



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN GENERADOR DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL CENTRO
UNIVERSITARIO DE NOR-OCCIDENTE (CUNOROC), UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA, BAJO LA NORMATIVA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

José Fernando Chávez Villatoro

Asesorado por el Ing. Otto Fernando Andrino González

Guatemala, julio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN GENERADOR DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL CENTRO
UNIVERSITARIO DE NOR-OCCIDENTE (CUNOROC), UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA, BAJO LA NORMATIVA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ FERNANDO CHÁVEZ VILLATORO

ASESORADO POR EL ING. OTTO FERNANDO ANDRINO GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Alberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

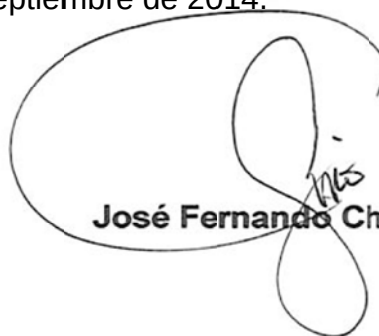
DECANO	Ing. Jorge Mario Morales González
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Luis Alberto Maldonado Salazar
EXAMINADOR	Ing. Otto Armando Girón Estrada
SECRETARIO	Ing. Edgar José Bravatti Castro

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE UN GENERADOR DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL CENTRO
UNIVERSITARIO DE NOR-OCCIDENTE (CUNOROC), UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA, BAJO LA NORMATIVA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 14 de septiembre de 2014.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'J' followed by a series of loops and a final vertical stroke.

José Fernando Chávez Villatoro

Guatemala, 16 de junio de 2015

Ingeniero,
Otto Fernando Andrino González
Coordinador Área Electrotecnia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimado Ingeniero:

Tras haber asesorado al estudiante universitario **JOSÉ FERNANDO CHAVÉZ VILLATORO**, con carné 86-12129, en el desarrollo del trabajo de graduación titulado: **"DISEÑO DE UN GENERADOR DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL CENTRO UNIVERSITARIO DE NOR-OCCIDENTE (CUNOROC) UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, BAJO LA NORMATIVA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA"** y tras haber revisado y corregido su contenido, sin encontrar alguna objeción al respecto, doy mi aprobación al mencionado trabajo de graduación.

El autor de este trabajo de graduación y su asesor son responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,


Ingeniero asesor de tesis *Otto F. Andrino G.*
INGENIERO ELECTRICISTA
COLEGIADO # 4038



Ref. EIME 30. 2015

Guatemala, 15 de JUNIO 2015.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**DISEÑO DE UN GENERADOR DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA
PARA EL CENTRO UNIVERSITARIO DE NOR-OCCIDENTE
(CUNOROC) UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA, BAJO LA NORMATIVA DE GENERACIÓN
DISTRIBUIDA,** del estudiante José Fernando Chávez Villatoro,
que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Otto Fernando Andino González
Coordinador Área Electrotécnica



STO



REF. EIME 30. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JOSÉ FERNANDO CHÁVEZ VILLATORO titulado: DISEÑO DE UN GENERADOR DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL CENTRO UNIVERSITARIO DE NOR-OCCIDENTE (CUNOROC) UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, BAJO LA NORMATIVA DE GENERACIÓN DISTRIBUÍDA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

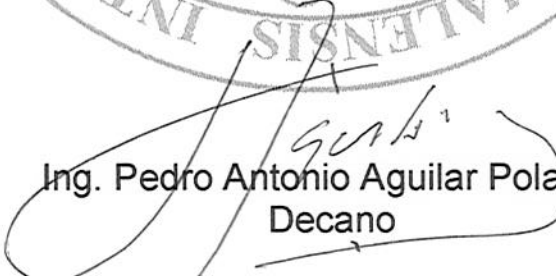


GUATEMALA, 16 DE JUNIO 2015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN GENERADOR DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL CENTRO UNIVERSITARIO DE NOR-OCCIDENTE (CUNOROC) UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, BAJO LA NORMATIVA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA**, presentado por el estudiante universitario: **José Fernando Chávez Villatoro**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, julio de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la fuerza que me impulsó cada momento a seguir adelante.
Mis padres	Artemio Chávez y Lidia de Chávez, su amor y dedicación serán siempre mi inspiración.
Mis hijas	María Fernanda y María Andrea Chávez, por ser dos ángeles inspiradores en mi vida.
Mis hermanos	Rossana, Francis y Claudia Chávez Villatoro, por estar ahí siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el lugar donde se me concedió el privilegio de aprender e impulsar mis objetivos.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera y referencia de superación y nivel académico.
Mis amigos de la Facultad	A los que en todos los periodos y fases de mi carrera fueron partícipes y me influenciaron.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. INCIDENCIA DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL MEDIO AMBIENTE	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Cambio climático	6
1.1.2. Protocolo de Kioto	8
1.2. Estado y procedencia de la generación eléctrica en Guatemala.....	10
1.2.1. Historia de la electrificación en Guatemala.....	10
1.2.1.1. Guatemala con potencial para generar electricidad limpia	17
1.2.1.2. Inversión en energía solar	18
1.2.1.3. Incentivos para energía limpia.....	19
1.2.1.4. Potencia adjudicada en proceso de licitación a largo plazo	21
1.2.2. El sector la energía en Centroamérica. Aspectos generales (2013).....	21
1.2.2.1. El sector la energía.....	22
1.2.2.2. Algunas noticias relevantes recientes..	24

1.2.2.3.	Ventajas y desventajas de la generación solar	25
1.2.2.3.1.	Ventajas	25
1.2.2.4.	Reflexiones finales	27
2.	BASES PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA	29
2.1.	Proceso de conversión de luz solar en energía eléctrica	29
2.1.1.	El Sol como fuente de energética.....	30
2.1.2.	Constante solar	33
2.1.3.	Componentes de la radiación solar	35
2.1.3.1.	Factor AM (masa de aire).....	38
2.1.3.1.1.	Definiciones para observador terrestre	40
2.1.4.	Variaciones de la radiación solar.....	44
2.1.5.	Horas de pico solar	45
2.1.6.	Principios de conversión fotovoltaica	46
2.1.7.	La célula fotovoltaica.....	48
2.1.7.1.	Tecnología fotovoltaica	50
2.1.8.	Paneles solares, características y modelos de mercado	54
2.1.8.1.	Estructura de los paneles solares	55
2.1.8.2.	Características de los paneles	56
2.1.8.2.1.	Parámetros eléctricos que definen un módulo fotovoltaico	56
2.2.	Componentes de diseño de un generador fotovoltaico	61
2.2.1.	Generador fotovoltaicos conectados a red	61
2.2.1.1.	Definición de un sistema fotovoltaico conectado a red.....	61

2.2.1.2.	Tipos de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red	63
2.2.1.3.	Sistemas fotovoltaicos en edificios	63
2.2.1.4.	Huertos o centrales eléctricas fotovoltaicas.....	65
2.2.1.5.	Formas de conectarse a la red	67
2.2.1.6.	Tarifa fotovoltaica	67
2.2.1.7.	Facturación neta.....	67
2.2.2.	Opciones de estructura mecánica como soporte de los paneles solares	69
2.2.3.	Inversores de corriente	71
2.2.3.1.	Configuración del inversor de red	72
2.2.4.	Protecciones eléctricas (NEMA)	74
2.2.5.	La caja general de protección.....	78
2.2.6.	Puesta a tierra	78
2.2.7.	Cableado para la conexión de los equipos	79
3.	DISEÑO DE UN GENERADOR FOTOVOLTAICO PARA EL CENTRO UNIVERSITARIO DE NOROCCIDENTE (CUNOROC), UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, BAJO LA NORMATIVA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	81
3.1.	Determinación coordenadas geo referenciadas de la ubicación del área donde se dispondrá el generador fotovoltaico o huerto solar.....	82
3.2.	Estimación de radiación o irradiancia en los puntos previamente seleccionados	84
3.3.	Determinación de carga eléctrica instalada y consumo real....	85
3.4.	Investigación sobre equipos fotovoltaicos disponibles en el mercado.....	85

3.5.	Dimensionado de los componentes y cálculo de presupuesto del GFV	87
3.5.1.	Características principales del GFV	88
3.5.2.	Paneles solares.....	90
3.5.3.	Estructura de soporte y fijación en las áreas dispuestas	90
3.5.4.	Inversor y topología del GFV	92
3.5.5.	Sistema de cableado, conexiones y ductería	96
3.5.5.1.	Cableado de corriente continua (CC) ...	96
3.5.5.2.	Cableado corriente alterna (CA).....	99
3.5.5.3.	Conexiones	99
3.5.5.4.	Ductería.....	100
3.6.	Protecciones y tierras físicas.....	100
3.6.1.	Protecciones CA y CD.....	101
3.6.1.1.	Protecciones de corriente continua (CC o CD).....	102
3.6.1.2.	Protecciones de corriente alterna.....	104
3.6.2.	Sistema de tierra física.....	107
3.6.2.1.	Puesta a tierra de la instalación fotovoltaica conectada a red.....	108
3.7.	Marco legal.....	111
3.7.1.	Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía (NTGDR).....	111
4.	MEDIDORES O CONTADORES BIDIRECCIONALES, ANÁLISIS ENERGÉTICO	115
4.1.	Análisis energético	116
4.1.1.	Presupuesto desglosado del diseño establecido...	118

4.2.	Observaciones adicionales.....	119
CONCLUSIONES		121
RECOMENDACIONES.....		125
BIBLIOGRAFÍA.....		127
APÉNDICES		129
ANEXOS		139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Hidroeléctrica Palín II	11
2.	Hidroeléctrica Santa Maria	12
3.	Hidroeléctrica Jurún Marinalá.....	14
4.	Hidroeléctrica Aguacapa	15
5.	Hidroeléctrica Chixoy	16
6.	Evolución matriz energética 2007-2013	20
7.	Consumo de energía 2013.....	20
8.	El sector la energía en Centroamérica. Aspectos generales (2013)	22
9.	Proceso de conversión de luz solar en energía eléctrica	32
10.	Componentes de la radiación solar	38
11.	Trayectorias solares	39
12.	Trayectoria solar durante el día.....	41
13.	Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Cobaev	43
14.	Media de horas solares pico	46
15.	Efecto fotovoltaico	47
16.	Aerogeneradores	48
17.	Célula fotovoltaica	49
18.	Energía solar fotovoltaica y sus aplicaciones	59
19.	Comportamiento eléctrico de un módulo.....	60
20.	Curva V-I en función de la temperatura.....	61
21.	Esquema sistema fotovoltaico conectado a red	62
22.	Edificio con fachada fotovoltaica	65

23.	Huerto solar fotovoltaico	66
24.	Soportes utilizados en los paneles solares	70
25.	Ubicación del Cunoroc y área dispuesta.....	83
26.	Topología esquemática.....	95
27.	Parte posterior panel solar 300 w mostrando caja de conexiones y cables de corriente continua	98
28.	Fusible de corriente continua y símbolo normalizado	103
29.	Esquema instalación puesta a tierra	109
30.	Análisis energético.....	117

TABLAS

I.	Actividades económicas y de consumo	4
II.	Actividades económicas	5
III.	Notable avance de las FRE (fuentes renovables de energía).....	23
IV.	Ventajas y desventajas de la energía solar	26
V.	Longitud de onda y energía de los rayos ultravioleta.....	33
VI.	Variación de la radiación incidente con la altitud	35
VII.	Influencia de las condiciones climatológicas en la radiación incidente	35
VIII.	Eficiencia y área de los materiales utilizados en las celdas solares	51
IX.	Comparativo en la producción fotovoltaica del 2006.....	52
X.	Tabla comparativa de celdas solares según su tecnología.....	54
XI.	Datos generales de entrada y salida del convertidor de CD/CA	73
XII.	Datos de irradiancia y metereológicos	84
XIII.	Resumen de carga y consumo eléctrico Cunoroc	85
XIV.	Paneles solares más usados en el mercado local	86
XV.	Ficha básica de datos de fabricante del panel solar seleccionado	87
XVI.	Dimensionado y área necesaria	88

XVII.	Ficha técnica básica de inversores a utilizar	92
XVIII.	Topología o conformación generador fotovoltaico	94
XIX.	Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase	110
XX.	Listado de materiales y costo generador fv, Cunoroc	118

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
η	Eficiencia
FV	Fotovoltaico
HPS	Horas pico solares
n	Número de aparatos del mismo tipo
Np	Número de paneles
P	Potencia (W)
Tipo N	Semiconductor con cargas mayoritariamente negativas
Tipo P	Semiconductor con cargas mayoritariamente positivas
V	Volts, unidad de medida de caída de tensión

Vdc	Volts de corriente directa
W	Wats, unidad de medida de potencia
Wh	Watts-hora
Wp	Watts pico

GLOSARIO

Acumulador	Sinónimo de batería es un dispositivo utilizado para almacenar energía en forma química.
Diodo	Dispositivo electrónico que permite el paso de corriente en una sola dirección.
Fotoeléctrico	Material que permite el paso de más o menos corriente dependiendo de la intensidad de la luz.
Fusión	Evento que describe la unión de dos a más materiales para formar un nuevo.
Panel solar	Módulo diseñado para convertir la radiación solar en electricidad.
Radiación	Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas por el espacio.
Silicio	Material semiconductor muy utilizado para elaborar componentes electrónicos.
Watt	Unidad de potencia del sistema internacional de medidas.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se desarrolla inicialmente, tomando en cuenta la influencia de la generación fotovoltaica en el medio ambiente, específicamente la cantidad de dióxido de carbono que se deja de emitir al ambiente. Además, como las generadoras convencionales por el tipo de combustible que usan influyen en la contaminación. Asimismo, se muestra una breve historia de la generación y electrificación en Guatemala, tomando como referencia las generadoras por medio de hidroeléctricas, como referentes para proveer energía de fuentes renovables.

Guatemala tiene un potencial para generar energía limpia y en los últimos años la generación con energía solar o fotovoltaica ha ganado terreno.

En el capítulo 2 se describe la base teórica de todo el proceso fotovoltaico, los elementos que participan y los criterios que se deben tomar en cuenta desde el inicio del diseño hasta su finalización.

