitarios fijos conectados a una fosa séptica con tratamiento secundario apropiado. Durante la operación se proyecta la instalación de una fosa séptica y pozo de absorción.
- *Manejo de escorrentía superficial*, se realizarán obras de drenaje para el manejo de la escorrentía superficial que se verá incrementado por la impermeabilización de áreas puntuales, sin embargo en el sector de instalación de los módulos fotovoltaicos no será impermeabilizada completamente, ya que los sistemas de instalación de los módulos comprenden zapatas aisladas.

- *Dotación de agua potable*, se prevé se tendrá un consumo mensual de agua, de 10 m³ para uso doméstico, para la limpieza de los módulos fotovoltaicos 45 m³, actividad que se realizará únicamente en época seca. El abastecimiento para estas actividades será mediante la contratación del servicio de camiones cisterna. Se instalará un tanque con capacidad de 2500 litros, el abastecimiento de agua para consumo será mediante botellas con agua potable.

Para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental, para el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del recurso solar, de acuerdo a los términos de referencia tipo, se deberá de destacar la generación de los impactos ambientales negativos, irreversibles e inevitables, haciendo énfasis, pero sin limitarse a los siguientes:

Calidad de aire:

- Emisión de polvo, por arrastre de viento durante la etapa de construcción.

Recursos hídricos

- Impermeabilización del área del proyecto y pérdida de infiltración.

Recurso suelo

- Cuantificar las cantidades totales de ripio y material pétreo que habrán de generarse como parte de las actividades de preparación de sitio y construcción. Definir y respaldar disposición final de dicho desecho. En caso que para el cálculo de la cantidad de ripio a generar se haga uso de factores y/o correlaciones bibliográficas, estas deberán de ser sustentadas y referenciadas.
- Generación, manejo y disposición de desechos peligrosos (aceites, solventes, wypes, contenedores, entre otros)
- Riesgo de deslizamientos.
- Derrame incidental de combustible, químicos y desechos peligrosos.

Impactos biológicos

- Describir y cuantificar las alteraciones en la cubierta vegetal, considerando sin limitarse a ello: deforestación y pérdida de conectividad
- Describir y cuantificar afectaciones a especies del reino animal, considerando sin limitarse a ello: Pérdida de hábitat, rutas migratorias y/o corredores biológicos, áreas de cría, desove (asociados con pérdidas o cambio en la cobertura vegetal).
- Describir y cuantificar las alteraciones en las poblaciones de especies y vida silvestre.
- Describir y cuantificar las alteraciones en las especies en peligro de extinción o amenazadas.
- Alteración, destrucción o afectación de la dinámica de ecosistemas.

Impactos físicos químicos

- Alteración del microclima del área de influencia.

- Alteración del paisaje.

Impactos socioeconómicos y culturales

- Interrupción o eliminación de los medios de vida de las personas (agricultura, turismo, y otras no contempladas).

La predicción y evaluación de los impactos ambientales se efectuará cuando corresponda, considerando el estado de los elementos del medio ambiente en su condición más desfavorable. La identificación de impactos deberá incluir entre otros aspectos las fases del proyecto, la actividad generadora del impacto, el componente del medio que lo recibirá y la descripción de la interacción actividad del proyecto – componente o factor ambiental. En base a esto, se deberá de proponer las medidas ambientales correspondientes de prevención, atenuación y compensación.

6. Evaluación Económica

6.1 Introducción Análisis de factibilidad financiera

Desde un punto de vista estrictamente económico, la instalación de una planta fotovoltaica implica hacer una alta inversión inicial, con la espera de beneficios una vez la planta fotovoltaica produzca energía eléctrica la cual, para el caso, será inyectada al sistema eléctrico nacional de El Salvador, recibiendo el pago respectivo por vatio eléctrico inyectado según haya sido pactado entre el productor de energía y el comprador de energía, para el caso la distribuidora de la zona oriente (EEO).

Se sabe que en la mayoría de los países desarrollados existen muchos mecanismos financieros destinados a fomentar los proyectos de generación fotovoltaica. Para el caso de El Salvador, aún no hay un mecanismo bien definido de incentivos para este tipo de proyectos y los que están no han logrado generar el interés por parte de los inversionistas en este tipo de proyecto. Dado lo anterior, para el análisis de rentabilidad del proyecto en cuestión solo se consideraran los incentivos fiscales, la venta de CER a través de la generación de energía limpia y algunas condiciones privilegiadas por parte del financiamiento de los bancos, como por ejemplo un bajo interés.

Para el análisis financiero citado anteriormente se realizara para tres escenarios en los cuales se modificara el precio de venta de la energía fotovoltaica producida (en adelante denominados como escenarios A, B y C).

A continuación se presenta las consideraciones hechas en el análisis de factibilidad financiera que se realizo, para evaluar el proyecto fotovoltaico de 5 MWe instalados en el Delirio, Departamento de San Miguel, EL Salvador.

Las consideraciones financieras se han determinado según la experiencia de proyecto de generación de energías renovables instaladas a nivel mundial:

- De acuerdo al presupuesto del proyecto se ha determinado que el proyecto requiere una inversión de US\$ 13225,800.
- Lo que significa que tenemos una relación aproximadamente de 2.65 millones de dólares por cada 1 MWe instalado.
- El apalancamiento de la banca o financiamiento que se solicitará será de 70% de la inversión total, lo que representa US\$ 9258,060 dólares.
- El plazo de devolución será de 20 años.
- El tipo de interés anual será del 5%.

- La comisión y seguro se han tomado del 0%.
- La tasa de inflación del proyecto es de 4.0%.
- Se ha estimado un precio de venta de 150 US\$/MWh propuesta A.
- Se ha estimado un precio de venta de 200 US\$/MWh propuesta B.
- Se ha estimado un precio de venta de 234 US\$/MWh propuesta C.
- Se ha considera que el proyecto se venderán certificados de carbón (CER).
- El precio de los CER será US\$1/1Ton CO2.
- Se ha considera un factor de emisión de red de la unidad.
- Antes de invertir, una persona siempre tiene en mente una tasa mínima de ganancia sobre la inversión propuesta, llamada tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) la cual se calcula de la siguiente manera:

$$\text{TMAR} = \text{Índice inflacionario} + \text{Premio al riesgo}$$

Que para el caso se ha considerado con un porcentaje del 10%

De acuerdo a la información del mercado internacional, en cuanto al costo de los módulos fotovoltaicos se sabe que durante las últimas tres décadas, se ha mostrado una tasa de disminución del 19.3%. Se espera que esta tendencia continúe años con año, dadas las posibilidades de mejorar el rendimiento y los costos, así como en los procesos de fabricación de los mismos.

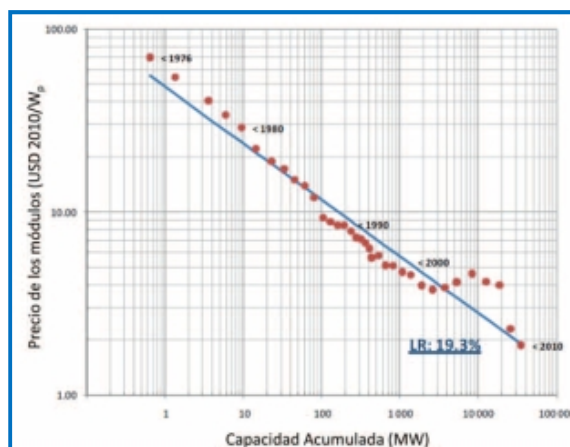


Figura 6. 1 Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés)

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 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.

Consultando precios internacionales y diferentes marcas de módulos policristalinos, se ha considerado estimar un valor US\$1.22 /kWp, ya que el valor cambia en el orden de los Megavatios instalados, esto debido a la economía de escala por lo que en proyecto este costo representa un valor de US\$ 6750,000.

6.2 Costo de Subestación Eléctrica

El costo de las subestaciones eléctricas, se han calculado de la siguiente forma, US \$45000 /MWe, esto tomado de precios internacionales de equipos similares instalados, en el proyecto estos representan un costo de US\$500,000.00. Se presenta los costos totales del proyecto como también la representación en porcentaje del monto total.

Tabla 6. 1 Inversión total del proyecto

Item	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	% costo	Costo US\$
1	Módulos Fotovoltaicos Kyocera	22,500	\$ 300.00	51.04%	\$ 6750,000.00
2	Inversor 25 KW	204	\$ 15,000.00	23.14%	\$ 3060,000.00
3	Estructuras de Sujeción	22,500	\$ 50.00	8.51%	\$ 1125,000.00
4	Cajas de conexión	204	\$ 200.00	0.31%	\$ 40,800.00
5	Cajas de protección y Contador de energía	50	\$ 3,500.00	1.32%	\$ 175,000.00
6	Cableado interior	50	\$ 5,000.00	1.89%	\$ 250,000.00
7	Montaje y conexonado	50	\$ 10,000.00	3.78%	\$ 500,000.00
8	Sistema de Seguridad	50	\$ 1,000.00	0.38%	\$ 50,000.00
9	Obras civiles	15	\$ 25,000.00	2.84%	\$ 375,000.00
10	Sub estación y Línea	1	\$ 500,000.00	3.78%	\$ 500,000.00
11	Sistema de control	1	\$ 50,000.00	0.38%	\$ 50,000.00
12	Consultoría	1	\$ 350,000.00	2.65%	\$ 350,000.00
				100.00%	\$ 13225,800.00

A continuación se presenta la distribución de la inversión en un diagrama de pastel, donde se puede apreciar el porcentaje de inversión por rubro.

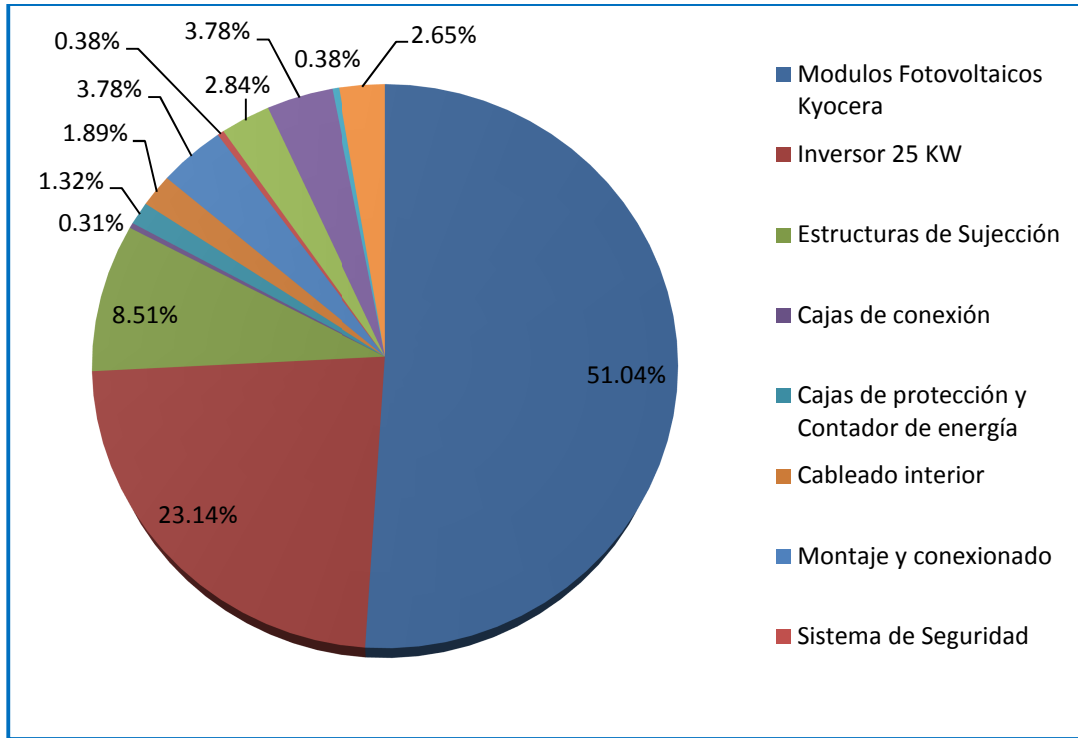


Figura 6. 2 Distribución de la inversión

Los ingresos de la planta de generación fotovoltaica se obtuvieron de la producción anual de la misma, la cual es el resultado de la simulación hecha en Programa PVSyst V5.67, el detalle se presenta de forma mensual y anual.

Tabla 6. 2 Balance y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
Enero	161.5	24.80	187.5	182.5	839020	820599	11.77	11.52
Febrero	138.0	25.70	150.0	145.7	670657	656023	11.76	11.51
Marzo	147.9	26.20	150.4	145.6	665365	650645	11.64	11.38
Abril	132.3	26.80	128.1	123.6	573590	560862	11.78	11.52
Mayo	142.6	26.00	132.9	128.1	598668	585522	11.85	11.59
Junio	142.2	25.30	130.1	125.2	590011	577212	11.94	11.68
Julio	147.9	25.60	136.5	131.5	620866	607510	11.96	11.71
Agosto	135.5	25.60	129.1	124.6	584002	571029	11.90	11.64
Septiembre	143.1	24.90	142.9	138.2	642017	627816	11.82	11.56
Octubre	148.8	24.70	157.2	152.7	705465	690232	11.81	11.55
Noviembre	141.9	24.70	159.1	154.5	719822	704516	11.90	11.65
Diciembre	155.3	24.70	185.0	180.0	829145	811336	11.79	11.54
Año	1737.0	25.41	1788.9	1732.1	8038627	7863301	11.82	11.56

6.3 Periodos temporales:

- Vida útil del proyecto: 20 años.
- Periodo de amortización: 20 años (gasto anual Adicional fijo).
- El impuesto sobre la renta se ha colocado de 30%, por el tipo y capacidad del proyecto. Además no se pagaran impuestos sobre la renta por los primeros 10 años. Esto está respaldado bajo el **ACUERDO N°. 162-E-2012, el cual establece: literal b) Exención del pago del Impuesto sobre la Renta, por un período de cinco años en el caso de los proyectos entre 10 y 20 megavatios (MW), y de diez años en el caso de los proyectos de menos de 10 megavatios (MW); en ambos casos a partir de la entrada en operación comercial del Proyecto, correspondiente al ejercicio fiscal en que obtenga ingresos.**

6.4 Flujo de caja

A continuación se presenta el flujo de caja, de las diferentes variables que intervienen en el análisis financiero.