En el capítulo 3, se desarrolla paso a paso el "diseño del generador fotovoltaico" que se ha propuesto, tomando en cuenta la ubicación, área dispuesta para su emplazamiento, características eléctricas con las que cuenta el Cunoroc, elementos del diseño disponibles en el mercado, entre otros, de tal manera que se cumplan con los criterios técnicos requeridos.

En el capítulo 4, se hace el análisis energético que compara la incidencia o ventajas de este tipo de generación en la facturación final, así como también se presenta el presupuesto. Con esto se describe el tiempo de recuperación de

la inversión y un pequeño análisis que demuestra la factibilidad de dicho proyecto a futuro.

OBJETIVOS

General

Elaborar el diseño de un generador de energía fotovoltaica para el Centro Universitario de Noroccidente (Cunoroc), Universidad de San Carlos de Guatemala, bajo la normativa de generación distribuida.

Específicos

1. Determinar la incidencia de la generación fotovoltaica en el medio ambiente y sus efectos. Ventajas y desventajas.
2. Proveer la base teórica de los componentes que conforman un generador fotovoltaico y la tecnología existente hoy en día que facilita la implementación de dicho generador.
3. Diseño paso a paso de un generador de energía fotovoltaica para el Centro Universitario de Noroccidente (Cunoroc), Universidad de San Carlos de Guatemala, bajo la normativa de generación distribuida. Aprovechando el marco legal actual que favorece la generación de energía fotovoltaica y su inyección a la red eléctrica.
4. Hacer un análisis básico de eficiencia energética y presupuesto o costo del generador propuesto para realizar las estimaciones necesarias, que determinarán el ahorro comparativo en kilowatt-hora (kwh) utilizando este tipo de energía renovable.

INTRODUCCIÓN

Las energías renovables en todo el mundo crecieron un 8,3 % en 2013, hasta llegar a un 22 % de la producción total y los empleos de ese sector aumentaron un 14 %, hasta alcanzar los 6,5 millones, según un informe divulgado por la organización Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN 21). Este dice que existe un verdadero cambio tendiente al uso de este tipo de energías, haciendo énfasis en la reducción de la generación convencional por uso de combustibles fósiles y por ende a la reducción en las emisiones de dióxido de carbono.

El presente trabajo de graduación, conlleva varios factores a tomar en cuenta, para el caso del Cunoroc, el primero de ellos es determinar cuáles son las características actuales del consumo de energía eléctrica, estadísticas del comportamiento en la facturación mensual, estado de las instalaciones eléctricas, entre otros, parámetros importantes que determinarán el siguiente paso, que es dimensionar y diseñar en función al área dispuesta, los módulos fotovoltaicos (o generador fotovoltaico) necesarios para cubrir total o parcialmente la demanda energética del Cunoroc. Además, aprovechar el marco legal existente para este tipo de proyectos.

Dicha propuesta conlleva implícitamente el hacer conciencia a los docentes y alumnos de la necesidad de implementar a futuro inmediato la generación de energía renovable de fácil acceso, como lo es la solar o fotovoltaica y sus efectos al medio ambiente. No está demás hacer un llamado a la sociedad, por medio de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para que se involucren directamente en preservar, cuidar, mantener y promocionar el

cuidado del medio ambiente a todo nivel, utilizando para tal, el potencial que implica el estudiante debidamente capacitado e involucrado.

1. INCIDENCIA DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL MEDIO AMBIENTE

Es importante tener una perspectiva actualizada de la incidencia de la generación eléctrica por medios convencionales y el beneficio que conlleva buscar alternativas limpias o renovables.

1.1. Antecedentes

Durante la última década, Guatemala ha padecido los embates de fenómenos naturales de gran importancia, por ejemplo el huracán Mitch en 1998, las tormentas tropicales Stan (2005) y Ágatha (2010). Durante estos períodos la conjunción de estos fenómenos ha tenido un impacto fuerte en los medios de vida rural y afectado el crecimiento macroeconómico, el bienestar humano y el desarrollo sostenible. Además, hay que agregar que en Guatemala está posicionado entre las cinco naciones de más alto riesgo en el mundo, por la vulnerabilidad de su producto interno bruto (PIB) ante tres o más amenazas, con el 83 % de su PIB generado en áreas de riesgo.

Se plantea que en Guatemala no se desarrolla una gestión ambiental efectiva, a pesar de ver todos los días los daños ambientales y el deterioro de los recursos naturales saltan a la vista, sabiendo que se tiene a la disposición la información técnica disponible para detener el daño o los efectos nocivos.

En la actualidad está de moda el término: cambio climático, este no es más que un fenómeno ambiental de carácter puramente atmosférico (termodinámico), este ha sido más notorio a finales del siglo XX, siendo más

visible y de forma rápida como consecuencia de la intervención directa o indirecta de los humanos y las industrias en el medio ambiente planetario.

Teniendo en cuenta la estabilidad secular de la temperatura en la superficie de la tierra, los cambios producidos desde el asentamiento de la revolución industrial en el mundo, con un recalentamiento en aumento, han de ser vinculados al proceso económico por ella generado, eminentemente industrializador, urbanizador y consumista. Todo esto no es nada novedoso, tomando en cuenta que el clima de la Tierra todo el tiempo ha sido cambiante, con procesos lentos y debido a causas naturales propias o exteriores al planeta.

Por su carácter climatológico, el cambio climático actual es un fenómeno incierto, aleatorio y ubicuo, y es en estas características sobre las que se basa la polémica científico-política acerca de si obedece a causas naturales (“clásicas” o geológicas) o si ha de atribuirse claramente a la intervención y responsabilidad humanas, debido a que el “principal agente perturbador identificado, el dióxido de carbono, tiene su origen en la actividad económica del ser humano.” Pero la celeridad relativa de sus manifestaciones, el mejor conocimiento de sus mecanismos y el intenso seguimiento que se viene haciendo desde hace unas décadas, deja pocas posibilidades a la sospecha o interpretación de que pueda obedecerse a causas naturales, siendo ya de general aceptación que se trata de un acontecimiento netamente antropogénico.

Aunque es evidente que la universalidad geográfica es el rasgo más importante de los efectos negativos del cambio climático, todas las previsiones apuntan a que las áreas intertropicales resultan ser las más frágiles y expuestas, y por ello lo sufrirán con mayor intensidad. Como regiones más críticas se señalan de forma especial el sur y sureste asiático, ambas bandas

tropicales africanas y, desde luego, un amplio espacio en el continente americano en el que se incluye por completo Centroamérica. La región mesoamericana, que emite tan solo un 0,5 % del total mundial de dióxido de carbono, es, sin embargo, una de las más vulnerables ante los efectos negativos del cambio climático.

La oferta de emisiones ha sufrido pocas variaciones durante el período 2006 - 2010, con un promedio de 19,4 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalentes, generadas sobre un horizonte de 20 años (en adelante millones de potencial de calentamiento global [PCG]) 100 por la economía nacional. En el cuadro 1 se muestra que 2010 fue el año en que la economía originó la mayor cantidad de emisiones, alcanzando los 20,3 millones de PCG, mientras que para 2006 se reporta el menor nivel de generación de emisiones (18,1 millones de PCG). "Este incremento está asociado a un aumento en el consumo de energía eléctrica y a cambios en la estructura de la matriz energética nacional, donde gradualmente se ha incrementado la participación de fuentes de energía no renovables."

Por un lado, durante 2010 el consumo de energía del Sistema Nacional Interconectado (SIN) manifestó una tendencia al alza, alcanzando un crecimiento del 3,29 % con relación al año anterior (CNEE, 2011). Por otro lado, la contribución de hidroenergía a la matriz energética nacional pasó de 74,61 % en el periodo junio-octubre 2008, a 50,29 % en el período junio-octubre 2009 (CNEE, 2010).

En el cuadro 1 se observa que, en promedio, el 86 % de la oferta de las emisiones para el periodo 2006-2010 (16,8 millones de PCG) es generada por tan solo tres actividades económicas: a) las industrias manufactureras (43,5 %);

b) el suministro de electricidad, gas y agua (35 %); c) el transporte, almacenamiento y comunicaciones (8,4 %).

Tabla I. **Actividades económicas y de consumo**

Generación de dióxido de carbono (CO2), metano (CH4) y óxido nítrico (N2O) provenientes de la combustión de productos energéticos en Guatemala, según actividad económica (toneladas equivalentes de CO2 sobre un horizonte de 20 años). Período 2006-2010									
ACTIVIDADES ECONÓMICAS Y DE CONSUMO	2006	2007	2008	2009	2010	PROMEDIO 2006-2010	ESTRUCTURA PORCENTUAL		
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	162 916	182 870	177 440	217 845	217 257	191 666	1,07		
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	398 947	423 397	377 997	445 848	464 794	422 196	2,29		
Comercio al por mayor y al por menor	634 326	675 914	621 600	692 943	710 464	667 050	3,5		
Construcción	319 485	336 805	321 847	280 375	258 608	303 424	1,27		
Enseñanza	19 983	20 902	20 930	23 444	23 405	21 733	0,12		
Explotación de minas y canteras	85 962	99 098	84 542	94 113	115 663	95 876	0,57		
Hoteles y restaurantes	476 846	511 097	477 043	543 024	511 453	503 893	2,52		
Industrias manufactureras	8 427 956	9 149 262	8 307 910	8 572 679	8 850 710	8 661 703	43,54		
Intermediación financiera	7 983	9 047	7 525	8 659	8 594	8 362	0,04		
Otras actividades y servicios comunitarios, sociales y personales	22 990	23 481	21 530	25 121	24 999	23 624	0,12		
Servicios Sociales y de salud	70 418	93 725	82 382	86 627	86 548	83 940	0,43		
Suministro de electricidad, gas y agua	5 731 206	6 605 917	6 155 599	6 918 410	7 113 397	6 504 906	35		
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	1 579 258	1 743 713	1 588 316	1 742 791	1 708 624	1 672 540	8,41		
Administración Pública	141 178	131 574	669 619	213 116	225 255	276 149	1,11		
Asociaciones que sirven a hogares	2 905	2 629	2 085	4 316	4 285	3 244	0,02		
Planes de seguridad obligatorios	1 817	376	2 357	2 253	2 225	1 806	0,01		
Total de emisiones de las actividades económicas	18 084 176	20 009 807	18 918 722	19 871 564	20 326 281	19 442 1129	35		

Nota: Este cuadro solo presenta las emisiones de las actividades económicas, No se registran la emisiones de los hogares, por ejemplo por el consumo de leña.

Fuente: BANGUAT y IARNA-URL (2011).

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Actividades económicas

Generación de dióxido de carbono (CO2), metano (CH4) y óxido nítrico (N2O) provenientes de la combustión de productos energéticos en Guatemala, según actividad económica y producto energético (toneladas equivalentes de CO2 sobre un horizonte de 20 años). Período 2006-2010											
ACTIVIDADES ECONÓMICAS	LEÑA	Petróleo	Carbón	Bagazo	PRODUCTO					TOTAL	
					Gasolina	Diesel	Bunker	Kerosene	Gas		Refinerías
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler					90 564	126 404				92	217 060
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca					75 955	388 839					464 794
Comercio al por mayor y al por menor	85 669				167 666	447 476				9653	710 464
Construcción			855		18 054	101 072				16	138 611
Enseñanza			31		9 365	13 911				98	23 405
Explotación de minas y canteras			14 933		54 492	46 239					115 664
Hotelería y restaurantes	90 164				69 177	268 165		54 418	29 529		511 453
Industrias manufactureras	4 386 112	208 464	1 990 574		442 538	849 303		646 524	170 987	156 209	8 850 711
Intermediación financiera					8 594						8 594
Otras actividades y servicios comunitarios, sociales y personales					12 646	12 279			74		24 999
Servicios Sociales y de salud			75		37 280	48 560			445	188	86 548
Suministro de electricidad, gas y agua			1 390 917	4 237 349	7 931	237 966		1 060 797	59 848	118 589	7 113 397
Transporte, almacenamiento y comunicaciones					222 810	1 352 042			133720	51	1 708 623
Administración Pública			33 667		144 525					47 063	225 255
Asociaciones que sirven a hogares					2 542	1 743					4 285
Planes de seguridad obligatorios					2 064					161	2 225
Total de emisiones de las actividades económicas	4 561 945	208 464	3 431 052	4 237 349	1 366 203	3 893 999	1 761 739	193 568	210 847	460 919	20 326 085
Nótese que este cuadro sólo presenta las emisiones de las actividades económicas. No se registran las emisiones de los hogares, por ejemplo por el consumo de leña.											
1/ Leña, 2/ Petróleo crudo y gas natural, 3/ Otros minerales no metálicos no contemplados previamente (carbón mineral), 4/ Desperdicios de la industria de la alimentación y el tabaco (bagazo de caña), 5/ Gasolina, 6/ Gas oil (diésel), 7/ Fuel oil y bunker (combustibles para calderas), 8/ Kerosina, 9/ Gases de petróleo y otros hidrocarburos gaseosos, 10/ Otros productos de la refinería de petróleo no contemplados previamente.											
Fuente: BANGIAT y IARNA-URL (2011).											

Fuente: elaboración propia.

En el cuadro 2 se observa que la oferta de emisiones para el 2010 corresponde, en gran medida, a aquellas actividades que utilizan como principal fuente energética la leña, el carbón, el bagazo y el diésel. Estas actividades generaron 16,1 millones de PCG, lo que representa cerca del 80 % del total de emisiones producidas por las actividades económicas en ese año. Destaca que la leña es la fuente energética que más emisiones genera (22 % del total nacional, 4,6 millones de PCG) y la actividad económica que más contribuye a la producción de emisiones es: actividades manufactureras (49 %, 4,3 millones de PCG).

Es imperante contribuir en hacer consciencia sobre los comportamientos micro y macro, dependientes de las formas de energía que tengan un efecto al medio ambiente, pero también importante saber las consecuencias y efectos al diseñar y construir o usar formas de energía “amigables con el medio ambiente”, de tal manera que su efecto dañino pueda ser reparado o renovado a corto plazo.