PROYECTO FOTOVOLTAICO		2,013	2,014	2,015	2,016	2,017	2,018
	Unidades	0	1	2	3	4	5
Tasa de inflación				4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
MRS			234.00	243.36	253.09	263.22	273.75
Precio de venta	US\$/MWh	-	234.00	243.36	253.09	263.22	273.75
Inversión	US\$	(3967,740.00)					
Capital de riesgo (prestamo)	US\$	(9258,060.00)					
Ingresos	US\$	-	1839,022.03	1928,301.05	2004,804.36	2084,367.81	2167,113.80
Costos	US\$	-	89,000.00	92,560.00	96,262.40	100,112.90	104,117.41
Pago Financiamiento de Banco			486,048.15	486,048.15	486,048.15	486,048.15	486,048.15
Utilidad bruta	US\$	-	1263,973.88	1349,692.90	1422,493.81	1498,206.77	1576,948.24
Depreciación	US\$		1026,790.00	1026,790.00	1026,790.00	1026,790.00	1026,790.00
Utilidad antes de impuestos	US\$		237,183.88	322,902.90	395,703.81	471,416.77	550,158.24
Impuestos Sobre la Renta	US\$		-	-	-	-	-
Utilidad neta después de impuestos	US\$		237,183.88	322,902.90	395,703.81	471,416.77	550,158.24
Depreciación	US\$		1026,790.00	1026,790.00	1026,790.00	1026,790.00	1026,790.00
Valor Residual	US\$						
Flujo de efectivo	US\$	(13225,800.00)	1263,973.88	1349,692.90	1422,493.81	1498,206.77	1576,948.24
PROYECTO							
TIR (Evaluación 20 años)	%		10.04%				
VAN	US\$		\$18697,295.57				

Figura 6. 3 Flujo de Caja (año 1...5)

PROYECTO FOTOVOLTAICO	2,019 6	2,020 7	2,021 8	2,022 9	2,023 10	2,024 11	2,025 12	2,026 13	2,027 14
Tasa de inflación	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
MRS	284.70	296.08	307.93	320.25	320.25	320.25	320.25	320.25	320.25
Precio de venta	284.70	296.08	307.93	320.25	320.25	320.25	320.25	320.25	320.25
Inversión									
Capital de riesgo (prestamo)									
Ingresos	2253,169.63	2342,667.69	2435,745.67	2532,546.77	2532,546.77	2532,546.77	2532,546.77	2532,546.77	2532,546.77
Costos	108,282.11	112,613.39	117,117.93	121,802.65	126,674.75	131,741.74	137,011.41	142,491.87	148,191.54
Pago Financiamiento de Banco	486,048.15	486,048.15	486,048.15	486,048.15	486,048.15	486,048.15	486,048.15	486,048.15	486,048.15
Utilidad bruta	1658,839.37	1744,006.14	1832,579.59	1924,695.97	1919,823.87	1914,756.88	1909,487.21	1904,006.75	1898,307.08
Depreciación	1006,790.00	1006,790.00	1006,790.00	1006,790.00	1006,790.00	520,790.00	520,790.00	520,790.00	520,790.00
Utilidad antes de impuestos	652,049.37	737,216.14	825,789.59	917,905.97	913,033.87	1393,966.88	1388,697.21	1383,216.75	1377,517.08
Impuestos Sobre la Renta	-	-	-	-	-	418,190.06	416,609.16	414,965.03	413,255.12
Utilidad neta después de impuestos	652,049.37	737,216.14	825,789.59	917,905.97	913,033.87	975,776.81	972,088.05	968,251.73	964,261.95
Depreciación	1006,790.00	1006,790.00	1006,790.00	1006,790.00	1006,790.00	520,790.00	520,790.00	520,790.00	520,790.00
Valor Residual									
Flujo de efectivo	1658,839.37	1744,006.14	1832,579.59	1924,695.97	1919,823.87	1496,566.81	1492,878.05	1489,041.73	1485,051.95
PROYECTO									
TIR (Evaluación 20 años)									
VAN									

Figura 6. 4 Flujo de Caja (año 6...14)

PROYECTO FOTOVOLTAICO	2,028 15	2,029 16	2,030 17	2,031 18	2,032 19	2,033 20
Tasa de inflación	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
MRS	320.25	320.25	320.25	320.25	320.25	320.25
Precio de venta	320.25	320.25	320.25	320.25	320.25	320.25
Inversión						
Capital de riesgo (prestamo)						
Ingresos	2532,546.77	2532,546.77	2532,546.77	2532,546.77	2532,546.77	2532,546.77
Costos	154,119.20	160,283.97	166,695.33	173,363.14	180,297.67	187,509.58
Pago Financiamiento de Banco	486,048.15					
Utilidad bruta	1892,379.42	2372,262.80	2365,851.44	2359,183.62	2352,249.10	2345,037.19
Depreciación	520,790.00	20,790.00	20,790.00	20,790.00	20,790.00	20,790.00
Utilidad antes de impuestos	1371,589.42	2351,472.80	2345,061.44	2338,393.62	2331,459.10	2324,247.19
Impuestos Sobre la Renta	411,476.82	705,441.84	703,518.43	701,518.09	699,437.73	697,274.16
Utilidad neta después de impuestos	960,112.59	1646,030.96	1641,543.01	1636,875.54	1632,021.37	1626,973.03
Depreciación	520,790.00	20,790.00	20,790.00	20,790.00	20,790.00	20,790.00
Valor Residual						
Flujo de efectivo	1480,902.59	1666,820.96	1662,333.01	1657,665.54	1652,811.37	1647,763.03
PROYECTO						
TIR (Evaluación 20 años)						
VAN						

Figura 6. 5 Flujo de Caja (año 15...20)

6.5 Resultados del análisis financiero.

En el análisis financiero se revisaron 2 criterios económicos los cuales son ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Estos son el valor actual neto conocido como VAN y el otro criterio es la tasa de retorno interno ó tasa de rentabilidad conocida como TIR.

1. *Resultados propuesta A) donde se ha colocado un precio de venta de la energía producida de 150 US\$/MWh.*

El primer criterio nos da una **(TIR) de 2.76 %**

El segundo criterio nos da un **(VAN) US\$ 4483,123.30**

2. *Para la propuesta B) de 200 US\$/MWh los resultados son los siguientes:*

El primer criterio nos da una **(TIR) de 7.28 %**

El segundo criterio nos da un **(VAN) US\$ 12943,940.13**

3. *Para la propuesta C) de 234 US\$/MWh los resultados son los siguientes:*

El primer criterio nos da una **(TIR) de 10.04 %**

El segundo criterio nos da un **(VAN) US\$ 25156,741.67**

De los anterior podemos concluir que la propuesta óptima es la C), ya que esta da una TIR mayor a la TMAR que se había considerado, a pesar del costo del megawatt generado (US\$ 234/MWh), se considera que este proyecto es rentable, y que de acuerdo a la modificación de ciertas variables y a medida que el estado vaya dando mejores incentivos, estos proyectos se irán incrementando. El incremento de estos proyectos a largo plazo hará que la matriz energética de El Salvador sea menos contaminante y que el precio de la energía se mantenga y no tienda a la alza.

Conclusiones

1. De acuerdo al estudio presentado queda demostrado el potencial solar que tienen algunas áreas del país, específicamente la zona de San Miguel, ya que se obtuvieron datos promedio de irradiación de 1737 kWh/m²/año, obtenidos de mediciones realizadas de la estación meteorológica UES, dicho promedio puede ser comparado con el de otros países como España con niveles de irradiación similar, el cual explota este recurso.
2. El terreno seleccionado presenta las condiciones óptimas para la implementación de un proyecto fotovoltaico, ya que cuenta con un punto de evacuación de energía cercano al lugar, una orografía plana del terreno y poco riesgo de inundación.
3. Del estudio financiero se concluye que el proyecto es rentable cuando se vende la energía producida a US\$ 234/MWh, ya que con esos valores de venta se obtiene una TIR mayor a la TMAR (10%) impuesta al proyecto.
4. Para mejorar los índices económicos del proyecto, éste necesita de más incentivos fiscales y de otro tipo para disminuir el valor de venta de MWh.
5. El incremento de estos proyectos a largo plazo hará que la matriz energética de El Salvador sea menos diversa y menos contaminante, así como también, que el precio de la energía se mantenga en valores más estables y no tienda a la alza como lo es con el mix energético actual de generación .
6. Es necesario que el país desarrolle políticas energéticas enfocadas en el desarrollo de estos proyectos, ya que el país posee el recurso solar necesario para generar energía limpia a través del aprovechamiento de la energía solar mediante de módulos fotovoltaicos u otras tecnologías.
7. Para una estimación más precisa de la capacidad eléctrica instalada de la planta, se requiere de datos de radiación solar más continuos y de mejor calidad, lo que implica el montaje de equipo de medición en el sitio a evaluar por un periodo mínimo de un año.

Bibliografía

- Análisis comparativo del marco regulatorio, incentivos y sistema tarifario de precios existentes, para la compra/generación de electricidad de plantas de energía renovable en Centroamérica y Panamá, Proyecto ARECA, El Salvador, 2011
- Boletín de Estadísticas Eléctricas, No 13, SIGET 2011
- Documento de Categorización de actividades, obras o proyectos, MARN, junio 2012.
- Energía Solar Fotovoltaica, Grupo NAP, 2012
- Evaluación del Potencial de Energía Eólica y Solar, SWERA, octubre 2005
- Fomentando el uso de fuentes renovables de energía en El Salvador. Caso de estudio: Proyecto Fotovoltaico conectado a la red. CNE-GIZ-Cooperación alemana, marzo 2013
- Manual Técnico. Instalación de plantas fotovoltaicas en terrenos marginales, Proyecto “PVs in Bloom”, mayo 2011
- Plan Maestro para el Desarrollo de Energías Renovables, JICA– CNE, marzo 2012
- Planning and installing photovoltaic system. DGS y Ecofis 2008
- Política Energética Nacional, junio 2010.

Páginas web:

- Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica, www.epia.com,
- Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, www.cel.gob.sv, agosto 2013
- Consejo Nacional de Energía, www.cne.gob.sv, julio 2013
- Información de Instalaciones Fotovoltaicas Conectadas a Red, www.icarus-solar.com, julio 2013
- Instituto para la Diversificación y ahorro de la energía, www.idae.es, julio 2013
- International Energy Agency, www.iea.org, agosto 2013.
- International Electrotechnical Commission, www.iec.ch, agosto 2013
- Renewable Energy Risk Analysis, www.3tier.com, junio 2013.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales, www.snet.gob.sv, abril 2013.
- Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones, www.siget.gob.sv, julio 2013.
- Total ground, www.totalground.com, julio 2013.
- Unidad de Transacciones, www.ut.com, julio 2013.

Anexo I. Hoja técnica generador fotovoltaico



KD 200-60 P Series

HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL PHOTOVOLTAIC MODULE

KD 200-60 Series



Cutting Edge Technology

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

Quality Built In

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

Reliable

- Superior built-in quality
- Proven superior field performance
- Tight power tolerance

Warranty

- Kyocera standard 20 year power output warranty and 5 year workmanship warranty applies in USA
- Extended warranties available per project requirements
- Kyocera standard 20 year power output warranty and 2 year workmanship warranty applies outside of USA
- Refer to Kyocera warranty policy for details



UL Listing
QIGU.E173074

NEC 2008 Compliant UL 1703, ISO 9001 and ISO 14001

Certified and Registered Class C

Also available:



QUALIFIED FOR "BUY AMERICAN"
Manufactured in San Diego, California

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Standard Test Conditions					
	KD230GX-LPB	KD235GX-LPB	KD240GX-LPB (Preliminary)	KD245GX-LPB (Preliminary)	
P_{mp}^2	230	235	240	245	W
V_{mp}	29.8	29.8	29.8	29.8	V
I_{mp}	7.72	7.89	8.06	8.23	A
V_{oc}	36.9	36.9	36.9	36.9	V
I_{sc}	8.36	8.55	8.59	8.91	A
$P_{tolerance}$	+5/-3	+5/-3	+5/-3	+5/-3	%

Nominal Operating Cell Temperature Conditions (NOCT)					
T_{NOCT}	45	45	45	45	°C
P_{max}	163	166	172	176	W
V_{mp}	26.4	26.4	26.7	26.8	V
I_{mp}	6.18	6.31	6.45	6.58	A
V_{oc}	33.3	33.3	33.7	33.7	V
I_{sc}	6.78	6.93	6.95	7.21	A

Temperature Coefficients					
P_{max}	-1.04	-1.07	—	—	W/°C
V_{oc}	-0.133	-0.133	—	—	V/°C
I_{sc}	0.00502	0.00513	—	—	A/°C
Operating Temp	-40~90	-40~90	-40~90	-40~90	°C

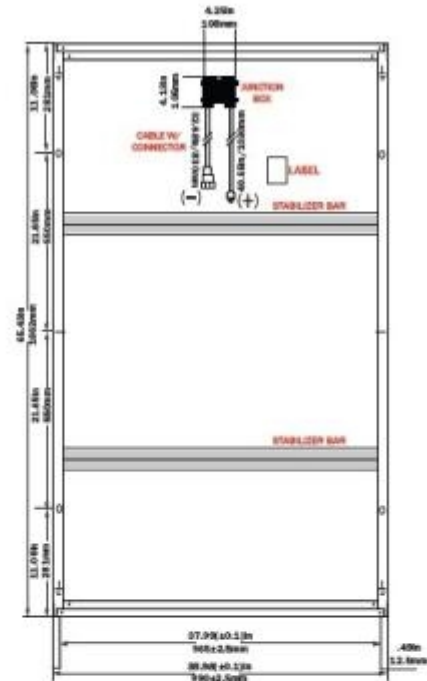
System Design	
Series Fuse Rating	15 A
Maximum DC System Voltage (UL)	600 V

NEC 2008 Compliant
UL 1703 Listed



Kyocera reserves the right to modify these specifications without notice.
All specification at 25°C, cell temperature, 1.5 AM and 1000W/m².

MECHANICAL SPECIFICATIONS



Weight: 46.78lb (21.6kg)



Anexo II. Hoja técnica inversor trifásico



KACO 
new energy.

Data sheet

Powador
30.0 TL3 | 33.0 TL3
36.0 TL3 | 39.0 TL3
60.0 TL3 **NEW**

Efficient. Flexible. Future-oriented.

Transformerless three-phase inverters Powador 30.0 TL3 to 60.0 TL3.

The transformerless three-phase inverters Powador 30.0 TL3 to 60.0 TL3 are designed specifically for decentralised installation of photovoltaic systems for commercial and industrial applications, such as hangars and factory roofs.

These units give you extreme flexibility in designing your PV system. They operate using three separate MPP trackers that can handle both symmetrical and asymmetrical loads to allow for optimum adjustment. Each tracker is able to process 20 kW. This enables them to meet all the typical demands of more complex designs involved with inhomogenous installation of the photovoltaic generator. Three MPP trackers can also compensate for mismatches between modules, such as those resulting from temperature differences and uneven solar radiation. Depending on the design of the units, one string (variant M) or four strings (variant XL) can be connected per MPP tracker. Each of the three MPP trackers of the Powador 60.0 TL3 XL can even be connected to five strings.

The rated input voltage range of 350 to 800 V is particularly broad (480 to 850 V for the Powador 60.0 TL3). The inverters switch to the grid from 250 V, and, when in operation, they still feed in at 200V to ensure the solar yield from comparatively small areas. The peak efficiency is 98%. The European efficiency of 97.8% is also worth noting and is due to the fact that the unit has a very high partial load efficiency in the lower power ranges. Even at just 5 % rated power they operate at 95 % efficiency.

It is easy to achieve perfect communication with these units. They are fitted with an integrated data logger with web server, a graphical display for showing operating data and a USB port for installing firmware updates. The current software can be downloaded free of charge from the download area of www.kaco-newenergy.de/service. The yield data can be called from the web server or via USB for evaluation. The integrated data logger can also be connected directly to the Powador web in-

ternet portal for professional evaluation and visualisation of the inverter data.

A number of country-specific default settings are programmed into the inverters. These are easy to select during on-site installation. The interface language can be selected separately. The inverters conform to the German Medium and Low Voltage Directives and support the functions of the Powador-protect for grid and plant protection and also power management in accordance with the German EEG 2012.

The integrated string collector with string fuses and overvoltage protection for the XL variant of the units opens up significant cost advantages. The M variants use the external Powador Mini-Argus string collector instead.

The Powador 60.0 TL3 is available from October 2012.

Technical data

Powador 30.0 TL3 | 33.0 TL3 | 36.0 TL3 | 39.0 TL3 | 60.0 TL3

Electrical data	30.0 TL3	33.0 TL3
Input variables		
Max. recommended PV generator power	30 000 W	33 000 W
MPP range	200 V ... 800 V*	200 V ... 800 V*
Starting voltage	250 V	250 V
No-load voltage	1 000 V	1 000 V
Max. input current	3 x 34.0 A	3 x 34.0 A
Number of MPP trackers	3	3
Max. power/tracker	20 kW	20 kW
Number of strings	3 x 1 based on design M 3 x 4 based on design XL	3 x 1 based on design M 3 x 4 based on design XL
Output variables		
Rated output	25 000 VA	27 500 VA
Line voltage	acc. to local requirements	acc. to local requirements
Rated current	3 x 36.2 A	3 x 39.9 A
Rated frequency	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
cos phi	0.80 inductive ... 0.80 capacitive	0.80 inductive ... 0.80 capacitive
Number of grid phases	3	3
General electrical data		
Max. efficiency	98.0 %	98.0 %
European efficiency	97.8 %	97.8 %
Night consumption	≈ 1,5 W	≈ 1,5 W
Switching plan	self-inverted, transformerless	self-inverted, transformerless
Grid monitoring	acc. to local requirements	acc. to local requirements
Mechanical data		
Display	graphical display + LEDs	graphical display + LEDs
Control units	4-way navigation + 2 buttons	4-way navigation + 2 buttons
Interfaces	Ethernet, USB, RS485, S0 output	Ethernet, USB, RS485, S0 output
Fault signalling relay	potential-free NOC max. 230 V / 1 A	potential-free NOC max. 230 V / 1 A
Connections	AC connection via screw terminals, bushing 1 x M50, max cross section: 50 mm ² (flexible); DC connection of M version: spring-type terminals 6-35 mm ² ***; DC connection of XL version: screw and spring-type terminals 10 mm ² , bushing 6 x M32	AC connection via screw terminals, bushing 1 x M50, max cross section: 50 mm ² (flexible); DC connection of M version: spring-type terminals 6-35 mm ² ***; DC connection of XL version: screw and spring-type terminals 10 mm ² , bushing 6 x M32
Ambient temperature	-20 °C ... +60 °C****	-20 °C ... +60 °C****
Temperature monitoring	> 75 °C temperature-dependent impedance matching, > 85 °C cut-out	> 75 °C temperature-dependent impedance matching, > 85 °C cut-out
Cooling	forced cooling/RPM-regulated fan. max. 600 m ³ / h	forced cooling/RPM-regulated fan. max. 600 m ³ / h
Protection class	IP54	IP54
Noise emission	58 dB (A) (only fan noise)	58 dB (A) (only fan noise)
DC switch	integrated	integrated
Casing	sheet steel	sheet steel
H x W x D	1 360 x 840 x 355 mm	1 360 x 840 x 355 mm
Weight	151 kg	151 kg

* The possible input power is reduced at voltages lower than 350 V. The input current is limited to 34.0 A per input. ** The possible input power is reduced at voltages lower than 480 V. The input current is limited to 36.0 A per input. *** Only in conjunction with external Powador Mini-Argus **** Power derating at high ambient temperatures. Conforms to the country-specific standards and regulations according to the country version that has been set.



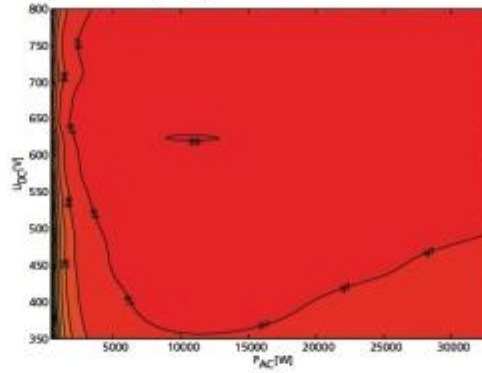
Powador
30.0 TL3 | 33.0 TL3
 36.0 TL3 | 39.0 TL3
 60.0 TL3

- 98.0 % efficiency
- 3 MPP trackers, symmetrical and asymmetrical loading possible
- Multilingual menu
- Cost-saving XL version with integrated combiner box
- Graphical display
- Integrated web server
- USB connection for updates
- Conforms to the German Medium and Low Voltage Directives

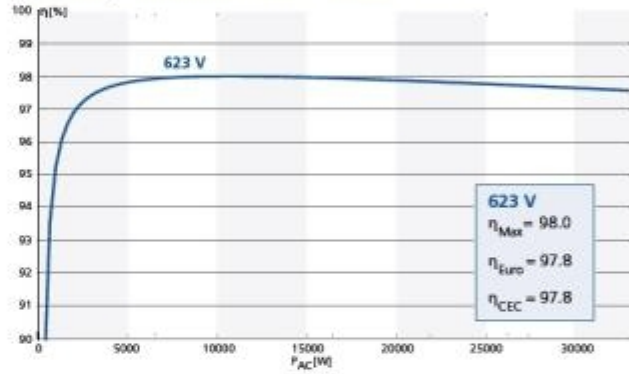
www.kaco-newenergy.de

Graphical Display of efficiency

3D efficiency diagram for Powador 39.0 TL3



Efficiency characteristic curve for Powador 39.0 TL3



Your retailer _____

EN 500064-05-12631

The text and figures reflect the current technical state at the time of printing. Subject to technical changes. Errors and omissions excepted.

Anexo III. Hojas técnicas transformadores 3MVA y 5MVA



Transformador tipo Pequeña Potencia hasta 69 kV



Prolec GE ofrece una línea completa de transformadores sumergidos en líquido aislante que cumplen con las normas internacionales actuales.

Además de su ya existente gama de producto en Pequeña Potencia, ahora Prolec GE lanza unidades con voltajes arriba de 34.5 kV hasta 69 kV en el devanado primario y un rango de capacidades desde 5 MVA hasta 12 MVA (ONAN), los transformadores Prolec GE son utilizados en una amplia gama de aplicaciones industriales, y de suministro de energía eléctrica.

Todos los transformadores de Prolec GE se fabrican con la más alta calidad de materiales combinados con tecnología de punta en sistemas de manufactura y diseño, logrando así entregar productos que operen con la más alta confiabilidad en el mercado.

Los transformadores tipo Pequeña Potencia cumplen con todas sus necesidades en aplicaciones industriales y de suministro eléctrico.

Accesorios estándar

- Aceite mineral dieléctrico
- Cambiador de derivaciones para operación externa, sin carga, con 2 derivaciones completas arriba y abajo del voltaje nominal de 2.5%
- Boquillas de alta tensión de tipo capacitivo montadas en la tapa
- Indicador de presión-vacío
- Provisión para válvula filtro prensa
- Indicador de nivel de líquido aislante
- Indicador de temperatura de líquido
- Indicador de temperatura de devanados
- Válvula de alivio de presión
- Válvula de drenaje y muestreo

- Ganchos para izaje
- Boquillas de baja tensión colocadas en la tapa o en la pared del tanque
- Provisiones para atornillar tanque
- Pintura ANSI 61 o 70, 5 mils de espesor
- Radiadores removibles
- Placa de características resistente a la corrosión
- Provisión para Hydran
- Operación a 60 Hz
- Sobre-elevación de temperatura de 65° C

Accesorios opcionales

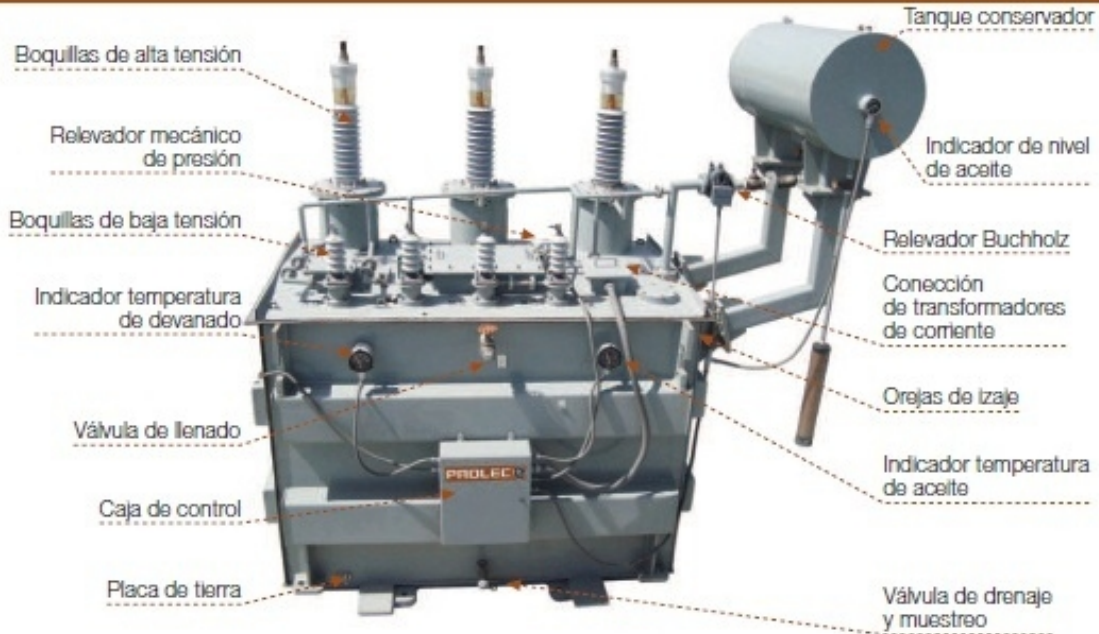
- Moto-ventiladores para unidades con enfriamiento forzado
- Radiadores en acero inoxidable y galvanizados
- Relevador de presión súbita con o sin accesorio de cierre
- Indicador de temperatura de devanados (adicionales)
- Indicadores con alarma
- Garganta para baja tensión
- Transformadores de corriente (adicionales)
- Resistencias de neutro a tierra
- Provisiones para futura conexión de equipo de enfriamiento forzado
- Diseños para operación en ambientes especiales (áreas clasificadas)
- Operación a 50 Hz
- Impedancias y pérdidas especiales
- Niveles de ruido especiales/bajos
- Diseño para operación en zonas sísmicas (IBC)
- Dimensiones especiales
- Ambientes especiales (E.): Clase I Div. 2)
- Pintura con espesores y colores especiales
- Sobre-elevación de temperatura de 55° C, 55/65° C
- Otros accesorios especiales de acuerdo a las necesidades de los clientes

Pruebas

Cada transformador recibe toda la serie de pruebas de rutina de acuerdo con NMX-J-284-ANCE (última revisión), con reportes disponibles por cada número de serie de transformador.