1.1.1. Cambio climático

La energía es una de las riquezas más importantes que puede tener un estado. Las implicaciones económicas y sociales que esta tiene en el desarrollo, han generado que sea un factor primordial a considerar por los gobiernos. Por ello es importante salvaguardar la seguridad energética en todos los países del mundo. A lo largo de la historia, los combustibles fósiles han sido la principal fuente primaria de energía. "Si esta tendencia se mantiene, estimaciones de la OCDE proyectan que para el 2050 la demanda total de combustibles fósiles aumentará de 80 por ciento en 2005 a aproximadamente 84 por ciento"¹. Asimismo, los combustibles no fósiles representarán el 16 por

¹ Agencia Internacional de Energía. *Energy technology perspective*. p. 113.

ciento de la demanda en 2050, disminuyendo su participación del 19 por ciento que tenían en 2005.

Dado que los combustibles fósiles seguirán siendo los principales insumos dentro de la oferta, los países deben estar conscientes de que se necesita asegurar, tanto el suministro de estas fuentes, como instrumentar varias medidas para disminuir las emisiones de bióxido de carbono. "Se calcula que la demanda mundial de energía crecerá en un 44 por ciento en los próximos 25 años, lo que impactará significativamente el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero asociados al cambio climático".²

Los factores determinantes de los patrones de emisiones de estos gases por generación y uso de energía son principalmente el crecimiento de la población, el crecimiento económico, la intensidad energética y las mezclas de combustibles fósiles que se utilizan. Si se sigue con esta tendencia, se estima que en los próximos 30 años, el mundo emitirá casi tres cuartas partes de lo que ha emitido durante los últimos 250 años, por lo que el reto consiste en desacoplar el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero del crecimiento económico (Martínez, 2009).

En otras palabras, los efectos negativos que este tipo de combustible ha ocasionado en el medio ambiente, han hecho que diversos países, así como los organismos internacionales, no solo analicen las medidas para atender la producción y la demanda por las fuentes primarias como se había hecho en un pasado, sino que se preocupen por incorporar el eje de la sustentabilidad en sus políticas energéticas. El mundo está consciente de que el principal responsable del aumento en las emisiones de gas es de efecto invernadero es

² International Energy Outlook 2009. *Energy information administration*. p. 146.

el “sector energético.” El cambio climático es un problema estratégico nacional y mundial.

Es indudable que el daño que se le haga al ambiente repercutirá en el bienestar de todos, ya que el aumento en la concentración de “dióxido de carbono” en un país contribuye a generar catástrofes naturales en el mundo entero. Por esta razón este problema global, es deber de todos los países realizar un esfuerzo conjunto para asegurar el bienestar de la sociedad, para atender las necesidades energéticas de la humanidad, conservando simultáneamente la riqueza de los ecosistemas, en este sentido, diversos gobiernos se han planteado el establecimiento de una transición de tipo energético para poder lograr sus objetivos.

1.1.2. Protocolo de Kioto

Los científicos aseguran que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha pasado de 280 a 379 partes por millón (ppm), cifra nunca alcanzada en los últimos 420 000 años. Esta concentración que se ha disparado desde el inicio de la era industrial ha traído consigo un aumento de temperatura media mundial, que en los últimos 100 años y que en la última década fue la más calurosa de los últimos 150 años, se habla de un aumento de la temperatura media que puede ir de 1,4 a 5,8 °C entre 1990 y 2010 (Mosquera, 2007), lo que distorsionaría los ciclos del agua y provocaría un aumento del nivel del mar por el deshielo de los casquetes polares. En la cumbre de Kioto del 11 de diciembre de 1997, se acordó una disminución media de gases de efecto invernadero, para los 39 países más industrializados, de un 5,2 % respecto a las emisiones de 1990 correspondiendo a Europa un 8 %, a USA un 7 % y a Japón un 6 %; reducción que debía conseguirse en el período de compromiso 2008- 2012 (Roldan, 2008).

Este es el único mecanismo internacional para empezar a hacer frente el cambio climático y minimizar sus impactos. Para ello contiene objetivos legalmente obligatorios, con el fin de que los países industrializados reduzcan las emisiones de los seis gases de efecto invernadero de origen humano, dióxido de carbono, metano, óxido nítrico y tres gases industriales fluorados, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, hexafluoruro de azufre. Asimismo, el principal foco de contaminación es la quema de carbón, gas y petróleo para la generación de energía eléctrica. No obstante el interés es mucho mayor, por las razones expuestas, para los países en vías de desarrollo, carentes mucho de ellos de combustibles fósiles y de medios económicos para su importación y todos en general con redes suficientemente densas de transporte de energía.

Los países industrializados de América del Norte, Europa y Japón deben ser conscientes del gran problema que significa los altos niveles de contaminación que se padecen, que poco a poco van degradando el planeta y a que a futuro tendrán graves consecuencias si no se ponen los medios adecuados para reducirlos.

Un punto importante a destacar es que cada kilovatio hora generado con energía solar fotovoltaica, evita la emisión a la atmósfera de aproximadamente 1 kg de CO², en el caso de comparar con generación eléctrica con carbón, o aproximadamente 0,4 kg de CO² en el caso de comparar con generación eléctrica con gas natural. Esto es de gran ayuda para la reducción de emisiones que se propone en el Protocolo de Kioto citado anteriormente.

1.2. Estado y procedencia de la generación eléctrica en Guatemala

La situación actual del sistema eléctrico de potencia en Guatemala, se describe mediante la capacidad instalada en plantas de generación, la infraestructura de transmisión y transformación, la generación de electricidad, la caracterización homogénea de la carga y datos estadísticos de consumo de energía y usuarios servidos.

1.2.1. Historia de la electrificación en Guatemala

La generación de energía eléctrica en Guatemala, se inicia en 1884 al instalarse la primera hidroeléctrica en la finca El Zapote, al norte de la capital. Al año siguiente se forma la Empresa Eléctrica del Sur por empresarios alemanes que instalaron la hidroeléctrica Palín de 732 KW, la cual brindó servicio a los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla.

- Hidroeléctrica Palín II: esta central se localiza en el municipio de Palín, departamento de Escuintla, la cual fue puesta en operación en el 2005 y es una central a filo de agua. Consta de dos (2) unidades tipo Francis de eje horizontal, con una capacidad activa instalada de 2,9 MW por unidad. Su caída neta de diseño es de 81,7 m, con un caudal de diseño de 4 m³/seg por unidad. El cuarto de máquinas se muestra en la figura 1.

Figura 1. **Hidroeléctrica Palín II**



Fuente: *Sistema de energía eléctrica en Guatemala.*

http://www.deguate.com/artman/publish/ecofin_articulos/Sistema-de-energia-electrica-en-Guatemala.shtml#.VNOGjP6G_64. Consulta: 24 de febrero de 2014.

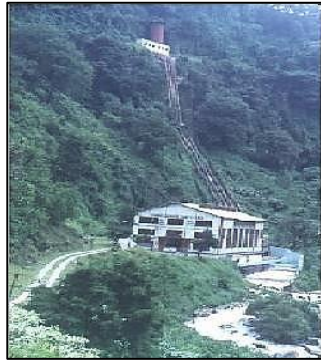
En 1927, se construye la hidroeléctrica Santa María, con el fin de proveer de energía al Ferrocarril de los Altos. Cuando este medio de transporte desapareció, las autoridades de gobierno deciden que la planta se oriente a cubrir la demanda de los departamentos de Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá y Suchitepéquez.

- **Hidroeléctrica Santa María**

Esta central se ubica en el municipio de Zunil, departamento de Quetzaltenango y fue puesta en servicio en 1927. Esta es considerada de regulación diaria, con un embalse de 215 500 m³ como volumen útil, conduciéndose el agua hacia la casa de máquinas a través de una tubería de presión de 0,614 km de longitud.

La casa de máquinas (figura 2) cuenta con tres (3) unidades generadoras de diferente capacidad instalada; la unidad núm. 1 con 2,48 MW, las unidades núms. 2 y 3 con 2,2 MW. El salto o caída que utiliza esta central es de 101 m, con un caudal de turbinamiento de 2,35 m³/seg para la unidad núm. 1 y núm. 2 y 2,42 m³/seg para la unidad núm. 3.

Figura 2. **Hidroeléctrica Santa María**



Fuente: *Sistema-de-energia-electrica-en-Guatemala*.

http://www.deguate.com/artman/publish/ecofin_articulos/Sistema-de-energia-electrica-en-Guatemala.shtml#.VNOGjP6G_64. Consulta: 24 de febrero de 2014.

En 1940, se crea el Departamento de Electrificación Nacional, dependencia del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas y dicha planta se convierte en la Hidroeléctrica del Estado.

A mediados de la década de los cincuenta se inicia la construcción en Zacapa de la Hidroeléctrica Río Hondo. Posteriormente gracias a los esfuerzos de los ingenieros Oswaldo Santizo y José Manuel Dengo el 27 de mayo de 1959 fue creado el Instituto Nacional de Electrificación (INDE); por medio del Decreto 1287. Siendo su primer presidente el ingeniero Martín Prado Vélez.

Durante la década de los años 30 el ingeniero Oswaldo Santizo había construido las hidroeléctricas de Patzún en Chimaltenango y la de Patulul en Suchitepéquez. Dentro de los bienes iniciales del INDE estaban la hidroeléctrica Santa María y la de Río Hondo que se encontraba en construcción. Esta planta fue puesta en operación en 1962 con una capacidad de 2400 KW.

Debido al crecimiento de la demanda de energía eléctrica y para atender los planes de electrificación, en 1965 fue puesta en operación la Central Diésel de San Felipe, Retalhuleu, con una capacidad de 2 440 KW. Seis años más tarde fue instalada una turbina de gas en la finca Mauricio, en Escuintla, con una capacidad de 12 500 KW. En ese mismo período el INDE amplió la capacidad de la planta Santa María a 6 880 KW.

A principios de la década de los setenta se instaló la Hidroeléctrica Jurún Marinalá.

- Hidroeléctrica Jurún Marinalá
 - Esta central se encuentra ubicada en la aldea Agua Blanca, interior de la finca El Salto, departamento de Escuintla, clasificada como una central de regulación diaria. Cuenta con tres (3) unidades generadoras tipo Pelton de eje horizontal (figura 3), con una capacidad de 20 MW por unidad.

El embalse de regulación posee un volumen total de 112 000 m³ de agua, misma que se trasladada a través de un túnel de presión de 4,03 km y una tubería de presión de 2,44 km a la casa de máquinas, utilizando 660 m como caída bruta de diseño para lograr la capacidad de generación con un caudal de 4 m³/seg por unidad.

Figura 3. **Hidroeléctrica Jurún Marinalá**



Fuente: *Sistema de energía eléctrica en Guatemala.*

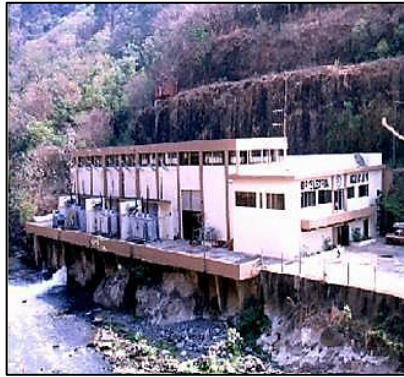
http://www.deguate.com/artman/publish/ecofin_articulos/Sistema-de-energia-electrica-en-Guatemala.shtml#.VNOGjP6G_64. Consulta: 24 de febrero de 2014.

En 1982, inició operaciones la Hidroeléctrica Aguacapa.

- **Hidroeléctrica Aguacapa**

Esta central se encuentra ubicada en el departamento de Escuintla, clasificada como una central de regulación diaria. Cuenta con tres (3) unidades generadoras tipo Pelton de eje horizontal, con una capacidad de 30 MW cada una. Posee un embalse con capacidad de 300 000 m³, de agua, la cual es transportada a través de un túnel de presión de 12,04 km y de una tubería reforzada de 3,65 km, hasta llegar a la casa de máquinas (figura 4).

Figura 4. **Hidroeléctrica Aguacapa**



Fuente: *Sistema de energía eléctrica en Guatemala.*

http://www.deguate.com/artman/publish/ecofin_articulos/Sistema-de-energia-electrica-en-Guatemala.shtml#.VNOGjP6G_64. Consulta: 24 de febrero de 2014.

Cuenta con una chimenea de equilibrio para disipar presiones excesivas por golpe de ariete en la tubería de presión. La caída neta de diseño de la central es de 490,6 metros y su caudal de diseño de 7,33 m³/seg por unidad.

En 1983, la Hidroeléctrica Chixoy, la más grande del país.

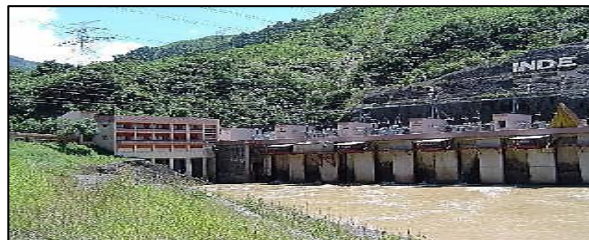
- **Hidroeléctrica Chixoy**

Esta central se encuentra ubicada en la aldea Quixal, municipio San Cristóbal, departamento de Alta Verapaz. Cuenta con cinco (5) unidades generadoras, con una capacidad máxima de 55 MW cada una. Posee un embalse de regulación anual, con una capacidad de 460 millones de m³ de agua que a través de un tramo de túnel de aducción de 26 km lleva el agua para su turbinamiento a la casa de máquinas. Esta central utiliza una caída neta de diseño de 433 metros y un caudal de diseño por unidad de 15 m³/seg.

En 1992, inician sus operaciones varias generadoras privadas, entre ellas: los ingenios azucareros, Enron en Puerto Quetzal y posteriormente las plantas Sidegua, Lagotex, Secacao, Río Bobos, Tampa, Guatemala Generating Group (GGG), Las Palmas, Generadora del Norte (Genor), Calderas, Zunil, Poliwatt, Pasabién, Poza Verde, Tululá, Cerro Vivo, Las Vacas y Matanzas.

Capacidad instalada a nivel nacional en la actualidad es de 1 705,6 MW, entre generadores privados e INDE.

Figura 5. **Hidroeléctrica Chixoy**



Fuente: *Sistema de energía eléctrica en Guatemala.*

http://www.deguate.com/artman/publish/ecofin_articulos/Sistema-de-energia-electrica-en-Guatemala.shtml#.VNOGjP6G_64. Consulta: 24 de febrero de 2014.

La electricidad se genera de varias formas; algunas de ellas tienen un menor impacto sobre el ambiente que otras. En el caso de la electricidad producida con la fuerza del agua, el sol o el viento (energías renovables) el impacto ambiental es menor que cuando se utiliza diésel o gasolina.

El uso de esos combustibles produce los llamados gases de efecto invernadero; los cuales contaminan la atmósfera. Por esta razón, es importante utilizar la energía lo mejor posible, ya que el ahorro de dinero, se ayuda a la economía en el hogar y se vive en un ambiente más limpio.

1.2.1.1. Guatemala con potencial para generar electricidad limpia

La riqueza hídrica y solar de Guatemala presenta un gran potencial en la generación de energía renovable: tan solo las hidroeléctricas en el país producen 990 megavatios (MV), los cuales representan el 35 por ciento de la capacidad en el ámbito nacional, que alcanza los 2 mil 795 MV, que dan luz eléctrica al 85 por ciento de los pobladores. Según datos de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), cerca de 2 millones de guatemaltecos no tienen acceso a la energía eléctrica y la generación renovable es una opción de bajo costo para distribuirla entre estas personas.

El aprovechamiento del agua para generar energía es considerado una de las formas más limpias de producción, pero su instalación debe ser realizada bajo estudios de impacto ambiental, para evitar que las comunidades cercanas a los cauces de los ríos sean afectadas. Óscar Avello, representante del Banco Mundial (BM) en Guatemala, indicó que el país tiene el potencial de generar más de 5 mil MV con su capacidad instalada, que sería el doble de la electricidad que el país produce con petróleo, gas natural, las hidroeléctricas y geotermia. “Esta generación se puede desarrollar en su totalidad con la adecuada planificación, mitigación, manejo y compensación necesaria. El Banco Mundial invertirá en su desarrollo”, manifestó Valle.

Mario Díaz, coordinador del Corredor Biológico Mesoamericano, dijo que la energía limpia requiere de una fuerte y constante inversión social. “La administración de las cuencas entre los gobernantes y las poblaciones ayudará al desarrollo de todo el potencial hídrico en Guatemala, pero también se necesita que las municipalidades inviertan más en temas verdes y no en obra gris”, manifestó Díaz.

En Guatemala hay 19 centrales hidroeléctricas y 6 más se encuentran en construcción. Las principales son: la central Chixoy, en San Cristóbal Verapaz, en el departamento norteño de Alta Verapaz, con 300 MV. A esta le siguen la Central Hidro Xacbal, en Chajul, Quiché (noroeste), con 94 MV, que se alimenta del río Xacbal, y la Central Aguacapaca, en Guanazapa, que está en Escuintla (sur) y que genera 90 MV con el caudal del río María Linda, según datos del Instituto Nacional de Electrificación (Inde).

1.2.1.2. Inversión en energía solar

El ingeniero Benedicto López, del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap), comentó que esa institución fomenta la adquisición de tecnología para producir energía solar. Durante tres años consecutivos ha desarrollado una feria con el objetivo de dar a conocer a profesionales, empresarios y estudiantes la versatilidad disponible en Guatemala para generar energía limpia y de bajo costo, señaló. Por su parte, Claus Schieber, de la compañía Enersol y representante de los proveedores de energía solar, comentó a la Agencia Guatemalteca de Noticias (AGN), que la población puede adquirir un equipo de paneles solares para calentar agua y producir electricidad por su bajo costo. “Una familia de 4 miembros puede generar el 85 por ciento de su energía a través de paneles solares que tienen una garantía de 40 años de generación gratuita y amigable con al ambiente”, destacó.

El representante de la compañía Quetsol, Dennie Cifuentes, consideró que los paneles solares son una buena opción para la población rural que utiliza poca electricidad. Según Cifuentes, un equipo de celdas solares con un costo de Q 2 100 puede generar la suficiente energía para 3 focos, la carga de 2 celulares y el uso de un televisor de 14 pulgadas. Los equipos tienen un tiempo de vida de entre 35 y 40 años.

Guatemala se ha convertido en el país pionero en generación de energía solar en Centroamérica. La firma española Grupo Ortiz, con una inversión de \$140 millones, construirá una planta que generará 50 MV. Esto se logró gracias al acercamiento entre la Cámara de Empresarios Españoles en Madrid y el presidente de la república. Grupo Ortiz prevé iniciar la construcción del Parque Solar más grande de Centroamérica antes de junio y Zacapa sería el departamento donde se instalarían los paneles solares. La empresa indicó que este parque beneficiaría a unas 15 mil familias y la planta se inauguraría en agosto del 2014.

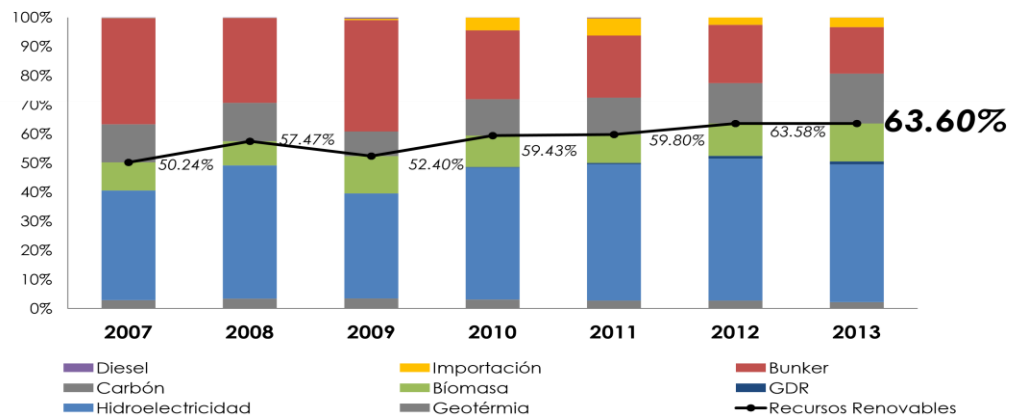
1.2.1.3. Incentivos para energía limpia

Gustavo Suárez, director del programa del Ministerio de Ambiente “Producción más Limpia”, comentó que la política del Gobierno contempla la creación de incentivos económicos y de financiamiento a instituciones gubernamentales y privadas para generar energía limpia. “La política nacional también establece la concientización para generar ahorros en materia prima, insumos y energía, así como instrumentaliza los incentivos fiscales y económicos. La inversión en energía solar puede patrocinarse por medio de esta política”.

Como consecuencia de lo anterior, las inversiones en el campo de la generación con energías renovables han tenido auge, notándose el incremento de empresas que ofrecen generar energía solar a nivel domiciliario, comercial e industrial, así como también empresas que ya están generando e interconectándose al sistema nacional.

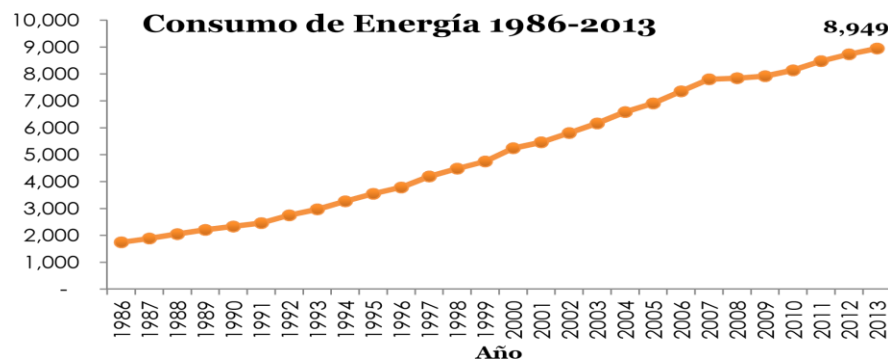
En la figura 6 se ve el comportamiento de la matriz energética en función al tipo de combustible o forma de generación eléctrica y en la figura 7 se muestra la tendencia del consumo en un período de 27 años.

Figura 6. Evolución matriz energética 2007-2013



Fuente: Cámara de Industria y Comercio Alemana Guatemala, Presentado por Lic. Carmen Urizar, Presidente CNEE, 2013.

Figura 7. Consumo de energía 2013



Fuente: Cámara de Industria y Comercio Alemana Guatemala, Presentado por Lic. Carmen Urizar, Presidente CNEE, 2013.

1.2.1.4. Potencia adjudicada en proceso de licitación a largo plazo

En esta gráfica ya se puede observar la incidencia porcentual e influencia de la generación solar, a febrero 2015 se tiene un incremento significativo en este rubro de mas de 150 MW generado.

1.2.2. El sector la energía en Centroamérica. Aspectos generales (2013)

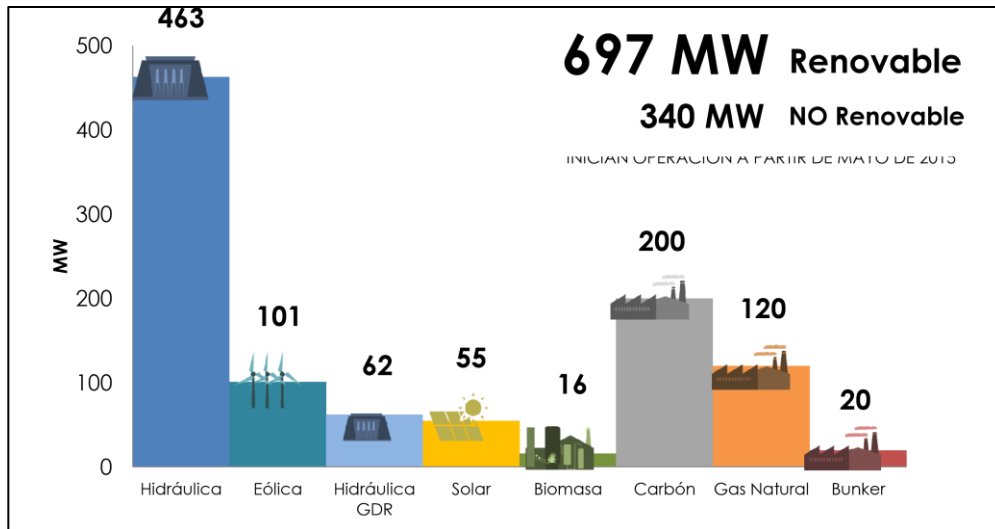
Victor Hugo Ventura, representante de la Cepal indicó que los seis países centroamericanos tienen 498 mil km², una población de 44 4 millones de habitantes. Los países con la población más alta y la más baja son: Guatemala (15,5 millones) y Panamá (3,6 millones). La densidad de población de la subregión es de alrededor de 89 habitantes por kilometro cuadrado (300 en El Salvador y 48 en Panamá).

Panamá y Costa Rica tienen un mayor desarrollo e ingreso promedio per cápita.

El Salvador y Guatemala se encuentran en una posición intermedia, superior a la de Honduras y Nicaragua.

Dos características importares de la región: a) Dependencia petrolera y a los combustibles fósiles importados, y b) Alta utilización de las fuentes de energía tradicionales (madera y residuos de biomasa), principalmente en tres países (Guatemala, Honduras y Nicaragua).

Figura 8. **El sector la energía en Centroamérica. Aspectos generales (2013)**



Fuente: Cámara de Industria y Comercio Alemana Guatemalteca, Presentado por Lic. Carmen Urizar, Presidente CNEE, 2013.

Con la excepción de Costa Rica, hay tareas pendientes en la electrificación y energización rural.

1.2.2.1. El sector la energía

En especial a partir de 2003 los esfuerzos de los países se han dedicado a consolidar y adaptar las reformas energéticas para permitir mayor participación de las fuentes renovables de energía (FRE), reducir la dependencia petrolera*, moderar impactos en los precios de los energéticos (la electricidad, el gas licuado del petróleo y las tarifas de transporte público), racionalizar y focalizar subsidios e incrementar la cobertura de los servicios modernos de energía, en especial la electricidad en las zonas rurales.

A nivel regional lo más importante ha sido la integración de los mercados de electricidad a partir de la nueva infraestructura del Sistema de la Integración Eléctrica Centroamericana (SIEPAC). *nota. La factura petrolera centroamericana ha pasado de 3 200 millones de dólares en el 2003 a 11 240 en 2008 y 14 400 en 2013, es decir en los últimos 10 años se ha más que cuadruplicado.

Tabla III. Notable avance de las FRE (fuentes renovables de energía)

PAIS	Capacidad Instalada (MW)	Demanda Máxima (MW)	Electrificación (2012) (%)	Pérdidas del Sistema (2012) (%)
ISTMO	12 452,80	7 379,00		16,5
Guatemala	2 790,10	1 533,00	85,00	14,2
El Salvador	1 503,50	975,00	93,6	12,6
Honduras	1 798,60	1 282,00	85,7	29,9
Nicaragua	1 266,80	609,9	74,7	23,1
Costa Rica	2 723,2	1 593,1	99,2	11,6
Panamá	2 370,70	1 386,0	89,7	12,4

*notas. Crecimiento de la demanda de electricidad: 4,3 % anual. En 2013, por países, las FRE registraron la siguiente participación: Costa Rica (88 %); Guatemala (69 %); Panamá (64 %); El Salvador (60 %); Nicaragua (58 %) y Honduras (50 %).

Fuente: elaboración propia.

- En 2003, cuando se iniciaba la crisis de los precios del petróleo, el 58 % de la electricidad fue producida por fuentes renovables, cifra que se incrementó a 64 % en 2013*.
- En ese período (2003-2013) se incorporaron un total de 3,092 MW renovables, en su mayor parte hidroeléctricos (60 %), pero muy importantes también las adiciones de cogeneración en la industria del azúcar (22 %) y las centrales eólicas (11 %) y geotérmicas (7 %);

- Dos terceras partes de la nueva capacidad adicionada en el período en referencia fue renovable (es decir solo una tercera parte correspondió a centrales termoeléctricas convencionales), y
- Lo anterior representa inversiones promedio anuales de alrededor de 550 millones de dólares, tendencia que se incrementará en los siguientes años.