Las pruebas estándar incluyen:

- Resistencia de devanados
- Relación de transformación en voltaje nominal y en cada derivación
- Polaridad y relación de fase en el voltaje nominal
- Pérdidas sin carga a voltaje nominal
- Corriente de excitación
- Impedancia y pérdidas con carga
- Prueba de voltaje aplicado e inducido
- Prueba de impulso a onda completa



Dimensiones generales de referencia

Peso (kg) Volumen (lt) y dimensiones (mm)					
MVA	Alto	Largo	Ancho	Aceite	Peso
5.0	3900	4570	3810	9,080	21,750
7.5	4000	4450	4700	10,600	27,200
10.0	4240	6680	4000	12,100	33,500
12.0	4165	6680	4500	12,100	35,000

Voltajes de alta tensión estándar, kV

46
69

Voltajes de baja tensión estándar

4160 Y / 2400 V
12470 Y / 7200 V
13200 Y / 7620 V
13800 Y / 7960 V
23000 Y / 13280 V

Para capacidades y/o tensiones no listadas, contacte a su representante de ventas o directamente a la fábrica. Dimensiones y pesos son aproximados y sujetos a cambio sin previo aviso. No deben utilizarse como referencia con propósitos de construcción.

Capacidad estándar (kVA)

5000
7500
10000
12000

- Provisión para válvula nitro prensa
- Indicador de nivel de líquido aislante
- Indicador de temperatura de líquido
- Indicador de temperatura de devanados
- Válvula de alivio de presión
- Válvula de drenaje y muestreo

Nivel básico de impulso

Clase de Voltaje kV	Estándar BIL, kV
46	250
69	350

- Corriente de excitación
- Impedancia y pérdidas con carga
- Prueba de voltaje aplicado e inducido
- Prueba de impulso a onda completa



Transformador Pedestal Trifásico



Prolec GE manufactura los pedestales trifásicos para sistemas de distribución subterránea, los cuales han demostrado un alto nivel de confiabilidad y seguridad en el suministro de la energía eléctrica.

Aplicación

El pedestal trifásico está diseñado para operar a la intemperie y estar montado sobre una base típicamente de concreto. Tiene integrado un gabinete a prueba de vandalismo, el cual contiene los accesorios y las terminales de conexión.

Los transformadores del tipo pedestal trifásico Prolec GE se utilizan en lugares donde la seguridad y apariencia son un factor decisivo, tales como:

- Desarrollos comerciales
- Desarrollos turísticos
- Edificios de oficinas y/o residenciales
- Hoteles
- Hospitales
- Parques eólicos
- Pequeña y mediana industria bajo el concepto de subestaciones compactas
- Universidades

Ventajas

- Requerimiento mínimo de espacio
- Más seguro, ya que no presenta partes energizadas accesibles a personas, por lo que puede instalarse en lugares públicos con acceso restringido
- Constituye una subestación completa
- Mantenimiento mínimo por contaminación

- Autoprotegido
- Facilidad de restablecimiento de servicio después de una falla en el secundario (solo cuando lleva interruptor termomagnético)
- Desconexión de la alimentación en forma rápida y segura
- Aspecto estético agradable

Características

- Normas aplicables: CFE K0000-08, CFE K0000-07, NMX-J-285-ANCE, NMX-J-169-ANCE, NOM-002-SEDE
- Certificación ANCE hasta 500 kVA
- Accesorios tipo frente muerto
- Tipo de operación Radial o Anillo y conexión en alta tensión Delta o Estrella conforme a la especificación requerida
- Cuatro derivaciones de 2.5%
- Boquillas de alta tensión tipo Pozo de 200A o tipo Perno de 600A
- 65° C de elevación de temperatura sobre una media de 30° C y una máxima de 40° C
- Enfriamiento en aceite a través de convección natural de aire (ONAN). También se ofrece líquido aislante biodegradable y/o de alto punto de inflamación
- Tanque y gabinete de acero al carbón o acero inoxidable (opcional)
- Uso de pintura en polvo color verde Munsell 7GY 3.29/1.5

Accesorios

Dependiendo de la especificación:

- Alta tensión: fusible limitador de corriente de rango parcial en serie con el fusible de expulsión o fusible limitador de corriente de rango completo que puede ser removido desde el exterior. También se ofrece fusible de aislamiento en serie con el de expulsión
- Baja tensión: interruptor termo-magnético sumergido en aceite, hasta 150 kVA
- Indicador de nivel de líquido aislante para 225 kVA y mayores
- Indicador de temperatura de líquido aislante para 225 kVA y mayores
- Provisión para manovacuómetro
- Cambiador de derivaciones desenergizado
- Registro de mano



Dimensiones* y pesos de los diseños**

kVA	A	B	C	D	Peso Total (Kg)
30 a 150	1050 a 1400	1320 a 1565	1120 a 1160		770 a 1600
225 a 300	1430 a 1445	1580 a 1675	1450		2020 a 2335
500	1585 a 1600	1845 a 2055	1525	590	3090 a 3125
750	1675	2070	1650		4080
1000	1675	1880	2560		4095
1500	1820	2330	2110		5050

* Dimensiones en mm.

** Dimensiones y Pesos aproximados. Favor de validar con su representante de Ventas la información del transformador requerido.

Pruebas

Adicionales a las especificadas en las Normas, se ofrecen (con un costo adicional) las siguientes pruebas especiales:

- Elevación de temperatura en los devanados
- Nivel de ruido

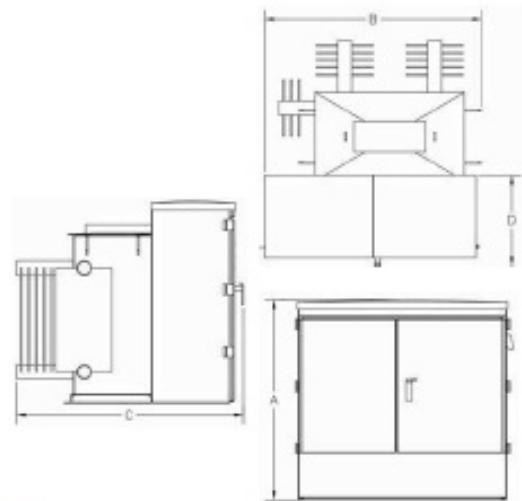


Tabla de capacidades y voltajes

kVA	30, 45, 75, 112.5, 150, 225, 300, 500	750, 1000, 1500	2000, 2500, 3000
Tensiones en el Primario (V)	13,200	13,200	13,200
	13,200Y/7,620	13,200Y/7,620	13,200Y/7,620
	NBAI 95 kV	NBAI 110 kV	NBAI 110 kV
	23,000Y/13,280	23,000Y/13,280	23,000Y/13,280
Tensiones en el Secundario (V)	NBAI 125 kV	NBAI 125 kV	NBAI 125 kV
	23,000	23,000	23,000
	NBAI 150 kV	NBAI 150 kV	NBAI 150 kV
	34,500Y/19,920	34,500Y/19,920	34,500Y/19,920
	NBAI 150 kV	NBAI 150 kV	NBAI 150 kV
	220Y/127	220Y/127	440Y/255
Tensiones en el Secundario (V)	440Y/254 ó 480Y/277	440Y/254 ó 480Y/277	480Y/277
	NBAI 30 kV	NBAI 45 kV	NBAI 45 kV

NBAI: Nivel Básico de Aislamiento al Impulso.



Anexo IV. Hoja técnica planta de emergencia 16 kVA



T16U

Motor MITSUBISHI , S4L2-SD
 Alternador MECC ALTE , ECO3-3LN

CARACTERÍSTICAS ESTÁNDARES

- Regulación mecánica
- Chasis mecanosoldado con suspensiones antivibraciones
- Disyuntor de potencia
- Radiador para una temperatura del cableado de 50°C [122°F] máx con ventilador mecánico
- Rejilla de protección del ventilador y de las piezas giratorias
- Silenciador de 9dB(A) que se facilita por separado
- Batería cargada con electrolito
- Motor de arranque y alternador de carga 12 V
- Se suministra con aceite y liquido de refrigeración -30°C
- Manual de uso y de puesta en marcha



Tensiones	Potencia ESP kWe/kVA	Potencia PRP kWe/kVA	Amperios securos	Dimensiones	Peso
480/277	16.0 / 20.0	14.5 / 18.2	24.1	L: 1405mm [55in] an: 715mm [28in] alt: 1053mm [41in]	406kg [895 lbs] De Vacío 460kg [1014 lbs] En Func
440/254	16.0 / 20.0	14.5 / 18.2	26.2		
240/120	13.6 / 17.0	12.4 / 15.5	40.9		
230/115	12.8 / 16.0	11.6 / 14.5	40.2		
220/127	16.0 / 20.0	14.5 / 18.2	52.5		
208/120	13.6 / 17.0	12.4 / 15.5	47.2		



POTENCIA DE LOS GRUPOS ELECTROGENOS

PRP : Potencia principal disponible en continuo en carga variable durante un número limitado de horas al año de acuerdo con el ISO8528-1. Es posible una sobrecarga de 10% una hora cada 12 horas según ISO3046-1

ESP : Potencia de emergencia disponible para una utilización de emergencia en carga variable de acuerdo con el ISO8528-1. Opción sobrecarga no disponible.

CONDICIONES DE LA UTILIZACION

Temperatura de entrada del aire 25 °C altitud, 100 m por encima del nivel del mar. Humedad relativa 60 %. Todos los datos de las prestaciones de funcionamiento de los motores fundados en las potencias continuas maximas mencionadas más arriba.

Modelo	dB(A)@1m	dB(A)@7m	Dimensiones	Peso	Tank
 M126	74	64	L: 1750mm [69in] an: 715mm [28in] alt: 1230mm [48in]	554kg [1221lbs] De Vacío 608kg [1340lbs] En Func	50 L
 M126-DW	74	64	L: 1797mm [71in] an: 775mm [31in] alt: 1391mm [55in]	633kg [1396lbs] De Vacío 723kg [1594lbs] En Func	93 L

Documento no contractual - La sociedad SDMO Industries se reserva el derecho de modificar sin previo aviso todas las características anunciadas en este CD Rom, para mejorar la calidad de sus productos.

SDMO Industries – 12bis rue de la Villeneuve – CS 92848 – 29 228 BREST CEDEX 2
 Tel +33 (0)2 98 41 41 41 – Fax : +33 (0)2 98 41 63 07 – www.sdmo.com





DATOS DEL MOTOR

CARACTERISTICAS ESTANDARES	Fabricante / Modelo	MITSUBISHI S4L2-SD , 4-tiempos, Athmo , [N/A] 4
	Disposición de los cilindros	L
	Desplazamiento	1.75L [106.8C.I.]
	Carrera y Diámetro	78mm [3.1in.] X 92mm [3.6in.]
	Tasa de compresión	22 : 1
	Velocidad en vueltas por minutos	1800 Rpm
	Velocidad de los pistones	5.52m/s [18.1ft./s]
	Potencia de emergencia máxima a velocidad nominal*	19.58kW [26BHP]
	Regulación frecuencia, carga constante	+/- 2.5%
	BMEP	6.74bar [98psi]
Regulador tipo	MECA	
SISTEMA DE ESCAPE	Temperatura gas	430°C [806°F]
	Caudal gas	58.3L/s [124cfm]
	Contrapresión	700mm CE [28in. WG]
SISTEMA FUEL	110% (@ 50 Hz)	[N/A]
	100% (potencia de emergencia)	5.3L/h [1.4gal/hr]
	75% (potencia de emergencia)	4.2L/h [1.1gal/hr]
	50% (potencia de emergencia)	3.3L/h [0.9gal/hr]
Caudal máximo bomba fuel-oil	18L/h [4.8gal/hr]	
SISTEMA ACEITE	Capacidad aceite con filtro	5.9L [1.6gal]
	Minima presión de aceite	1bar [14.5psi]
	Presión de aceite	4bar [58.0psi]
	Consumo de aceite 100% carga	0.03L/h [0.008gal/hr]
Capacidad aceite carter	5.4L [1.4gal]	
BALANCE TERMICO 100% CARGO	Calor expulsado en el escape	16kW [910Btu/mn]
	Calor irradiado	2.5kW [142Btu/mn]
	Calor expulsado en el agua	17kW [967Btu/mn]
AIRE DE ADMISIÓN	Aire de entrada máximo	200mm CE [8in. WG]
	Flujo de aire motor	21.7L/s [46cfm]
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	Capacidad del motor y radiador	4.9L [1.3gal]
	Temperatura de agua máxima	111°C [232°F]
	Temperatura de agua a la salida	93°C [199°F]
	Potencia del ventilador	0.9 kW
	Caudal de aire ventilador	0.9m3/s [1907cfm]
	Contrapresión radiador	10mm CE [0.4in. WG]
	Typo de Enfriamiento	Gencool
Thermostat	82-95 °C	
EMISIONES	PM	N/A
	CO	N/A
	Nox	N/A
	HC	N/A

Documento no contractual - La sociedad SDMO industries se reserva el derecho de modificar sin previo aviso todas las características anunciadas en este CD Rom, para mejorar la calidad de sus productos.