1.2.2.2. Algunas noticias relevantes recientes

Victor Hugo Ventura, de Cepal, indica que las subastas de contratos de energías limpias están aumentando y se estima un mayor despliegue de estas energías en el futuro. El incremento de las inversiones en energía eólica y solar.

Panamá: anunciaron inversiones por \$ 427 millones de dólares para el Parque Eólico de Penonomé (215 MW). Licencias definitivas para proyectos eólicos por 860 MW y muchas más en trámite. Se encuentra en proceso la licitación para la construcción de la hidroeléctrica Chan II (213 MW y una inversión estimada en 1.000 millones de dólares).

En Guatemala se inició en enero de 2014 la construcción de un proyecto de energía solar por 50 MW (Chiquimulilla) y en mayo de ese mismo año iniciaron comerciales de otro proyecto solar de 5 MW (Zacapa). Otros proyectos en construcción y licencia: hidros Renace II (112 MW), Río Quisil (134 MW), eólica San Antonio (50 MW).

Costa Rica: tercera mayor hidroeléctrica (Pirris, 134 MW, en 2011) y continúa la construcción de Central hidroeléctrica Reventazón (306 MW y una inversión de alrededor de 1,500 millones de dólares, 2016). Estatal ICE ha impulsado licitaciones para proyectos eólicos e hídricos.

1.2.2.3. Ventajas y desventajas de la generación solar

A continuación se describen detalladamente las ventajas y desventajas de la generación solar en Guatemala.

1.2.2.3.1. Ventajas

El ingeniero Héctor Domínguez González, en su tesis: *Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Cobaev 35 Xalapa*, dice que la energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedoras de las energías renovables en el mundo. Comparada con las fuentes no renovables, las ventajas son claras: es no contaminante, no tiene partes móviles que analizar y no requiere mucho mantenimiento. No requiere de una extensa instalación para operar. Los generadores de energía pueden ser instalados de una forma distribuida en la cual los edificios ya construidos, pueden generar su propia energía de forma segura y silenciosa.

No consume combustibles fósiles, no genera residuos, no produce ruidos es totalmente silenciosa. Es una fuente inagotable. Ofrece una elevada fiabilidad y disponibilidad operativa excelente. Además de las ventajas ambientales también se deben tener en cuenta las socioeconómicas, una instalación tiene una vida larga (los paneles solares duran aproximadamente 30 años).

Además resisten condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad. No existe una dependencia de los países productores de combustibles. Puede instalarse en zonas rurales desarrollo de tecnologías propias. Se puede utilizar en lugares de bajo consumo y en casas ubicadas en

parajes rurales donde no llega la red eléctrica general. Puede venderse el excedente de electricidad a una compañía eléctrica. Puede aumentarse la potencia mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos.

No es económicamente competitiva con otras energías actuales. Producción variable según climatología del lugar y época del año. Otro inconveniente es el rendimiento obtenido y el espacio de terreno ocupado por los elementos captadores: el rendimiento final se estima en solo un 13 % (Jiménez, 2002).

Tabla IV. **Ventajas y desventajas de la energía solar**

		Energía Solar
Ventajas	•	Fuente inagotable de energía. Escaso impacto ambiental. No produce residuos perjudiciales para el medio ambiente. Distribuida por todo el mundo. No tiene más costos una vez instalados. No hay dependencia de las compañías suministradoras.
	•	Silenciosa
	•	Tiene una vida útil superior a 25 años.
	•	Resistente a condiciones climáticas extremas: granizo, viento, entre otros.
	•	No requiere mantenimiento complejo, solo limpieza del módulo solar.
	•	Se puede aumentar la capacidad instalada y la autonomía de la instalación.
	•	No consume combustible.
Desventajas	• •	Se precisan sistemas de acumulación (baterías) que contienen agentes químicos peligrosos. Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en caso de grandes instalaciones.
	.	Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los modelos solares en el entorno.

Fuente: JIMÉNEZ, C. B. E. *La contaminación ambiental en México*. p. 198.

En la tabla 2 se resume la investigación de la energía solar que se lleva a cabo en los diferentes países del mundo. El futuro de la energía solar depende de estas investigaciones; por mencionar solo un ejemplo del avance logrado, en los últimos seis años el costo de las celdas solares ha disminuido en un factor de diez.

1.2.2.4. Reflexiones finales

Las fuentes renovables de energía, entre ellas: las hidroeléctricas, las eólicas y las solares, son las mejores opciones energéticas para reducir los impactos de los choques petroleros. Además, permiten mitigar los efectos del cambio climático y mejorar la seguridad en el abastecimiento energético.

Los países centroamericanos poseen un inmenso potencial en energías renovables, actualmente explotan solo una pequeña fracción.

Las condiciones actuales pueden ser muy favorables para que la región continúe avanzando en el desarrollo de las fuentes renovables.

La tecnología solar fotovoltaica y la generación distribuida sin duda tendrán gran crecimiento y podrían modificar los patrones de la demanda de energía de los sistemas interconectados.

Deuda social: a) más de 5,5 millones de personas (alrededor de un millón de viviendas) sin acceso a electricidad, y b) la biomasa sostenible y otras opciones para la cocción de alimentos, especialmente en las zonas rurales.

La energía geotérmica y los biocombustibles sin duda con gran potencial.

2. BASES PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA

Se denomina energía solar fotovoltaica a la obtención o generación de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos están formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos. A mayor escala, la corriente eléctrica continua que proporcionan los paneles fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red eléctrica.

2.1. Proceso de conversión de luz solar en energía eléctrica

Es un proceso por el cual la energía solar se transforma directamente en electricidad. El dispositivo o elemento que media en el proceso es la célula solar o célula fotovoltaica. Los sistemas fotovoltaicos permiten la transformación de la luz solar en energía eléctrica, es decir, la conversión de una partícula con energía lumínica (fotón) en energía electromotriz (voltaica). Cuando la energía lumínica incide en la célula fotoeléctrica, existe un desprendimiento de electrones de los átomos que comienzan a circular libremente en el material. Si se mide el voltaje existente entre los dos extremos del material, se observa que existe una diferencia de potencial entre 0,5 y 0,6 voltios.

2.1.1. El Sol como fuente energética

El Sol es la estrella más próxima a la Tierra. Tiene un radio de unos 700 000 km y una masa de $2,10^{30}$ kg, unas 330 000 veces la de la Tierra, alrededor giran los planetas del sistema solar, aunque él concentra el 99 % de la masa del mismo. Su densidad es $1,41 \times 10^3$ kg/m³. La temperatura de su superficie ronda los 6 000 °C, aunque es un poco menor en las manchas solares (alrededor de los 4 800 °C). Las manchas solares tienen una gran influencia en el clima. Cerca del centro la temperatura es de más de 15 000 000 °C y la densidad es unas 120 veces mayor que en la superficie. En esta zona se alcanzan presiones de 250 000 millones de atmósferas. Los gases del núcleo están comprimidos hasta una densidad 150 veces la del agua.

Se calcula que en la parte interna del Sol se fusionan 700 millones de toneladas de hidrógeno cada segundo, y la pérdida de masa, que se transforma en energía solar, se cifra en 4,3 millones de toneladas por segundo. La estabilidad del Sol como estrella se consigue por el equilibrio entre las fuerzas interiores que tienden a expandirla y las fuerzas de gravitación que tienden a comprimirla. A este ritmo de transformación, el Sol necesitará más de 6 000 millones de años para consumir el 10 % del hidrógeno que posee. Cuando, en un futuro, esto se produzca (significaría que el hidrógeno del Sol empezaría a escasear), las fuerzas de gravitación serán más importantes que las fuerzas interiores, por lo que él solo se colapsará y empezará a morir.

El Sol se encuentra a 149 5 millones de kilómetros y su luz tarda 8 3 minutos en llegar a la superficie terrestre, a una velocidad de 300 000 km/s. La radiación solar llega a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas, que se desplazan por el espacio en todas direcciones, ya que estas no necesitan un medio físico para su propagación. Este efecto se denomina radiación y hace referencia a un fenómeno físico vibratorio que se representa en forma de ondas.

La energía contenida en los rayos del Sol se calcula a partir de la fórmula de Planck,

$$E = hf$$

Donde:

E = energía de los fotones.

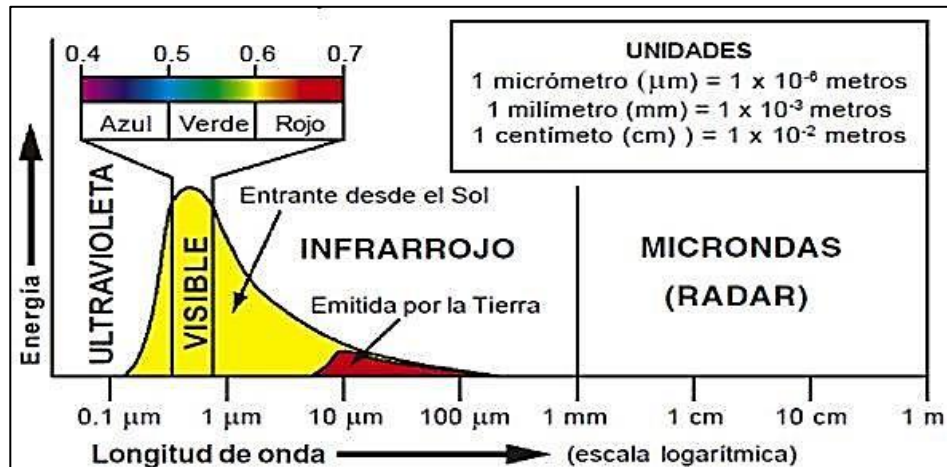
h = constante de Planck, que equivale a $6,625 \times 10^{-34}$ Js.

f = frecuencia a las que oscilan los fotones o la frecuencia de las ondas de luz.

De esta fórmula se desprende que hay fotones que poseen gran cantidad de energía (como los rayos gamma) y otros que son menos energéticos (los rayos infrarrojos). Esto se traduce en que hay fotones que ni siquiera pueden atravesar la atmósfera terrestre, mientras otros cruzan los tejidos blandos de cuerpo humano y chocan únicamente con los huesos (rayos X).

La energía que llega a la parte alta de la atmósfera es una mezcla de radiaciones de longitud de onda, formada por radiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja. Estas constituyen el espectro solar terrestre, que se ve en la siguiente imagen (figura 9):

Figura 9. **Proceso de conversión de luz solar en energía eléctrica**



Fuente: *Percepción remota*. <http://www.monografias.com/trabajos82/manejo-envi/manejo-envi.shtml>. Consulta: 28 de mayo de 2014.

La longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) de las ondas electromagnéticas se relacionan mediante la expresión:

$$\lambda = c/f$$

Son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a la velocidad de la luz, c .

Se tiene por tanto, que el Sol emite constantemente cantidades enormes de energía, en forma de ondas. Un cálculo teórico basado en la Ley de Planck (que permite calcular la intensidad de la radiación emitida por un "cuerpo negro" para una determinada temperatura y longitud de onda), permite afirmar que el flujo total de energía emitido por el Sol en todo el rango de frecuencias equivale

a $3,8 \times 10^{23}$ (o sea, 380 000 millones de millones) de kW. De esa energía emitida por el Sol, solo una pequeña parte llega a la Tierra, aunque esa pequeña cantidad sería más que suficiente para cubrir la demanda mundial por todo un año. De la energía que llega, la atmósfera, afortunadamente absorbe una gran parte. (nota. un cuerpo negro es un objeto ideal, que no existe en la naturaleza, que absorbe toda la energía que incide en el y no refleja ninguna).

La radiación solar alcanza los niveles más altos antes y después del mediodía. Las nubes, la lluvia y la contaminación atmosférica como partículas y ozono absorben el UV y disminuyen su intensidad a nivel del suelo.

Tabla V. **Longitud de onda y energía de los rayos ultravioleta**

Nombre	Abreviación	Longitud de onda (nm)	Energía por fotón (eV)
Ultravioleta cercano	NUV	400-200	3,10-6,30
Onda larga	UVA	400-320	3,10-3,87
Onda media	UVB	320-280	3,87-4,43
Onda corta	UVC	280-200	4,43-6,30
Ultravioleta lejano	FUV, VUV	200-10	6,30-124
Ultravioleta extremo	EUV, XUV	91,2-1	13,6-1240

Fuente: ESCUDERO L., J.M. *Manual de energía eólica*. p. 146.

2.1.2. **Constante solar**

Para medir la cantidad de energía solar que llega a la frontera exterior que delimita la atmósfera se establece la "constante solar". Es la misma cantidad de energía que recibiría la superficie de la Tierra si no tuviera atmósfera.

La constante solar sirve para establecer el valor correspondiente a la energía que incide perpendicularmente en 1 m^2 de la parte exterior de la atmósfera. Se llama constante solar a la radiación solar (flujo o densidad de

potencia de la radiación solar) recogida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares. Su valor es de $1\,353\text{ W/m}^2$, y varía $\pm 3\%$ durante el año por ser la órbita terrestre elíptica.

La radiación solar incide sobre la superficie de la Tierra después de atravesar la atmósfera en la que se debilita por efecto de reflexión, difusión y absorción de la materia atmosférica. La atmósfera absorbe parte de la radiación solar. En unas condiciones óptimas con un día perfectamente claro y con los rayos del Sol cayendo casi perpendiculares, las tres cuartas partes de la energía que llega del exterior, como mucho, alcanzan la superficie. El resto se refleja en la atmósfera y se dirige al espacio exterior. Las nubes son en gran parte las responsables de ello. Casi toda la radiación ultravioleta y gran parte de la infrarroja son absorbidas por el ozono y otros gases en la parte alta de la atmósfera. El vapor de agua y otros componentes atmosféricos absorben en mayor o menor medida la luz visible e infrarroja.

A partir de los fenómenos de reflexión, difusión y absorción, se puede deducir que la radiación que incide en la atmósfera no coincide con la disponible al nivel del mar, con lo que la constante solar anterior ya no es válida en la superficie de la Tierra. Aquí, en condiciones atmosférica óptimas: día soleado de verano, cielo totalmente despejado, en una superficie de 1 m^2 perpendicular al Sol, la luz solar plena registra un valor de $1\,000\text{ W/m}^2$.