SDMO Industries – 12bis rue de la Villeneuve – CS 92848 – 29 228 BREST CEDEX 2
Tel +33 (0)2 98 41 41 41 – Fax : +33 (0)2 98 41 63 07 – www.sdmo.com





ESPECIFICACIONES DEL ALTERNADOR

DATOS	Fabricante	MECC ALTE
	Tipo	ECO3-3LN
	Número de fases	3
	Factor de potencia (Cos Phi)	0.8
	Altitud	1000
	Velocidad excesiva	[N/A]
	Polo: número	4
	Tipo de excitación	NO
	Aislamiento: clase, temperatura	H / H
	Regulador de tensión	SR7/2
	Tasa de armónico (TGH/THC)	[N/A]
	Forma de onda : NEMA = TIF – TGH/THC	[N/A]
	Forma de onda : CEI = FHT – TGH/THC	2
	Cojinete: número	1
	Acoplamiento	Direct
	Regulación de tensión 0 al 100%	[N/A]
	Recubrimiento (20% tensión) ms	[N/A]
SKVA	N/A	
OTROS DATOS	Potencia nominal continua @ 40°C	22.8 kVA
	Potencia emergencia @ 27°C	23 kVA
	Rendimiento @ 4/4 carga	86.7 %
	Caudal de aire	0.058m ³ /s [122.89cfm]
	Informe de cortocircuito (Kcc)	1.1
	Reactancia longitudinal sincrónica no saturada (Xd)	140 %
	Reactancia transversal sincrónica no saturada (Xq)	78 %
	Constante de tiempo transitoria en vacío (T'do)	0.84 ms
	Reactancia longitudinal transitoria saturada (X'd)	14.2 %
	Constante de tiempo transitoria en Cortocircuito (T'd)	42 ms
	Reactancia longitudinal subtransitoria saturada (X''d)	9.8 %
	Constante de tiempo subtransitoria (T''d)	10.5 ms
	Reactancia transversal subtransitoria saturada (X''q)	52 %
	Reactancia homopolar no saturada (Xo)	5.4 %
	Reactancia inversa saturada (X2)	17.1 %
	Constante de tiempo del inducido (Ta)	[N/A]
	Corriente de excitación en vacío (Io)	[N/A]
	Corriente de excitación en carga (Ic)	[N/A]
	Tensión de excitación en carga (Uc)	[N/A]
	Tiempo de respuesta (Delta U = 20% transitoria)	[N/A]
	Arranque (Delta U = 20% perm. o 50% trans.)	[N/A]
	Delta U transitoria (4/4 carga) – Cos Phi : 0.8 AR	[N/A]
	Perdidas en vacío	[N/A]
Disipación de calor	[N/A]	

Documento no contractual - La sociedad SDMO industries se reserva el derecho de modificar sin previo aviso todas las características anunciadas en este CD Rom, para mejorar la calidad de sus productos.

SDMO Industries – 12bis rue de la Villeneuve – CS 92848 – 29 228 BREST CEDEX 2
Tel +33 (0)2 98 41 41 41 – Fax : +33 (0)2 98 41 63 07 – www.sdmo.com



CAJA DE MANDO

Estándar



NEXYS

Características :
Frecuencímetro, Voltímetro, Amperímetro
Alarmas y fallos :
Presión del aceite, Temperatura del agua, No arranca,
Sobrevelocidad (>60 kVA), Min./Máx alternador, Nivel
bajo de fuel-oil, parada de emergencia
Parámetros motor :
Cuentahoras, Velocidad del motor, Tensión de batería,
Nivel fuel-oil, Pre calentamiento del aire

Opción



TELYS

Características :
Frecuencímetro, Voltímetro, Amperímetro
Alarmas y fallos :
Presión del aceite, Temperatura del agua, No arranca,
Sobrevelocidad, Min./Máx alternador, Min./Máx tensión
de batería, Parada de emergencia
Parámetros motor :
Cuentahoras, Presión del aceite, Tensión de batería,
Temperatura del agua, Nivel fuel-oil, Velocidad del
motor, Tensión de batería



Anexo V. Hoja técnica estructura de módulos fotovoltaicos

PvMax3

El sistema modular con costes bajos para huertos solares

- Estabilidad y durabilidad larga
- Componentes perfectamente alineados
- Resistencia alta a la corrosión (100% aluminio)
- Proyección rápida y económica, también en planificaciones especiales
- Verificación estática completa incl. cálculo de zapatas con recomendación de tacos
- Montaje rápido (juegos de soporte premontados parcialmente)



El sistema PvMax3 es el desarrollo consecuente nuevo y adicional basado en su antecesor PvMax2 y componentes de sistemas del programa de productos IsoTop y FS que ya han sido probados con éxito en numerosas instalaciones con una potencia instalada de cientos de megabytes .

El punto principal en el desarrollo nuevo fue la optimización para las cargas altas de viento y de nieve minimizando al mismo tiempo los costes: Gracias al empleo eficiente de material, a la reducción de los empalmes de los tornillos en el mínimo requerido, a la maximización de los alcances y a la construcción práctica, estos requisitos pudieron ser cumplidos óptimamente. En total, se ahorra significativamente en los costes del material y del montaje.



Áreas de aplicación

La base de instalaciones en huertas solares sobre los fundamentos de hormigón se aplica principalmente en las siguientes circunstancias:

- instalaciones fotovoltaicas más pequeñas (límite de rentabilidad respecto a costes para informes sobre el suelo y hincados de prueba
- sin posibilidad de hincar los fundamentos (suelos demasiado blandos o demasiado rocosos, sin acceso a vertederos o terrenos para la maquinaria de hincado) u hormigón in-situ con costes bajos
- poco tiempo



Optimización de los empalmes

- Geometrías optimizadas de perfiles, acabado racionalizado
- Alcances más grandes, por eso equivalentemente menos soportes y zapatas
- Juegos de soporte premontados parcialmente
- Minimización significativa del gasto de montaje
- Relación óptima de precio y potencia
- Diseño bien proporcionado



Delante: 1 taco de hormigón



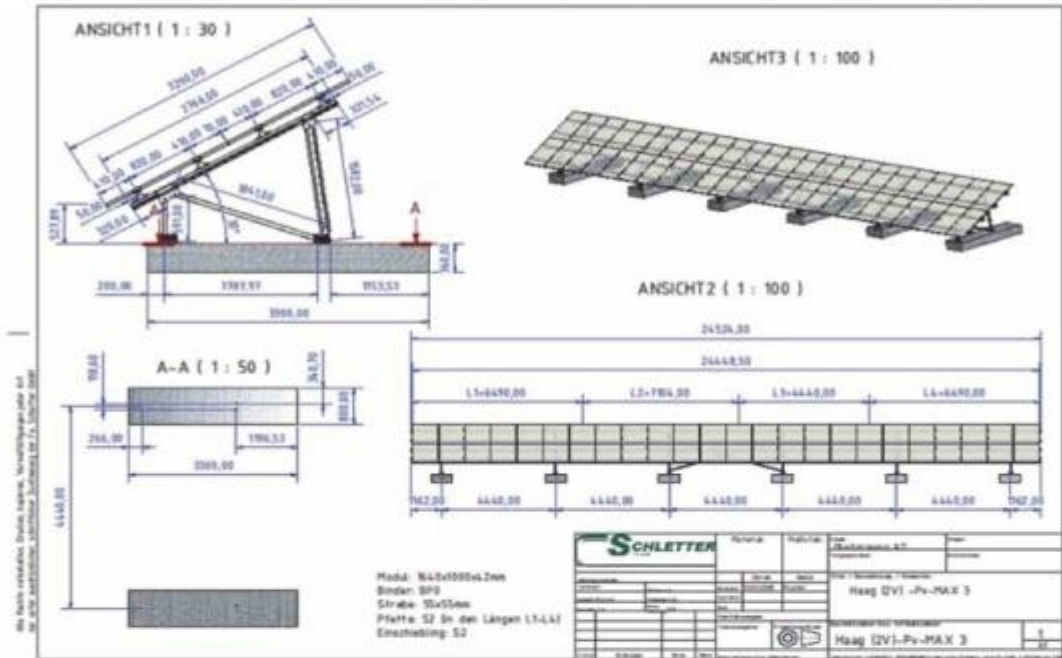
Detrás: 2 tacos de hormigón

Proyección de las mesas estándares

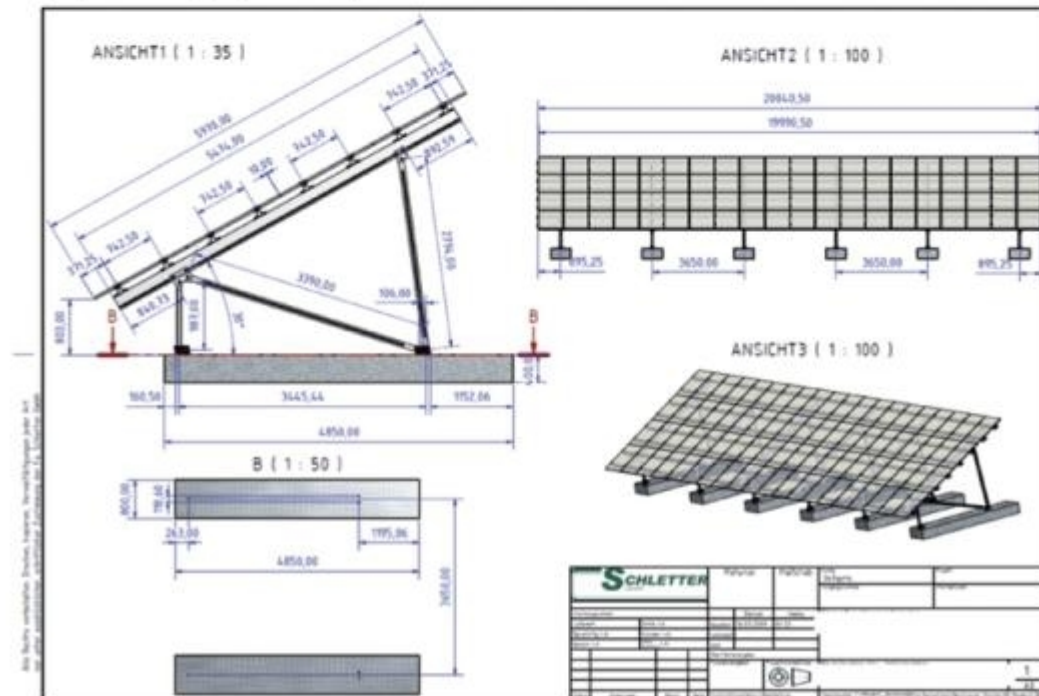


Ejemplo de una proyección normal

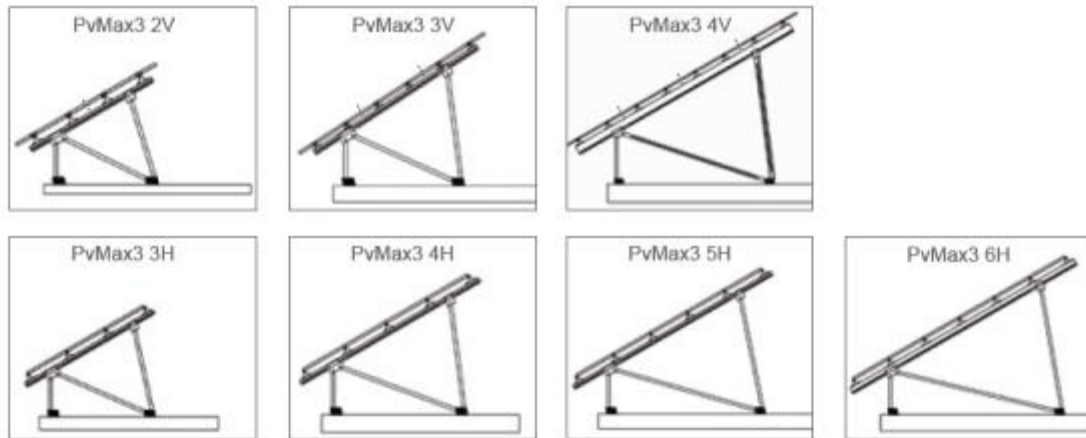
(Oferta orientativa, al encargar el pedido se diseñará la mesa)



Ejemplo de una proyección especial



Variantes de montaje



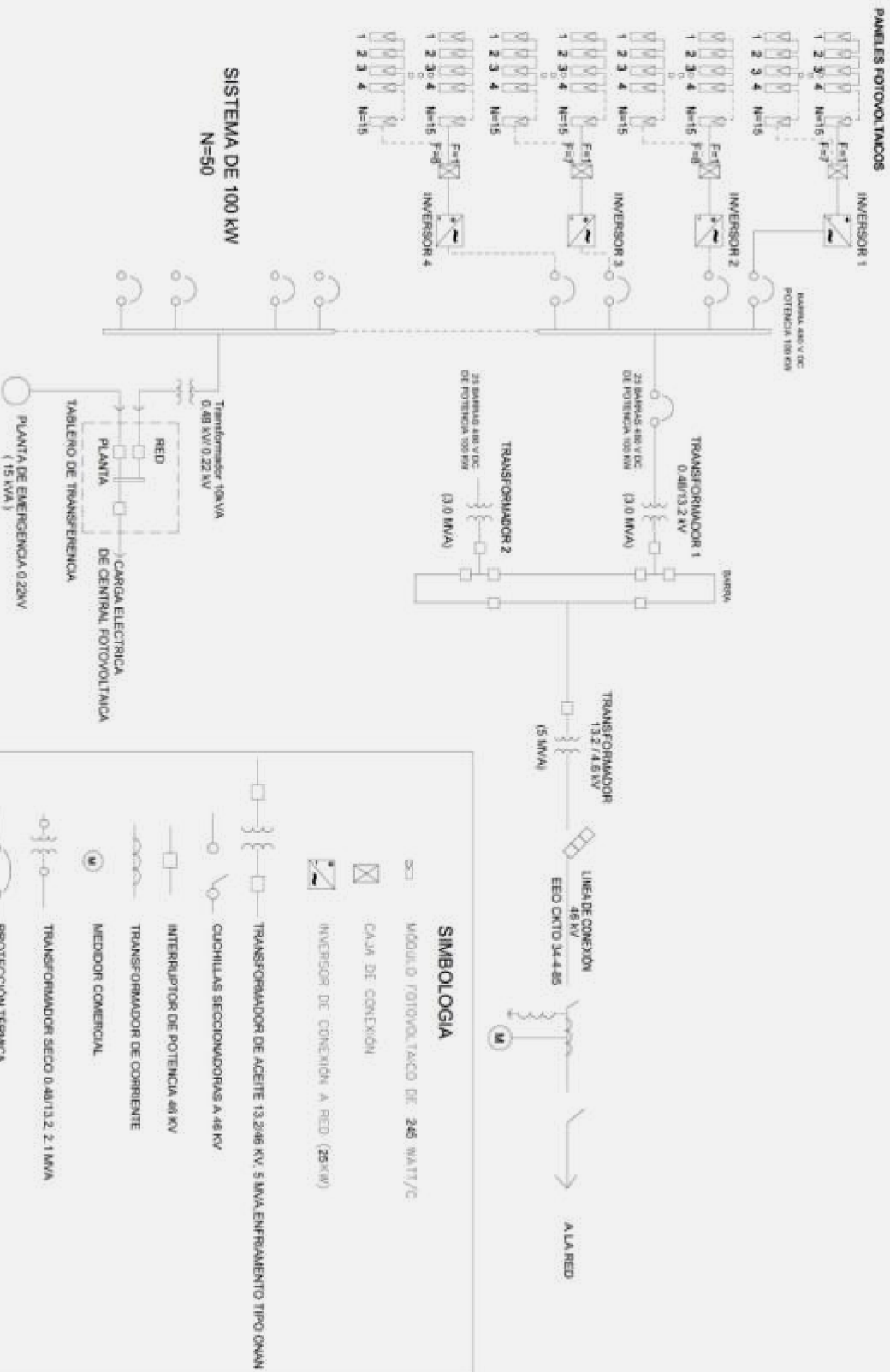
Datos técnicos

Material	Perfiles de soporte de módulos: Perfiles especiales de la serie S aluminio Perfil vertical: Perfiles especiales de la serie BF aluminio Soportes: Perfiles RHP aluminio Tornillos / tuercas: A2 - 70 / A4 - 80
Fundamento	Hormigón (datos referentes al refuerzo y al dimensionamiento de la estática de sistema)
Estática	Según las normas actuales y vigentes específicas de los países (en Alemania, DIN 1055/ EC 1) Estática de sistema con datos para el dimensionamiento de zapatas como recomendación de tacos dependiendo de las cargas de viento y de nieve a considerar

Con mucho gusto le proporcionaremos un presupuesto sin compromiso.

Anexo VI. Diagrama unifilar de planta fotovoltaica

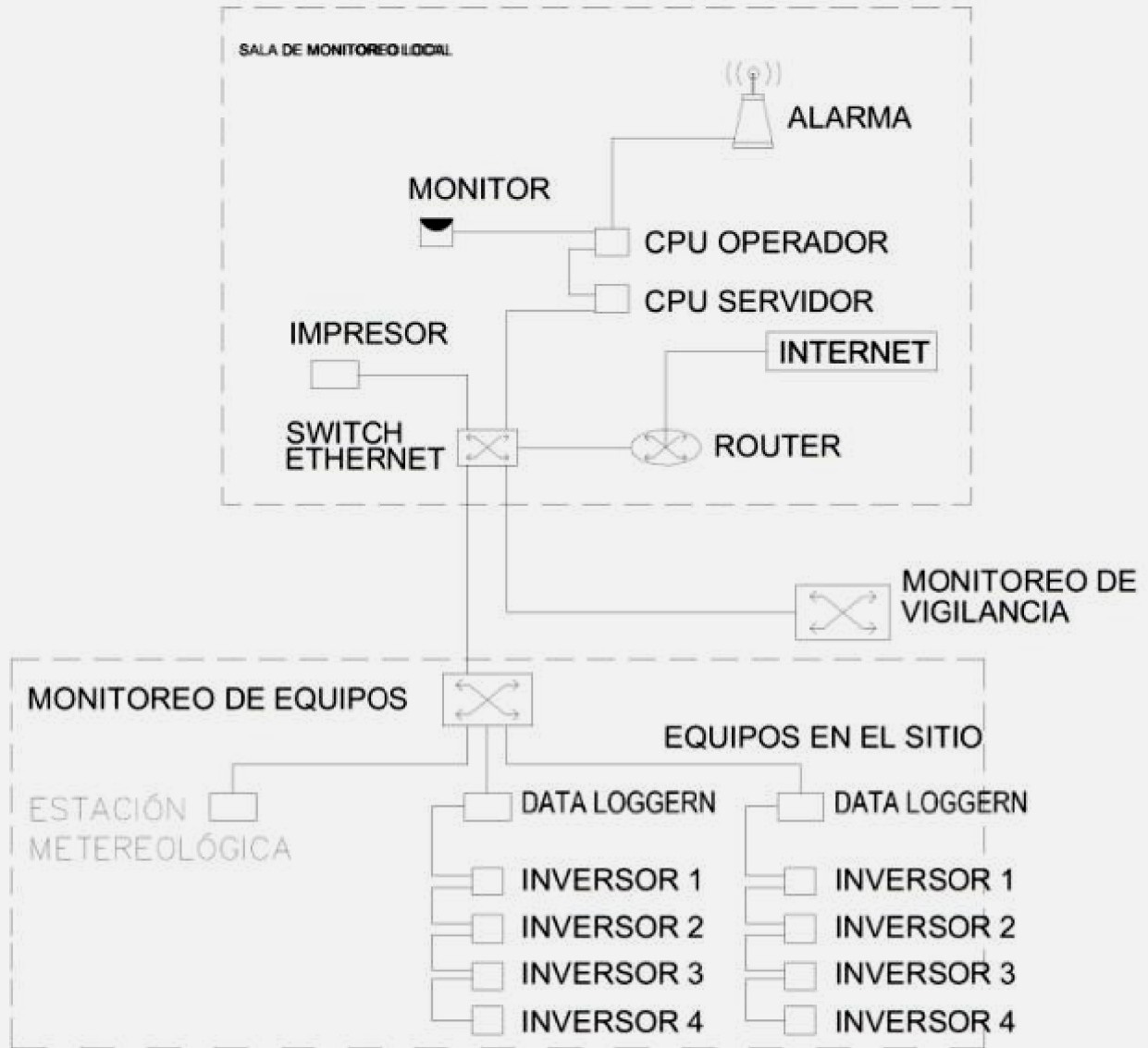
DIAGRAMA UNIFILAR / PARA SISTEMA DE 100 KW



SIMBOLOGIA	
	MÓDULO FOTOVOLTAICO DE 240 WATT/C
	CAJA DE CONEXION
	INVERSOR DE CONEXION A RED (25KW)
	TRANSFORMADOR DE ACEITE 13.2/4.8 KV 5 MVA ENFRIAMIENTO TIPO ONAN
	CUCHILLAS SECCIONADORAS A 48 KV
	INTERRUPTOR DE POTENCIA 48 KV
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
	MEDEDOR COMERCIAL
	TRANSFORMADOR SECO 0.48/13.2 2.1 MVA
	PROTECCION TERMICA
	INTERRUPTOR DE 13.2 KV
	FUSIBLE 48 KV

Anexo VII. Diagrama de comunicación de la planta

DIAGRAMA DE SISTEMA DE COMUNICACIÓN



Anexo VIII. Simulación de planta de generación 100 kWe

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : Planta PV UES

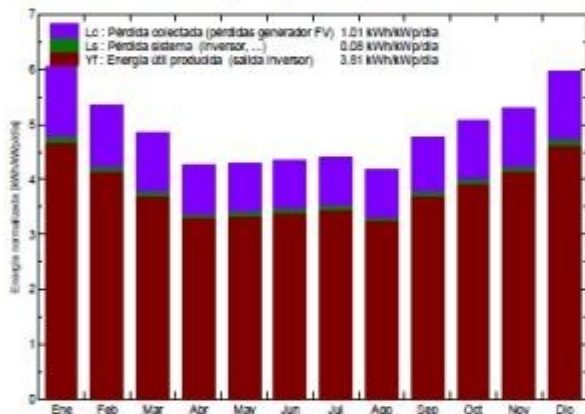
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red		
Orientación Campos FV	inclinación	18°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	KD245GX-LPB	Pnom	245 Wp
Generador FV	N° de módulos	450	Pnom total	110 kWp
Inversor	Modelo	Powador 30.0 TL3 M	Pnom	25.00 kW ac
Banco de inversores	N° de unidades	4.0	Pnom total	100 kW ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)			

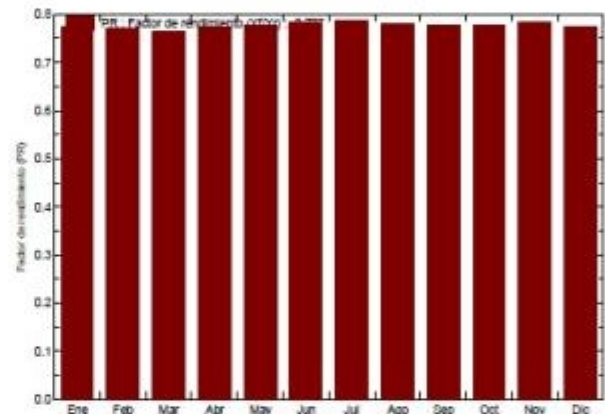
Resultados principales de la simulación

Producción del Sistema **Energía producida 153.2 MWh/año** Producción específica **1389 kWh/kWp/año**
 Factor de rendimiento (PR) **77.7 %**

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 110 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArr %	EffSysR %
Enero	161.5	24.80	187.5	182.5	16.34	15.99	11.77	11.52
Febrero	138.0	25.70	150.0	145.7	13.06	12.78	11.76	11.51
Marzo	147.9	26.20	150.4	145.6	12.96	12.67	11.64	11.38
Abril	132.3	26.80	128.1	123.6	11.17	10.93	11.78	11.52
Mayo	142.6	26.00	132.9	128.1	11.66	11.41	11.85	11.59
Junio	142.2	25.30	130.1	125.2	11.49	11.24	11.94	11.68
Julio	147.9	25.60	136.5	131.5	12.09	11.83	11.96	11.71
Agosto	135.5	25.60	129.1	124.6	11.38	11.12	11.90	11.64
Septiembre	143.1	24.90	142.9	138.2	12.51	12.23	11.82	11.56
Octubre	148.8	24.70	157.2	152.7	13.74	13.45	11.81	11.55
Noviembre	141.9	24.70	159.1	154.5	14.02	13.72	11.90	11.65
Diciembre	155.3	24.70	185.0	180.0	16.15	15.81	11.79	11.54
Año	1737.0	25.41	1788.9	1732.1	156.80	153.18	11.82	11.56

Legendas: GlobHor Irradiación global horizontal EArray Energía efectiva en la salida del generador
 T Amb Temperatura Ambiente E_Grid Energía reinyectada en la red
 GlobInc Global incidente en plano receptor EffArr Eficiencia Esal campo/superficie bruta
 GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados EffSysR Eficiencia Esal sistema/superficie bruta

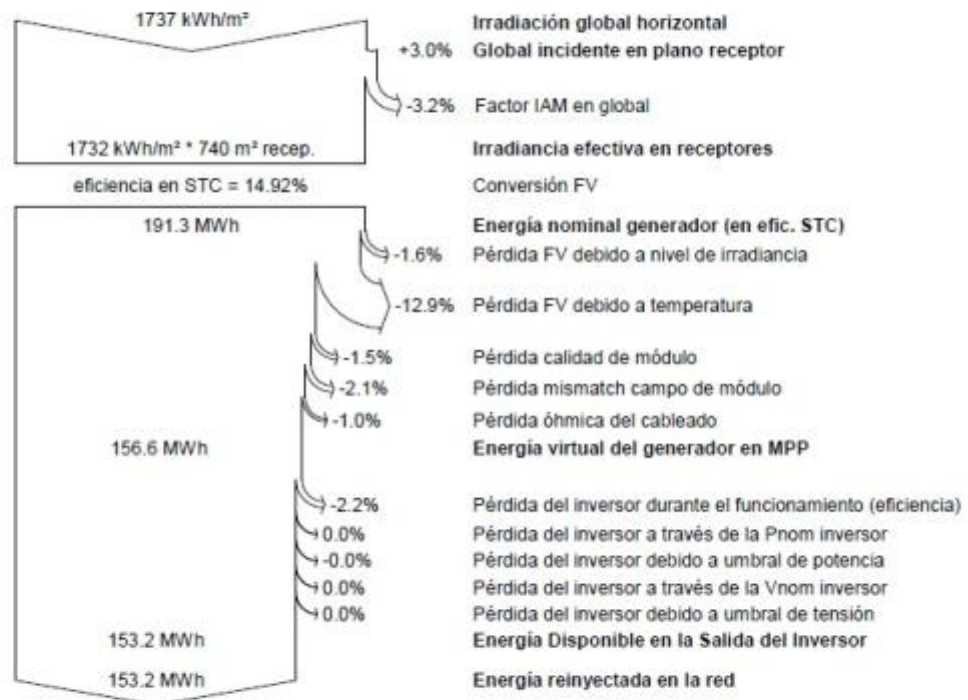
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Planta PV UES

Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red	
Orientación Campos FV	inclinación	18°	acimut 0°
Módulos FV	Modelo	KD245GX-LPB	Pnom 245 Wp
Generador FV	N° de módulos	450	Pnom total 110 kWp
Inversor	Modelo	Powador 30.0 TL3 M	Pnom 25.00 kW ac
Banco de inversores	N° de unidades	4.0	Pnom total 100 kW ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)		

Diagrama de pérdida durante todo el año



Anexo IX. Simulación de planta de generación 5 MWe

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto : Planta PV UES

Lugar geográfico Planta PV UES **Pais** El Salvador

Ubicación Latitud 13.6°N Longitud 88.3°W
 Hora definido como Hora Legal Huso hor. UT-6 Altitud 190 m
 Albedo 0.20