Sin embargo, pueden darse otras situaciones en las que la radiación solar tenga valores distintos: varía según el momento del día, también varía considerablemente de un lugar a otro, especialmente en zonas montañosas y a diferencia con respecto a la posición relativa del Sol en el cielo (elevación solar), la cual depende de la latitud de cada lugar. Hay que tener esto en cuenta cuando la instalación solar prevé hacerse a gran altitud, por ejemplo en refugios

montañosos o repetidores de comunicación, ya que a mayor altitud menor es el espesor de la atmósfera que debe atravesar la radiación y, por tanto, aumenta la energía disponible.

Las siguientes tablas muestran como varía la intensidad de la radiación en función a la altitud sobre el nivel del mar, y cómo influyen las condiciones climatológicas.

Tabla VI. **Variación de la radiación incidente con la altitud**

Altitud sobre el nivel del mar (m)	0	900	1 500	2 250	3 000
Intensidad de la radiación (W/m^2)	950	1 050	1 100	1 150	1 190

Fuente: SÁNCHEZ, Miguel Angel. *Energía solar fotovoltaica*. p. 126.

Tabla VII. **Influencia de las condiciones climatológicas en la radiación incidente**

Condiciones Climatológicas	Radiación global (W/m^2)	Porcentaje de difusa (%)
Cielo despejado	750-1 000	10-20
Cielo parcialmente nuboso	200-500	20-90

Fuente: SÁNCHEZ, Miguel Angel. *Energía solar fotovoltaica*. p. 126.

2.1.3. Componentes de la radiación solar

Como ya se ha dicho el Sol es una poderosa fuente de energía solar. Esa energía solar que llega a la Tierra puede ser transformada en energía eléctrica en un proceso denominado efecto fotovoltaico (FV), en células o celdas solares que se montan en paneles, como se verá a continuación.

Según como llegue la luz solar a la superficie de la Tierra, se puede clasificar la radiación en tres tipos diferentes: directa, dispersa o difusa y albedo.

La radiación solar directa es la que incide sobre cualquier superficie con un ángulo único y preciso. La radiación solar viaja en línea recta, pero los gases y partículas en la atmósfera pueden desviar esta energía, lo que se llama dispersión. Esto explica que un área con sombra o pieza sin luz solar esté iluminada: le llega luz difusa o radiación difusa.

Los gases de la atmósfera dispersan más efectivamente las longitudes de onda más cortas (violeta y azul) que las longitudes de onda más largas (naranja y rojo). Esto explica el color azul del cielo y los colores rojo y naranja del amanecer y atardecer. Cuando amanece o anochece, la radiación solar recorre un mayor espesor de atmósfera y la luz azul y violeta es dispersada hacia el espacio exterior, pasando mayor cantidad de luz roja y naranja hacia la Tierra, lo que da el color del cielo a esas horas.

Se llama albedo a la fracción de la radiación reflejada por la superficie de la tierra o cualquier otra superficie. El albedo es variable de un lugar a otro y de un instante a otro, por ejemplo, para un cuerpo negro su valor es igual a cero, pero para la nieve es de 0,90; para un suelo mojado es de 0,18; entre otros.

Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen:

- De las condiciones meteorológicas: en un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad, mientras en un día despejado

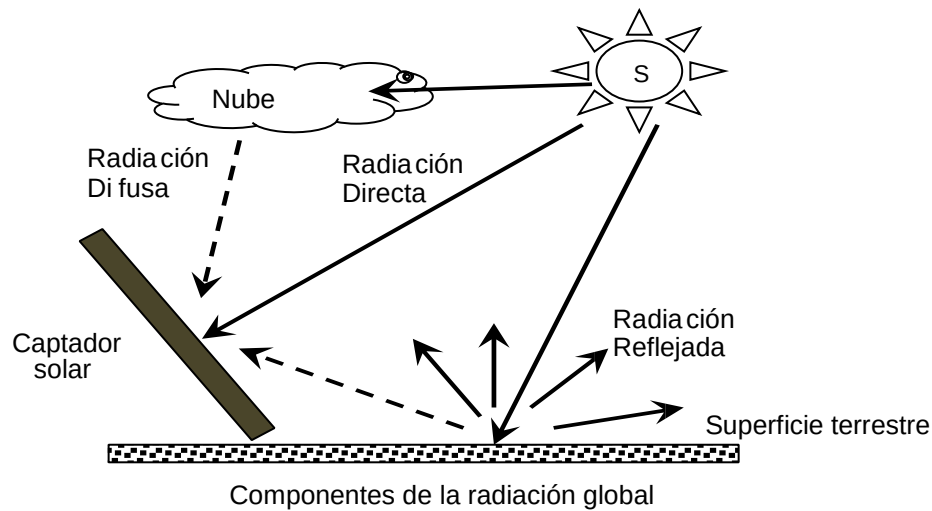
con clima seco predomina, en cambio, la componente directa, que puede llegar hasta el 90 % de la radiación solar.

- De la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal: una superficie horizontal recibe la máxima radiación dispersa (si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie) y la mínima reflejada. Al aumentar la inclinación de la superficie de captación disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada.
- De la presencia de superficies reflectantes (debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación reflejada aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno.

Para concretar, decir que la radiación solar total que incide sobre una superficie inclinada, corresponde a la suma de las tres componentes de la radiación (ver figura 10).

$$I_{TOTAL} = I_{DIRECTA} + I_{DIFUSA} + I_{ALBEDO}$$

Figura 10. **Componentes de la radiación solar**



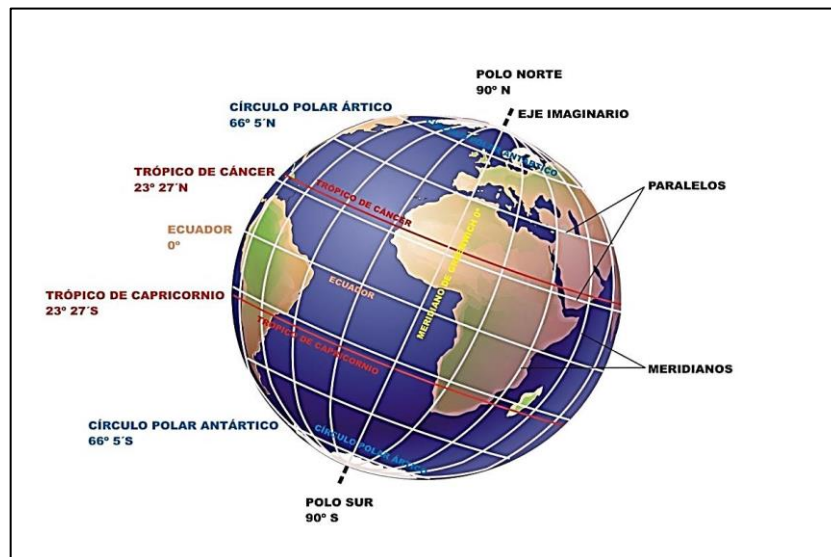
Fuente: DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, Héctor. *Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Cobaev 35*. Xalapa, Mex. p. 88.

2.1.3.1. **Factor AM (masa de aire)**

La intensidad y frecuencia del espectro luminoso generado por el Sol sufre alteraciones cuando la luz atraviesa la atmósfera. Eso se debe a la absorción, reflexión y dispersión que toma lugar dentro de esta. Estas modificaciones son dependientes de la espesura de la capa atmosférica. La posición relativa del Sol respecto a la horizontal del lugar determina el valor de la masa de aire. Cuando los rayos solares caen formando un ángulo de 90° respecto a la horizontal se dice que el Sol ha alcanzado su cenit. Para esta posición la radiación directa del Sol atraviesa una distancia mínima a través de la atmósfera. Cuando el Sol está más cercano al horizonte, esta distancia se incrementa, es decir la masa de aire es mayor. Suponiendo que se quiere medir la superficie sobre un plano inclinado con respecto a la superficie de la Tierra, sobre ese plano incide radiación directa y difusa, en proporciones muy variables según el factor AM, lo

despejado o nubosos del momento, pero además de esta, hay una parte de la radiación solar que se ha reflejado por el suelo y que también incide sobre el plano. A esta porción se le denomina albedo.

Figura 11. Trayectorias solares



Fuente: *Control de la Unidad*.

http://calderondelabarcaquintob.blogspot.com/2014_09_01_archive.html. Consulta: 12 de abril de 2014.

La Tierra se divide en paralelos de latitud como se observa en la figura 2. En el hemisferio norte se considerará la latitud positiva y varía entre $0^\pm$ y $90^\pm$, en el hemisferio sur se considera negativa y varía entre $0^\pm$ y $-90^\pm$. El paralelo de $0^\pm$ se le llama ecuador terrestre. El símbolo que se utilizaría para la latitud sería Á. La Tierra también se divide en meridianos de longitud como se observa en la figura. Se usa como meridiano $0^\pm$ el que pasa por Greenwich, Inglaterra. Hacia el este y el oeste los meridianos aumentan de $0^\pm$ a $180^\pm$.

El plano fundamental es el horizontal, tangente a la superficie terrestre. La perpendicular a este plano en dirección a la semiesfera celeste superior define la posición del zenit del lugar o zenit local. En la dirección opuesta, a través de la Tierra, se sitúa el nadir. Las direcciones principales sobre el plano horizontal son la norte-sur, intersección con el plano meridiano del lugar, y la perpendicular a ella este-oeste, intersección con el plano denominado primer vertical (Jutglar, 2011).

2.1.3.1.1. Definiciones para observador terrestre

- Zenit: es la línea perpendicular al plano horizontal en el punto del observador.
- Masa de aire (AM): Es la razón entre el grosor óptico de la atmósfera que debe atravesar el haz de luz en un momento dado con respecto al grosor óptico si el Sol estuviera en el zenit. Por lo anterior, $m = 1$ cuando el Sol está en el zenit. Para un ángulo zenit θ dado y una altura local (m.s.n.m) de h , se cumple que

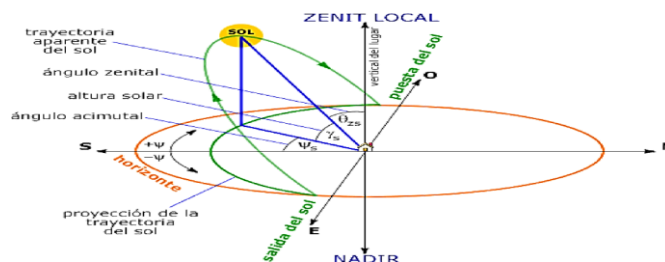
$$m(\theta, h) = \left(\frac{1}{\cos \theta} + 0.15(3.885 + \theta)^{-1.253} \right) e^{-0.0001184h}$$

- Inclinación (β): ángulo entre plano fotovoltaico y la horizontal. $0 \leq \beta \leq 180^\circ$
- Latitud del lugar (ϕ): es la complementaria del ángulo formado por la recta que une el zenit y el nadir (intersección entre la vertical del observador y la esfera celeste) con el eje polar. Es positivo hacia el norte

y negativo hacia el sur, es decir la posición angular con respecto al Ecuador. $-90 \leq \lambda \leq 90$

- Meridiano del lugar: círculo máximo de la esfera terrestre que pasa por el lugar, por el zenit y por el nadir.
- Ángulo zenital (θ_{zs}): es el ángulo formado por el radio vector punto-Tierra y la vertical del lugar. Es positivo a partir del zenit.
- Altura solar (γ_s): ángulo que forman los rayos solares sobre la superficie horizontal. Ángulo complementario de la distancia zenital. ver figura 3.
- Ángulo azimutal (Ψ_s): ángulo formado por la proyección del Sol sobre el plano del horizonte con la dirección sur. Positivo 0° a 180° hacia el oeste y negativo hacia el este 0° a -180° .
- Declinación: la posición angular del sol a mediodía con respecto al plano del Ecuador.

Figura 12. Trayectoria solar durante el día



Fuente: DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, Héctor. *Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Cobaev 35, Xalapa, Mex.* p. 156.

La declinación δ puede ser descrita por la ecuación, dado en grados

$$\boxed{\text{Sen } \delta = 0.3979 * \text{Sen} \left(\text{Num. de dias} * \frac{360}{365} \right)}$$

Contados el número de días a partir del 21 de marzo que corresponde al equinoccio de primavera. Por ejemplo, tomando como origen 21 de marzo, el 15 de enero habrán transcurrido 300 días y aplicando la fórmula se obtiene:

$$\text{Sen } \delta = 0.3979 * \text{Sen} \left(300 * \frac{360}{365} \right) = -0.3579$$

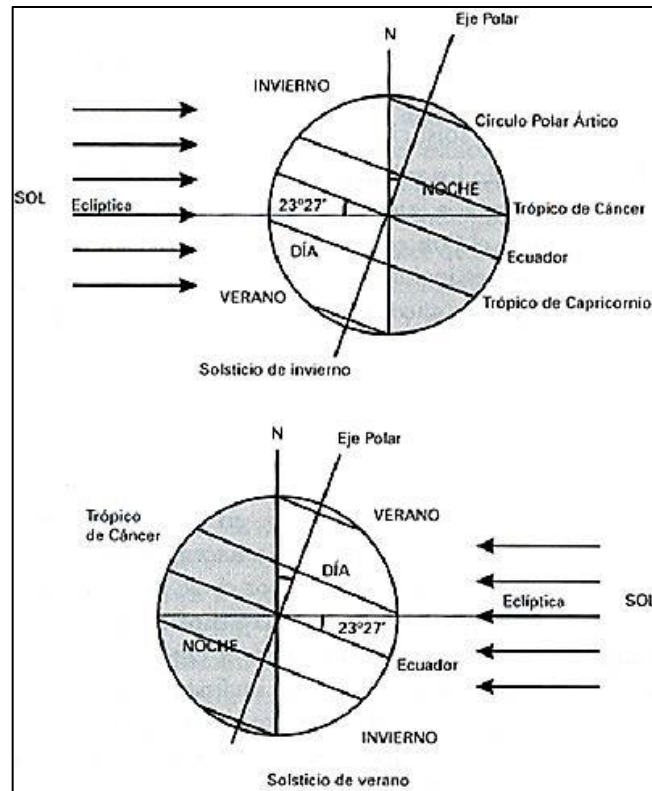
$$\delta = -20.97^\circ$$

Caso contrario se puede aplicar la fórmula y se contabiliza a partir del 1 de enero:

$$\delta = 23.45 \text{ Sen} \left(360 * \frac{284 + n}{365} \right)$$

Donde n es el día Juliano del año. Este ángulo se mide para un sistema de referencia en el centro de la Tierra y con el eje “z” en el eje norte sur de la Tierra. Debido a la inclinación propia de la tierra ($23^\circ 27'$), este ángulo tiene un valor igual a $23^\circ 27'$ en el solsticio de invierno y $-23^\circ 27'$ en el solsticio de verano (solsticios referidos al hemisferio sur) como se observa en la siguiente figura 13.