Datos climatológicos : Planta PV Chapeltique, Síntesis datos por hora

Variante de simulación : Nueva variante de simulación
 Fecha de simulación 18/08/13 18h28

Parámetros de la simulación

Orientación Plano Receptor Inclinación 18° Acimut 0°

Perfil obstáculos Sin perfil de obstáculos

Sombras cercanas Sin sombreado

Características generador FV

Módulo FV Si-poly Modelo **KD245GX-LPB**
 Fabricante Kyocera

Número de módulos FV En serie 15 módulos En paralelo 1540 cadenas
 N° total de módulos FV N° módulos 23100 Pnom unitaria 245 Wp
 Potencia global generador Nominal (STC) **5660 kWp** En cond. funciona. 4997 kWp (50°C)
 Caract. funcionamiento del generador (50°C) V mpp 400 V I mpp 12496 A
 Superficie total Superficie módulos **38008 m²** Superficie célula 33735 m²

Inversor Modelo **Powador 30.0 TL3 M**
 Fabricante KACO new energy

Características Tensión Funciona. 200-800 V Pnom unitaria 25.0 kW AC
 Banco de inversores N° de inversores 204 unidades Potencia total 5100.0 kW AC

Factores de pérdida Generador FV

Factor de pérdidas térmicas Uc (const) 20.0 W/m²K Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s
 => Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s) TONC 56 °C

Pérdida Óhmica en el Cableado Res. global generador 0.55 mOhm Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC
 Pérdida Calidad Módulo Fracción de Pérdidas 1.5 %
 Pérdidas Mismatch Módulos Fracción de Pérdidas 2.0 % en MPP
 Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE IAM = 1 - bo (1/cos i - 1) Parámetro bo 0.05

Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red)

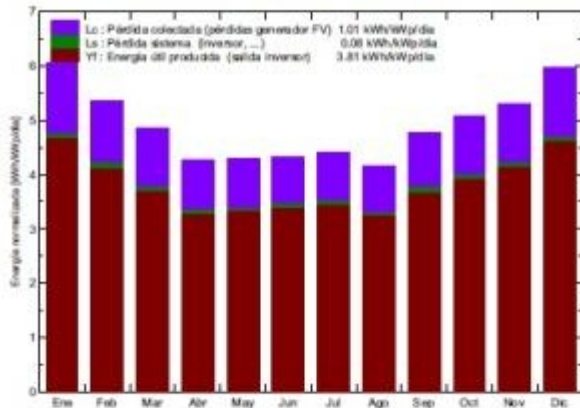
Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : Planta PV UES
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

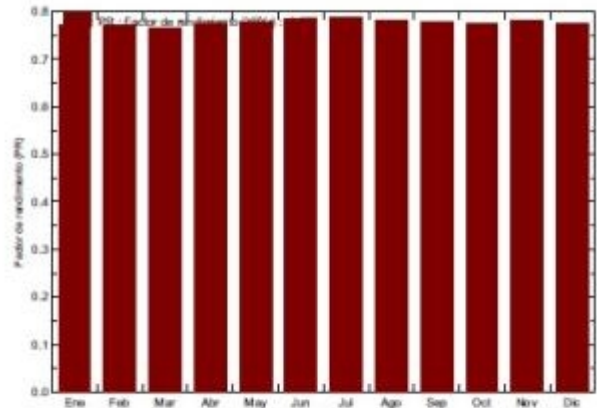
Parámetros principales del sistema		Tipo de sistema	Conectado a la red	
Orientación Campos FV		inclinación	18°	acimut 0°
Módulos FV		Modelo	KD245GX-LPB	Pnom 245 Wp
Generador FV		N° de módulos	23100	Pnom total 5660 kWp
Inversor		Modelo	Powador 30.0 TL3 M	Pnom 25.00 kW ac
Banco de inversores		N° de unidades	204.0	Pnom total 5100 kW ac
Necesidades de los usuarios		Carga ilimitada (red)		

Resultados principales de la simulación				
Producción del Sistema	Energía producida	7863 MWh/año	Produc. específico	1389 kWh/kWp/año
	Factor de rendimiento (PR)	77.7 %		
Inversión	Total incl. impuestos	16358400 US\$	Específico	2.89 US\$/Wp
Costo anual	Anualidades (Préstamo 5.0%, 20 años)	1312640 US\$/año	Costo de explotación	0 US\$/a.
Costo de energía		0.17 US\$/kWh		

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 5660 kWp



Factor de rendimiento (PR)



**Nueva variante de simulación
Balances y resultados principales**

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEFF kWh/m²	EAmoy MWh	E_Grid MWh	ETAmR %	ETSysR %
Enero	161.5	24.80	167.5	162.5	639.0	620.6	11.77	11.52
Febrero	136.0	25.70	150.0	145.7	670.7	656.0	11.76	11.51
Marzo	147.9	26.20	150.4	145.6	665.4	650.6	11.94	11.38
Abril	132.3	26.80	126.1	123.6	573.6	560.9	11.78	11.52
Mayo	142.6	26.00	132.9	128.1	596.7	585.5	11.85	11.59
Junio	142.2	25.30	130.1	125.2	590.0	577.2	11.94	11.68
Julio	147.9	25.60	136.5	131.5	620.9	607.5	11.96	11.71
Agosto	135.5	25.60	129.1	124.6	584.0	571.0	11.90	11.64
Septiembre	143.1	24.90	142.9	138.2	642.0	627.8	11.82	11.56
Octubre	148.8	24.70	157.2	152.7	705.5	690.2	11.81	11.55
Noviembre	141.9	24.70	159.1	154.5	719.8	704.5	11.90	11.65
Diciembre	155.3	24.70	165.0	160.0	629.1	611.3	11.79	11.54
Año	1737.0	25.41	1798.9	1732.1	8038.6	7863.3	11.82	11.56

Leyendas:
 GlobHor: Irradiación global horizontal
 T Amb: Temperatura Ambiente
 GlobInc: Global incidente en plano receptor
 GlobEFF: Global efectivo, corr. para IAM y sombreado
 EAmoy: Energía efectiva en la salida del generador
 E_Grid: Energía inyectada en la red
 ETAmR: Eficiencia Eal campo/superficie bruta
 ETSysR: Eficiencia Eal sistema/superficie bruta

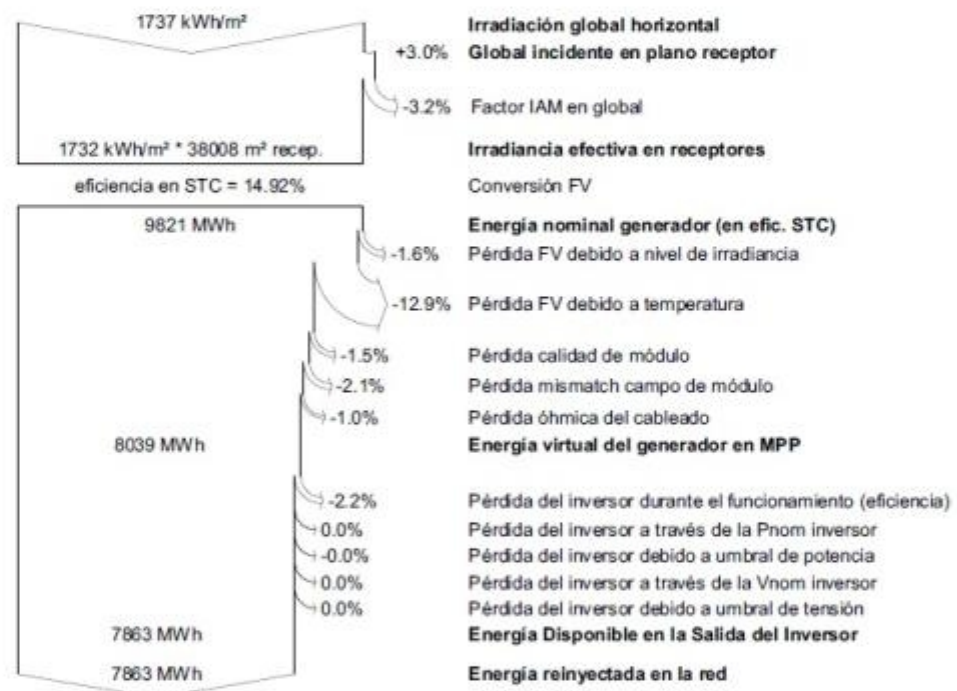
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **Planta PV UES**

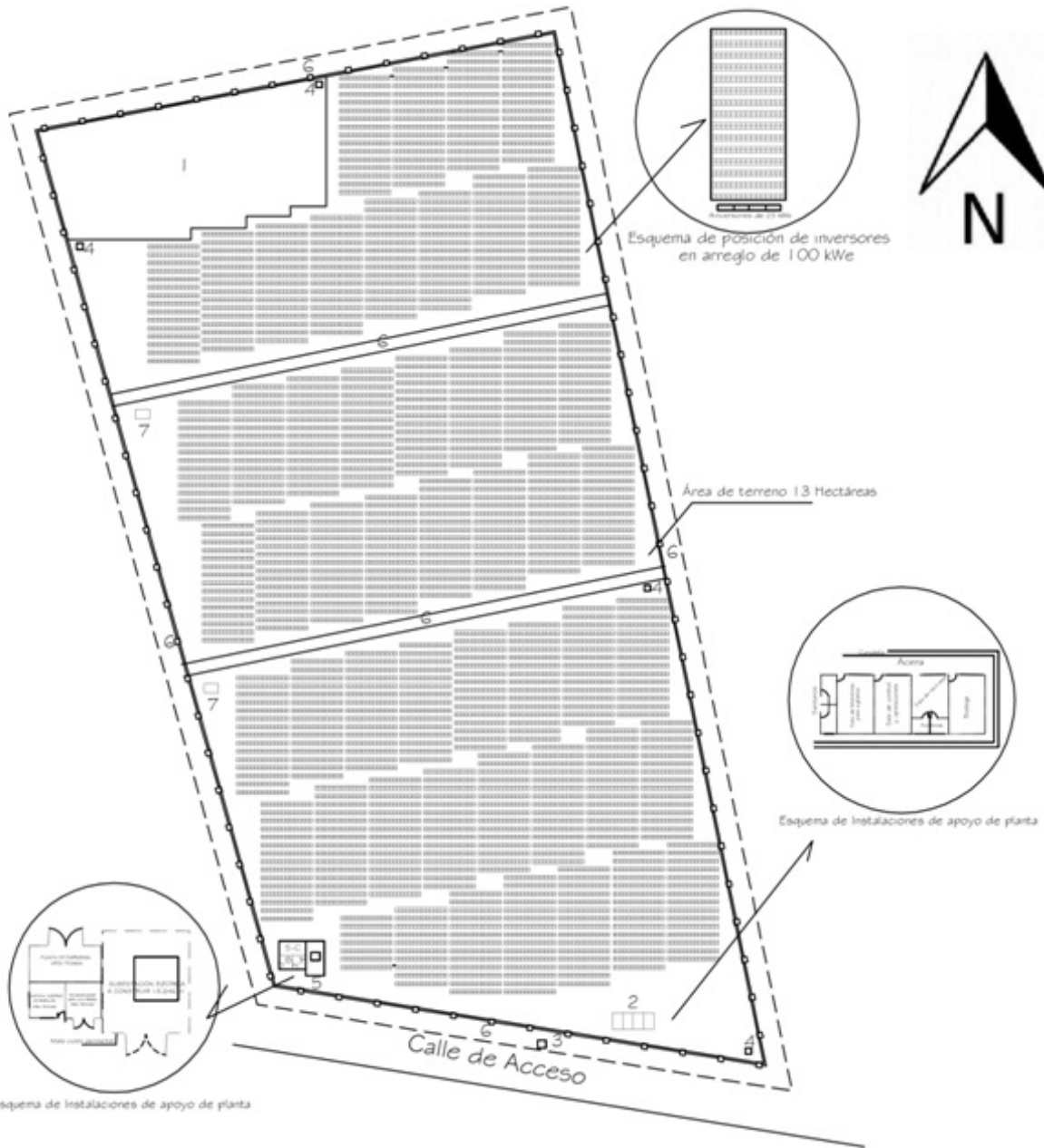
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red		
Orientación Campos FV	inclinación	18°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	KD245GX-LPB	Pnom	245 Wp
Generador FV	N° de módulos	23100	Pnom total	5660 kWp
Inversor	Modelo	Powador 30.0 TL3 M	Pnom	25.00 kW ac
Banco de inversores	N° de unidades	204.0	Pnom total	5100 kW ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



Anexo X. Distribución en planta del proyecto fotovoltaico 5 MWe



Esquema de instalaciones de apoyo de planta

Nomenclatura	
	Módulos fotovoltaicos
	Cerco perimetral externo
	Cerco perimetral interno
1	Área Verde
2	Oficina, bodega, sala de monitoreo y operaciones
3	Casetas de entrada
4	Torre de vigilancia
5	Subestación eléctrica elevadora
5-A	Transformador de servicio propio
5-B	Sistema eléctrico de respaldo
5-C	Planta de emergencia
6	Calles internas de planta
7	Transformadores elevadores

Áreas aproximadas de planta	
103,415 m ²	Módulos fotovoltaicos
17,902 m ²	Calles internas
531 m ²	Área construida
8,282 m ²	zona verde

Anexo XI. Especificaciones técnicas de equipo estación meteorológica

ESPECIFICACIONES EQUIPO PARA ESTACIONES DE METEOROLÓGICAS TELEMÉTRICAS:

EQUIPO MARCA SUTRON INC. (USA)

Especificaciones
Data Recorder, 8310 with SatLink-2-1B Transmitter/Logger (HDR) 100, 300 1200 bps (8210-G312-1B)
NEMA-4, stainless steel 24"x20"x10", inc Assy Mounting and 9 MS type Connectors 9600-0001
30 ft galvanized tower (5100-0220-1)
Lightning protection Kit, 30 ft galvanized tower
Crossed Yagi Antenna with Stainless Steel elements, 401.8 MHz, 11 dB gain, with 2" pipe mount, type N connectors. w/cable assy antenna 5100-0410-1
Solar Panel, 20 watt unregulated, includes Assy. Mounting & 18 ft Cable 5100-0410-1
Solar Panel/Battery Charger Regulator ASC, 8 Amp-5100-0408
Rain gauge (metric), Stainless steel 0.2mm/tip (inc.50 ft assy mounting 6211-1024-1 5600-0525-2)
Wind Speed Direction (WS/WD) Sensor, Prop Vane, includes cable & mounting 5600-0211 6411-1151-1 9600-0003 Mount
Pressure Sensor, Barometric, RS-232 and SDI-12 outputs, inc. cable/mounting 5600-0120-1
Pyranometer, WMO first class, includes cable/ mounting 5600-0601, 5600-0620
Temperature/Humidity Sensor w/PRT temperature, includes cable with MS connector & mounting 5600-316, 5600-0021-1C
Protector, Coax, Flange, NF-NF, 50-700 MHz (also available w/cable as 8111-1099-1).

Los equipos deberán cumplir los siguientes aspectos:

Data Recorder, 8310 with SatLink-2-1B Transmitter/Logger (HDR) 100, 300 1200 bps bps (8210-G312-1B)

Cada estación deberá estar equipada con un microprocesador para controlar la recolección y almacenaje de datos (Data Logger) y las transmisiones vía satélite. El conjunto Data Logger y transmisor de datos debe satisfacer las especificaciones siguientes:

Descripción	Especificaciones Técnicas
Microprocesador	Debe ser de baja potencia (De 1 a 5 Watts)
Velocidad de reloj	5 Mhz Mínimo
Memoria	Debe permitir almacenar en el sitio un mínimo de 32000 lecturas con capacidad de expansión de 64000 lecturas
Respaldo de memoria	La memoria debe estar respaldada por batería interna, esta debe tener una duración mínima de dos años.
Reloj en tiempo real	El reloj del registrador debe tener una precisión mínima de 1 minuto por mes. La temporización del satélite debe tener una precisión de 30 segundos o menos en seis meses.
Alarma de tiempo	El sistema deberá estar equipado con un dispositivo de tiempo que reinicie el almacenamiento de datos y restaure la programación del sistema en caso que el microprocesador sea reiniciado o se produzca una falla eléctrica.
Intervalo de muestreo	Los intervalos de muestreo deben poder ser ajustados desde 1 minuto hasta 24 horas, en incrementos de 1 minuto.
Recuperación de datos	El sistema debe soportar la transferencia instantánea de datos por medio de: Transmisiones programadas al satélite (Self Timer) , transmisiones al azar al satélite (Random), a través de puerto serial.
Montaje/ Programación	La unidad debe ser enteramente configurable con pantalla para visualizar datos y programación. No debe requerir equipo externo de prueba. La capacidad de programar

Descripción	Especificaciones Técnicas
	la unidad por medio de la computadora portátil, conectada al puerto serial RS-232, incorporado para extraer datos de la unidad, debe de ser posible en caso de falla de la pantalla.
Despliegue Visual	Cada unidad debe estar equipada con una pantalla frontal, con capacidad de programar el tiempo para que automáticamente se apague a fin de ahorrar energía.
Sensores seriales	La unidad debe soportar la conexión de sensores seriales a través del puerto. El fabricante deberá ofrecer el programa necesario para sensores de precisión medidores de niveles y lluvia.
Entrada Analógicas	Debe tener un mínimo de 4 entradas analógicas, resolución de 12 bits, ámbito de 0 a 5 voltios de corriente directa y precisión de $\pm 0.25\%$ de la escala completa.
Entradas Digitales	Debe de soportar un mínimo de tres sensores digitales, ofrecer resolución de 12 bits y hasta 1 kHz de frecuencia de entrada.
Suministro de Energía	La unidad debe ser alimentada por un máximo de 12 voltios de corriente directa. Debe operar como almacenador de datos (data logger) por un período de 90 días sin cargar la batería, la corriente de trabajo para la porción de almacenamiento debe ser muy baja para ahorro de energía. Deben proveerse facilidades para usar una batería interna en la unidad y opcionalmente usar un panel solar externo para cargar la batería, con un máximo de 18 voltios y un regulador de voltaje a 12 voltios.
Comunicación Opcional	El fabricante deberá ofrecer como opcional, versiones de la unidad almacenadora/transmisora que soporte comunicación vía telefónica, por línea externa de radio o por microondas. Estas opciones son requeridas para futuras necesidades de la red.
Módulo de satélite	<p>El Transmisor que enviará la información al satélite, debe de contar con la aprobación y certificación de NOAA/NESDIS, este debe poderse programar desde el display principal de la Plataforma colectora de datos y/o desde un tablero sencillo de módulo removible para facilidad de servicio y reparación. La selección de los canales de transmisión y otras programaciones debe poder hacerse mediante programación del panel frontal y deben de poderse programar y sintonizar todos los canales usados por el sistema GOES. El transmisor satelital debe contar con un oscilador sintetizador de 401.65 Mhz hasta 402.4 Mhz. El suministrante deberá realizar todos los cálculos de PIRE para asegurar que la plataforma pueda operar desde cualquier punto de El Salvador según las normas de operación del satélite GOES, dictadas por NESDIS.</p> <p>Es deseable que la plataforma colectora de datos pueda operar con otros sistemas de satélite. El suministrante deberá cotizar en forma opcional el equipo necesario para operar con satélites GMS, ARGOS y METEOSAT. En caso de que el Transmisor satelital no sea un componente integral de la Plataforma Colectora de Datos, sino que un periférico; éste deberá contar con las facilidades de programación de canales de transmisión y otros descritos arriba en este apartado.</p>
Conversión de datos	El programa de la unidad deberá soportar la aplicación de ecuaciones para cualquier dato que entra, a fin de convertir los datos crudos en unidades usuales de ingeniería (sistema métrico).
Formato del mensaje de datos	El formato del mensaje transmitido al satélite debe ser el utilizado por NESDIS y que permita datos en formato binario.
Reportes aleatorios	El programa deberá soportar transmisiones de alarmas basadas en niveles o grado de cambio de los parámetros entrantes. Debe soportar un mínimo de dos niveles de alarma y dos grados de cambio.

NEMA-4, stainless steel or fiber glass 24"x20"x10", inc. Assy. Mounting and 9 MS type Connectors

Descripción	Especificaciones Técnicas
CAJA TIPO SHELTER	Caja NEMA4 de Fibra de vidrio (20" Wx24" Hx10" D), que su ensamblaje incluya cables, protección de voltaje y conectores tipo MS.
Material	Fibra de vidrio u otro resistente a la intemperie
Tamaño aproximado	Alto 24", Ancho 20", profundidad 10"
Adicional	Protección contra voltaje, desecantes, Cables y 9 conectores tipo MS

30 feet Galvanized Tower (mastil tipo torre)

Descripción	Especificaciones Técnicas
Material	Acero galvanizado ó Aluminio anodizado
Altura	30 pies (10 metros)
Tipo	Espacial triangular de Ø1" con celosía sólida Ø¼" de refuerzo, en 3 secciones
Adicional	Con placa metálica en la base y sistema de bisagra; Con pararrayos y cable a tierra; Kit para montaje de sensores

Lightning Protection Kit, 30 feet Galvanized Tower

Descripción	Especificaciones Técnicas
Pararrayo	Tipo Aguja de Aluminio, de 36" de largo
Barras para Tierra	De cobre, Ø 5/8" y 8 pies de largo
Alambrado	Cable sólido desnudo de cobre No.4 y 30 pies de largo (10 metros)
Accesorios	Grapas, conectores, cepos y otros

Crossed Yagi Antenna with Stainless Steel Elements, 401.8 MHz, 11 dB gain, with 2" pipe mount, Type N conn. w/Cable assy antenna

La antena para transmitir desde la plataforma de colección de datos hacia el satélite geostacionario (GOES) debe ser resistente a la humedad, con ancho de amplitud de rayo suficiente para iluminar como mínimo dos de los satélites GOES: GOES Este / GOES Central o GOES Oeste / GOES Central cuando este orientada hacia el punto medio entre los satélites.

Descripción	Especificaciones Técnicas
Tipo de Antena	YAGI cruzada
Polarización	Circular derecha
Aumento	11.0 dBi
Frecuencia central	401.8 MHz
Ancho de banda	2 MHz
Impedancia de entrada	50 Ohms
Radio axial	4 dB
Conector	Tipo N hembra
Temperatura	-65 °C a +65 °C
Peso aproximado	6 lbs

Descripción	Especificaciones Técnicas
Tamaño recomendado	27 cms. de ancho x 27 cms. de alto x 1.10 mts. de largo
Cables	Para conectar la antena a la DCP, tipo Cable Coaxial LMR-400

Solar Panel, 20 watt unregulated, includes Assy. Mounting and 18 feet Cable

Descripción	Especificaciones Técnicas
Tipo de carga	18 watts no regulados
Voltaje de carga máximo	20 VDC
Corriente de carga máxima	1.17 Amp
Carga mínima	18 watts
Voltaje del circuito abierto	20.8 VDC
Dimensiones recomendadas	42 cms. de largo x 50 cms. de ancho x 5 cms. de alto
Peso aproximado	6.5 lbs
Cable	Para conexión del panel a la batería de respaldo, tipo BELDEN-M 9409 1PR18 (6 mts.),
Regulador de voltaje	Entrada de 20 VDC y salida de 12 VDC

Solar Panel/Battery Charger Regulator ASC, 12/8 volt/amp

Descripción	Especificaciones Técnicas
Voltaje/Corriente	12/8 Corriente Directa
Terminales	2 de Panel Solar, 2 de Batería
Led	Indicador de estado de Carga

Rain Gauge (metric), Stainless Steel 0.2mm/Tip (inc.50ft/Assy. mounting)

Descripción	Especificaciones Técnicas
Material	Acero inoxidable u otro resistente a la intemperie
Tamaño del orificio de salida	20 cms. de diámetro
Dimensiones estándar	20.95 cms. de diámetro x 60.96 cms. de alto
Peso aproximado	6.4 libras
Salida	0.1 segundo el cambio de cierre
Sensibilidad requerida	1 tip / 0.008 " (0.2032 mm)
Resolución	0.2032 mm
Exactitud	± 1.27 cm/hr a ± 5.08 cm/hr)
Cables	Incluir el cable de conexión del sensor a la DCP

Wind Speed/Direction (WS/WD) Sensor, Prop Vane, includes cable and mounting

Descripción	Especificaciones Técnicas
Material	Carcasa de acero inoxidable, plástico u otro material resistente a la intemperie
Velocidad del Viento	0-60m/s (0-134 mph)
Exactitud en la medición	± 0.3 m/s; (± 0.6 mph); <20 m/s 2% >20 m/s
Supervivencia a las Ráfagas	100 m/s; (220 mph)
Umbral permitido	Propelaje de 0° a 360°; De 1.0 m/s (2.2 mph)
Respuesta Dinámica	Distancia de propelaje constante(63% de recuperación); 2.7m (8.9 pies)

Descripción	Especificaciones Técnicas
Salida	Inducción magnética de voltaje AC, formateado para una onda de voltaje recta de 5 voltios, 1800 rpm (90 hz); 8.8m/s (19.7 mph)
Alimentación Eléctrica	8 VDC min-15VDC max

Pressure Sensor, Barometric, RS-232 and SDI-12 outputs, includes cable and mounting

Descripción	Especificaciones Técnicas
Material	Carcasa de acero inoxidable, plástico u otro material resistente a la intemperie
Rango	660 a 810 mm Hg (880 a 1800 mb)
Elevación	Hasta 3650 metros (12,000 pies)
Exactitud	1.3 mm (1.7 mb)
Resolución	0,1 mm Hg, (0.1 mb)
Rango de Temperatura	-40°C a +60°C
Alimentación Eléctrica	+8 a +28VDC
Conexión y Consumo Energía	RJ-45 type; SDI-12 6mA tipo

Pyranometer, WMO First Class, includes cable and mounting

Descripción	Especificaciones Técnicas
Material	Carcasa de acero inoxidable, plástico u otro material resistente a la intemperie
Rango	0 a 1500 Watts/m ²
Resolución	1 Watts/m ²
Exactitud	5%

Temperature/Humidity Sensor with PRT temperature, includes cable with MS connector and mounting

Descripción	Especificaciones Técnicas
Material	Carcasa de acero inoxidable, plástico u otro material resistente a la intemperie
Rango de Medición	Humedad de 0-100% ; Temperatura de -73°C a +60°C
Exactitud en la medición	1.5% de 1 a 100% Hemedad Relativa 1°C temperatura
Estabilidad Humeda	Mejor si la humedad relativa es de 1% después de 1 año
Tiempo de respuesta	10 segundos(% de humedad relativa y temperatura sin filtrar)
Consumo de Energía	10 mA
Salida	Humedad 0-1VDC Temperatura 0-1 VDC
Alimentación Eléctrica	4.8 to 26.5VDC

Protector, Coax, Flange, NF-NF, 50-700 MHz with cable as 8111-1099-1

Descripción	Especificaciones Técnicas
Material	Aluminio anodizado
Capacidad	Multi Strike
Pérdida por inserción	0.1 db
Rango de Frecuencia	125-1000 Mhz.
Conector de protección lateral	N Female 50
Poder RF	50-375 watts
Cambio de voltaje	700 Vpk
Temporizado	Usando PolyPhaser Part #WK-1