Figura 13. **Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Cobaev**



Fuente: DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, Héctor. *Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Cobaev 35*, Xalapa, Mex. p. 156.

La ecuación que relaciona el ángulo de incidencia del haz de radiación directa, θ_i , y los otros ángulos es :

$$\begin{aligned} & \cos \theta_i = \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \psi + \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \psi \\ & + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \psi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \psi \cdot \sin \omega \end{aligned}$$

Para superficies horizontales, $\beta = 0^\circ$, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de zenit del Sol, θ , el cual puede calcularse como:

$$\cos\theta = \cos\delta * \cos\phi * \cos\omega + \sin\delta * \sin\phi$$

El ángulo de azimut del Sol (ψ_s) puede ser calculado como:

$$\sin(\psi_s) = \frac{\cos\delta * \sin\omega}{\sin\theta_z}$$

2.1.4. Variaciones de la radiación solar

La variación del Sol varía diariamente desde el amanecer hasta el ocaso. Si se observan las posiciones del Sol al amanecer, mediodía y atardecer en cualquier lugar del hemisferio norte, se verá como sale por el este, se desplaza en dirección sur y se pone por el oeste. En realidad, es la Tierra la que cada día hace una rotación completa alrededor de su eje, eso crea en el observador la sensación de permanecer estático, mientras que el universo gira a su alrededor. Por tanto, aunque es la Tierra la que gira, se tiene la costumbre de decir que es el Sol el que cada día realiza este recorrido, aunque este es, como se sabe, un movimiento aparente.

Las condiciones óptimas de operación implican la presencia de luz solar plena y un panel orientado lo mejor posible hacia el Sol, con el fin de aprovechar el máximo la luz directa. Para aprovechar al máximo esa radiación solar, la orientación de los paneles se hace hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur, es decir, siempre se instalarán mirando al Ecuador.

2.1.5. Horas de pico solar

Este es un parámetro fundamental para el dimensionado de los sistemas fotovoltaicos. Corresponde al número de horas en las que cada metro cuadrado de su superficie captadora, obtiene de modo constante 1 000 watts de energía. Los módulos fotovoltaicos se caracterizan bajo unas condiciones determinadas que son tomadas como referencia y que se denominan "Condiciones Estándar de Medida". Estas son:

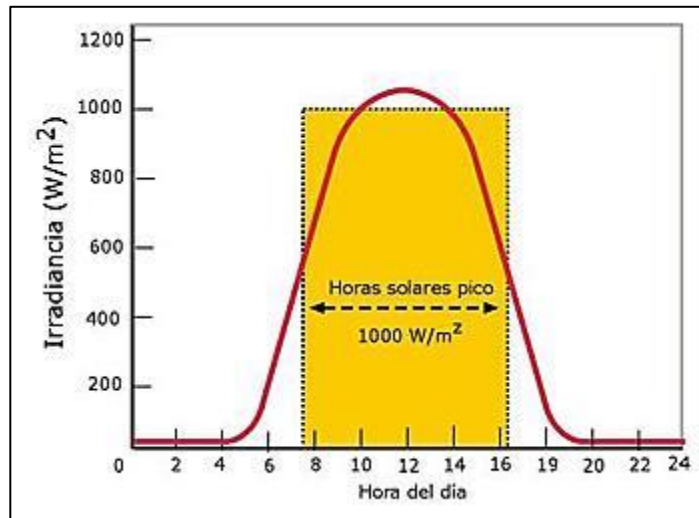
- 1 kW/m² de radiación solar
- 25 °C de temperatura de las células fotovoltaicas
- Incidencia normal

Si se quiere evaluar la energía que el panel fotovoltaico puede producir diariamente, habría que conocer cuántas horas diarias con una radiación de 1 000 W/m² equivalen a la radiación total diaria (la correspondiente a la inclinación del panel fotovoltaico). Este concepto se denomina Horas Pico Solar.

La máxima potencia generada en estas condiciones por cada módulo fotovoltaico se mide en W_p (vatios pico). A esta potencia se le denomina Potencia Nominal del Módulo.

La energía producida por los sistemas fotovoltaicos es el resultado de multiplicar su potencia nominal por el n° de horas pico, dado que no todas las horas del Sol son horas de intensidad considerada como pico (esto es 1 000 W/m²). El número de horas pico de un día concreto se obtendrá dividiendo toda la energía producida en ese día entre 1 000 W/m². En Guatemala, la media de horas solares pico es de 4,5 a 5,5 horas.

Figura 14. **Media de horas solares pico**



Fuente: *Radiación difusa*. http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html. Consulta: 15 de abril de 2014.

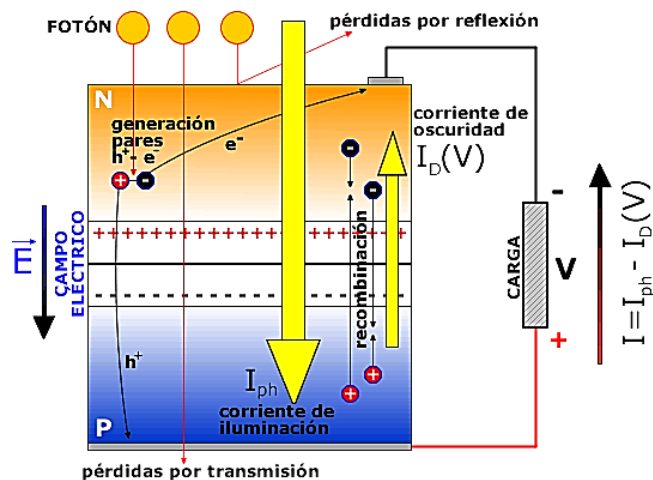
2.1.6. Principios de conversión fotovoltaica

Los semiconductores son utilizados en la fabricación de las celdas solares, porque la energía que liga a los electrones de valencia al núcleo es similar a la energía que poseen los fotones que constituyen la luz solar. Por lo tanto, cuando la luz solar incide sobre el semiconductor (generalmente silicio), sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia para que se rompan los enlaces y queden libres de circular por el material. Por cada electrón que se libera, aparece un hueco. Dichos huecos se comportan como partículas con carga positiva (+). Cuando en el semiconductor se generan pares electrón-hueco debido a la absorción de la luz, se dice que hay una foto generación de portadores de carga negativos y positivos, los cuales contribuyen a disminuir la resistencia eléctrica del material. Este es el principio básico de operación de las fotorresistencias.

Cuando la radiación luminosa en forma de fotones es absorbida por los semiconductores se generan, en exceso de su concentración en equilibrio, pares de portadores de carga eléctrica, electrones y huecos, los cuales deben ser separados para poder usar la energía que cada uno representa. Estos portadores, generados por la energía de los fotones, viajan bajo un gradiente de concentración hacia la unión en donde son separados por efecto del campo eléctrico. Esta separación envía electrones fotogenerados a la capa n y huecos fotogenerados a la capa p, creándose una diferencia de potencial entre las superficies superior e inferior de las capas.

La acumulación de cargas en las superficies del dispositivo da como resultado un voltaje eléctrico que se mide externamente. La unidad de medición es el voltio. Este voltaje fotogenerado es lo que se conoce como efecto fotovoltaico.

Figura 15. **Efecto fotovoltaico**



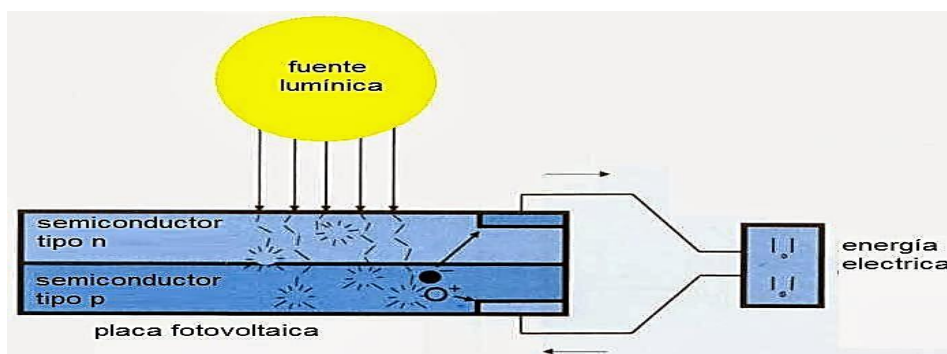
Fuente: *Investigación solar*.

http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_04.htm. Consulta: 18 de mayo de 2014.

Si se establece un circuito eléctrico externo entre las dos superficies, los electrones acumulados fluirán a través de él regresando a su posición inicial. Este flujo de electrones forma lo que se llama una corriente fotogenerada o fotovoltaica (FV).

Bajo condiciones de circuito abierto V_{CA} el efecto FV genera una diferencia de potencial entre la parte superior y la inferior de la estructura. Y bajo condiciones de cortocircuito, el proceso genera una corriente eléctrica I_{CC} que va de la parte positiva a la negativa (dirección convencional para la corriente eléctrica).

Figura 16. **Aerogeneradores**



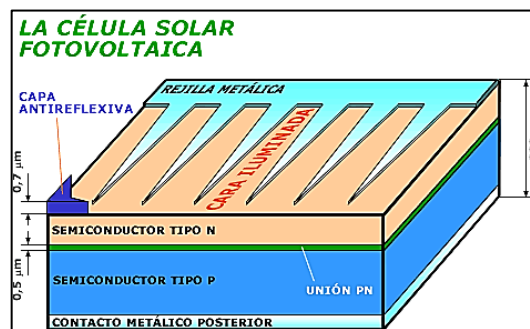
Fuente: *Efecto fotovoltaico en la célula solar*. <http://aerogeneradores-energia-eolica.blogspot.com/2014/02/efecto-fotovoltaico-en-la-celula-solar.html>. Consulta: 19 de mayo de 2014.

2.1.7. La célula fotovoltaica

Para aprovechar en forma de energía eléctrica, la energía que llega a la Tierra en forma de radiación solar, se emplean unos dispositivos llamados paneles solares. El material que se emplee para su fabricación debe ser

especialmente sensible a la radiación de la luz solar, ya que el efecto de conversión resulta de la interacción entre los fotones y los átomos que constituyen el material con el que se fabrican.

Figura 17. **Célula fotovoltaica**



Fuente: *Eficiencia celula solar.*

http://www.muycomputer.com/2009/05/23/actualidadnoticiasrecord-eficiencia-celula-solar_we9erk2xxdajitih-r-p4ppnfhg9lcrminjuhnbnmj05knuvhzpfm7f9si-k5fny. Consulta: 11 de abril de 2014.

Con dicho material (sensible a la radiación solar) se construyen las células solares. Físicamente, una célula solar no es más que un diodo con una superficie muy amplia, que puede llegar a decenas de centímetros cuadrados. La mayor parte de las células solares que se comercializan en la actualidad son de silicio. Es un elemento que se encuentra en todo el mundo, ya que forma la arena (dióxido de silicio, SiO_2). En su forma más pura, el silicio semiconductor se emplea en la industria de la microelectrónica, donde es la base de los microchips.

Las células o celdas solares se fabrican a partir de planchas de este material. Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm y una forma normalmente cuadrada, con una superficie

aproximada igual a los 100 cm². El proceso de fabricación varía según las cualidades que se quieran obtener (rendimiento, flexibilidad, economía): a más pureza, más altos son los costes, para una calidad que no a va a suponer un incremento sustancial del rendimiento.

Las celdas solares de silicio pueden constituirse de cristales monocristalinos, policristalinos o de silicio amorfo. La diferencia entre ellas radica en la forma en que están dispuestos los átomos de silicio en la estructura cristalina: es la estructura cristalina la que hace que tenga características diferentes.

2.1.7.1. Tecnología fotovoltaica

En su trabajo de tesis el Ing. Héctor Domínguez explica que la tecnología fotovoltaica se aplica utilizando materiales sólidos, especialmente en los materiales semiconductores, en donde se han encontrado eficiencias aceptables de conversión de energía luminosa o eléctrica. Existen diferentes materiales semiconductores con los cuales se puede elaborar celdas solares pero el que utiliza comúnmente es el silicio en sus diferentes formas de fabricación.

Silicio monocristalino: se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los cuatro lados cortos, si se observa se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada). Las celdas están hechas de un solo cristal de silicio de muy alta pureza. La eficiencia de estos módulos ha llegado hasta el 18 %. Los módulos con estas celdas son los más maduros del mercado. Proporcionando con esto confiabilidad en el dispositivo de tal manera que algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años.

En la tabla VIII aparecen algunos materiales con los que están hechas las celdas solares que se fabrican, sus eficiencias máximas y el área de captación de cada una de ellas.

Tabla VIII. Eficiencia y área de los materiales utilizados en las celdas solares

	Eficiencia máxima (%)	Área (cm2)
Silicio Amorfo	8	0,04
Sulfuro de Cadmio	10	1,00
Silicio Monocristalino	18	2,00
Silicio Policristalino	7-14	2-3
Arseniuro de galio	22	0,10
Teluro de cadmio	8-9	0,02

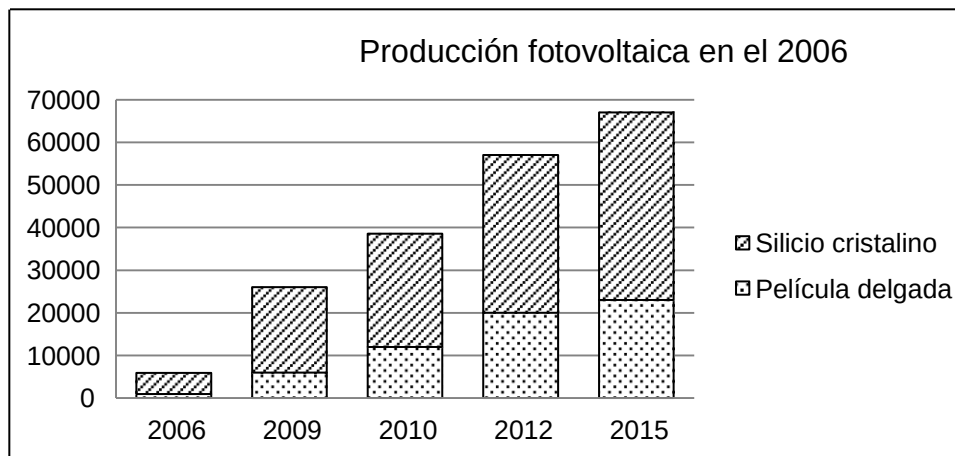
Fuente: ALONSO, C.; RODRÍGUEZ V. *Alternativas energéticas*. p. 128.

Silicio policristalino: su nombre indica que estas celdas están formadas por varios cristales de silicio. Esta tecnología fue desarrollada buscando disminuir los costos de fabricación. Dichas celdas presentan eficiencias de conversión un poco inferiores a las monocristalinas hasta el orden del 14 %. La garantía del producto puede ser hasta por 20 años dependiendo del fabricante.

Silicio amorfo: la palabra amorfo significa carencia de estructura geométrica es decir el silicio no se ha cristalizado. Los átomos de silicio que forman el sólido no tiene el patrón ordenado característico de los cristales como es el caso del silicio cristalino. La tecnología de los módulos de silicio amorfo ha estado cambiando aceleradamente en los últimos años. En la actualidad su eficiencia ha subido hasta establecerse en el rango promedio de 8 % y promete incrementarse.

La producción del 2006 estuvo marcado por las películas de silicio cristalino, además la mayoría de los mercados siguen siendo dependientes del apoyo público, los subsidios de inversión o incentivos fiscales.

Tabla IX. **Comparativo en la producción fotovoltaica del 2006**



Fuente: GABRIEL, P. G. *Los próximos 500 años, Red Universitaria Argentina/España*. p. 98.

La empresa Wafer tiene como base una producción de células solares de silicio y sigue siendo la principal tecnología, tiene alrededor de 80 % en las cuotas de mercado del 2009. Las células solares policristalinos siguen dominando el mercado (45 a 50 %), aunque las ventas del mercado están disminuyendo lentamente desde 2003.

Los aumentos de la capacidad masiva de ambas tecnologías son seguidos por las ampliaciones de capacidad necesarios para el material de polisilicio. El rápido crecimiento de la industria fotovoltaica desde el 2000 llevó a la situación en la que entre 2004 y principios de 2008, la demanda de polisilicio superó a la oferta de la industria de los semiconductores, los precios del silicio purificado comenzó a subir de forma pronunciada en 2007 y en 2008 los precios de polisilicio alcanzó su punto máximo.

Para el 2009, alrededor de 88 000 toneladas métricas de producción de silicio solar para la generación de energía eléctrica, suficiente para generar alrededor de 11 GW en el supuesto de utilizar en promedio de 8 g / Wp. China produjo cerca de 18 000 toneladas métricas o 20 % que cumplen aproximadamente la mitad de la demanda interna.

De acuerdo con el Ministerio Chino de Industria y Tecnología de la Información unas 44 000 toneladas métricas de polisilicio de producción y se alcanzó con una capacidad de 68 000 toneladas métricas en construcción en el 2009.

La proyección de la capacidad de producción de silicio disponible para la energía solar en el 2012 oscila entre 140 000 toneladas métricas de los productores de polisilicio, hasta 185 000 toneladas métricas, incluyendo los nuevos productores y 250 000 toneladas métricas.

El estado actual de la tecnología fotovoltaica existe en el mercado desde las más comunes que son los de diseño de homounión, que son los de silicio cristalino y están compuestos por los de: monocristalino, policristalino grueso y policristalino delgados.

También existen los de película delgada policristalina, estos están integrados por cobre-indio-galio- diselenio, telurio-cadmio y los de galio-indio policristalino, dentro de este grupo también están los de película delgada amorfas el más conocido de este grupo es el silicio-amorfo.

El consumo de materiales puede disminuir a partir de la actual de 8 g / Wp a 7 g / Wp, o incluso de 6 g / Wp, pero esto no se puede lograr por todos los fabricantes. Más de 150 empresas participan en la película delgada proceso de

producción de células solares, que van desde las más grandes instalaciones de producción.

Los primeros 100 MW de película delgada se convirtió en fábricas en funcionamiento en 2007. Si todos los planes de expansión se realiza en el tiempo, de película fina capacidad de producción podría ser 20 GW o 36 % del total de 56 GW en 2012 y 23 GW, un 34 % en el 2015 de un total de 67 GW.

Tabla X. **Tabla comparativa de celdas solares según su tecnología**

Tecnología	Símbolo	Característica	Eficiencia de celdas en laboratorio (%)	Eficiencia típica en módulos comerciales (%)
Silicio monocristalino	sc-Si	Tipo oblea	24	13 – 15
Silicio policristalino	mc-Si	Tipo oblea	19	12 – 14
Películas de silicio cristalino sobre cerámica	f-Si	Tipo oblea	17	(8 – 11)
Películas de silicio cristalino sobre vidrio		Película delgada	9	
Silicio amorfo (incluye tandems siliciogermanio)	a-Si	Película delgada	13	6 – 9
Diseleniuro de cobre-indio / galio	CIGS	Película delgada	18	(8 – 11)
Telurio de cadmio	CdTe	Película delgada	18	(7 – 10)
Celdas orgánicas (incluye celdas de TiO ₂ sensibles a la humedad)		Película delgada	11	
Celdas tandem de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	30	
Celdas concentradoras de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	33 (tándem) 28 (solo)	

Fuente: elaboración propia.

2.1.8. Paneles solares, características y modelos de mercado

Los módulos o paneles solares son los elementos fundamentales de cualquier sistema solar fotovoltaico y su misión es captar la energía solar incidente, para genera una corriente eléctrica. Las células solares constituyen un producto intermedio de la industria fotovoltaica ya que proporcionan valores de tensión y corriente muy pequeños, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales. Son extremadamente frágiles, eléctricamente no aislados y carecen de soporte mecánico, por eso una vez

fabricadas, deben ser ensambladas de la manera más adecuada para constituir una estructura única, rígida y hermética: el panel fotovoltaico.

2.1.8.1. Estructura de los paneles solares

Cada fabricante adopta una forma de empaquetar diferente al construir el panel FV. Sin embargo, ciertas características son comunes a todos ellos, como el uso de una estructura de sándwich, donde ambos lados de las células quedan mecánicamente protegidos.

Los paneles solares están formados por los siguientes elementos: cubierta frontal, material encapsulante, células o celdas solares y sus conexiones eléctricas, cubierta posterior y marco metálico.

- Cubierta frontal: sirve para proteger las células contra las inclemencias el tiempo o contra impactos. Es de vidrio templado de 3-4 mm de espesor. Favorece la transmisión hacia el material semiconductor.
- Material encapsulante: se encuentra entre el vidrio y las células, también las recubre por la parte posterior. Como material encapsulante se emplea un copolímero denominado EVA (etileno-vinil-acetato), es un material que tiene un índice de refracción similar al vidrio.
- Cubierta posterior: sirve de protección y cerramiento al módulo, fundamentalmente contra los agentes atmosféricos, ejerciendo una barrera infranqueable contra la humedad.

- Marco metálico: es la parte que le da rigidez y permite que se pueda montar formando estructuras. Es de aluminio anodizado, acero inoxidable o similar.

En la parte posterior se sitúan las cajas de conexiones eléctricas. Deben ser además accesibles, con un grado de protección adecuado, cableado protegido contra la humedad y los fenómenos atmosféricos. Los cables que se utilizan en las instalaciones fotovoltaicas son de sección superior a los utilizados en instalaciones convencionales, debido a la utilización de bajas tensiones continuas y a requerimientos de potencia de cierta consideración.

La caja de conexiones contiene también unos diodos de *by-pass* (diodos de paso) que protegen individualmente a cada panel de posibles daños ocasionados por sombras parciales, impidiendo que la células sombreadas actúen como receptores o carga.

2.1.8.2. Características de los paneles

Elemento que permite usar los rayos del sol como energía. Lo que hacen estos dispositivos es recoger la energía térmica o fotovoltaica del astro y convertirla en un recurso que puede emplearse para producir electricidad o calentar algo.

2.1.8.2.1. Parámetros eléctricos que definen un módulo fotovoltaico

Intensidad de cortocircuito (I_{CC} o I_{SC}): se mide la corriente entre los bornes de un panel, cuando estos se cortocircuitan ($V=0$). La intensidad de cortocircuito

de un módulo es igual a la de una de sus células multiplicada por el número de filas conectadas en paralelo. Es la máxima intensidad que se puede obtener de un panel.

Tensión Nominal (V_N): Es el valor de la tensión a la cual trabaja el panel.

Tensión a circuito abierto (V_{CA} O V_{OC}): es el máximo voltaje, que se mediría entre los bornes de un panel si se dejaran los terminales en circuito abierto ($I=0$). Esta medida se toma conectando un voltímetro entre los bornes del módulo cuando no hay carga conectada entre sus extremos. La tensión de circuito abierto de un módulo es la de cada una de sus células por el número de células conectadas en serie.

Intensidad de potencia máxima (I_{Pmax}): es el valor de la corriente que puede suministrar el panel cuando trabaja a máxima potencia.

Tensión de potencia máxima (V_{Pmax}): es el valor de la tensión cuando la potencia también es máxima, cuando el panel está suministrando la máxima intensidad de corriente.

Potencia máxima (P_M): es el máximo valor obtenido al multiplicar la intensidad I_{Pmax} (intensidad cuando la potencia es máxima o corriente en el punto de máxima potencia) y V_{Pmax} (tensión cuando la potencia también es máxima o tensión en el punto de máxima potencia). También se le llama potencia de pico del módulo o panel (W_P).

- Curva V-I

Todo generador tiene una curva típica para la potencia de salida en función de la corriente de carga y los paneles fotovoltaicos no son una excepción. La curva V-I de un panel FV proporciona, indirectamente, la relación mencionada, ya que asocia los valores de V e I para diferentes cargas. Solo se conecta una cierta carga eléctrica al panel, el punto de trabajo vendrá determinado por la corriente I y la tensión V existentes en el circuito. Estos habrán de ser menores que los ICC y VCA definidos anteriormente.

La potencia (P) que el panel entrega la carga está determinada por $P = V \times I$.

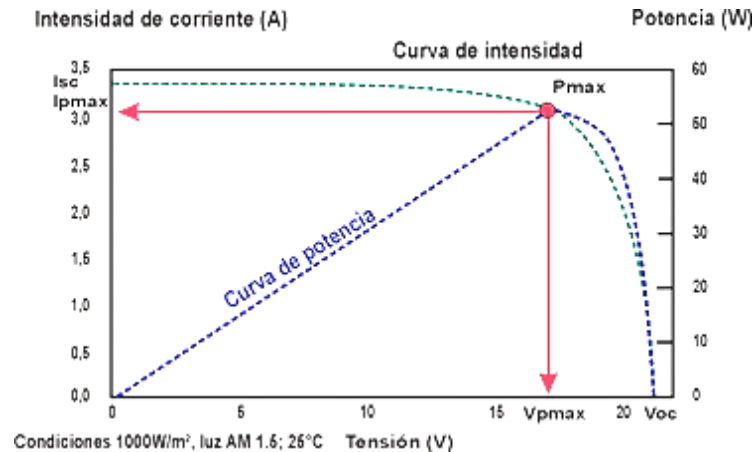
La potencia disponible en un panel fotovoltaico en un punto cualquiera de la curva se expresa en vatios.

El cortocircuito se produce en un punto donde el voltaje es cero. En el punto de cortocircuito, la potencia de salida es cero, ya que el voltaje es cero.

El circuito abierto se produce cuando la corriente es cero. En el punto de circuito abierto la potencia de salida también es cero, pero ahora es porque la corriente es cero.

La intensidad, en amperios, se representa en el eje vertical (eje Y) y la tensión, en voltios, en el horizontal (eje X).

Figura 18. **Energía solar fotovoltaica y sus aplicaciones**



Fuente: *Energía fotovoltaica y sus aplicaciones*.

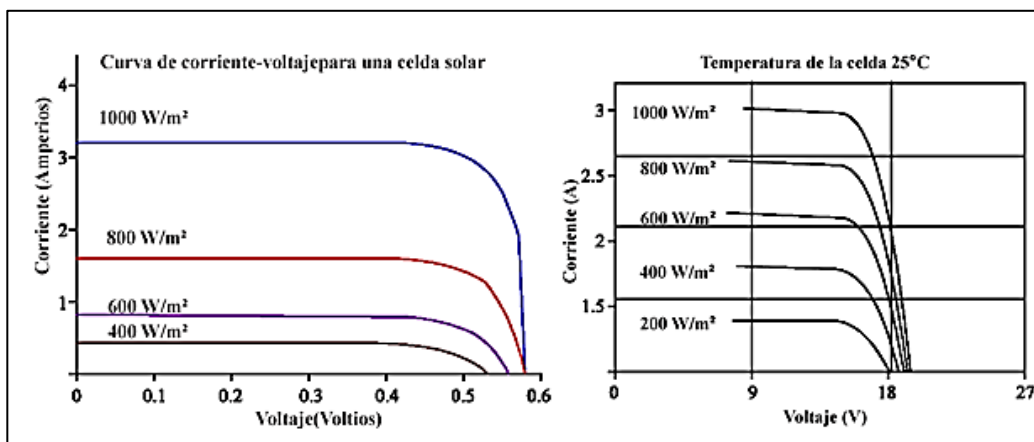
<http://www.monografias.com/trabajos82/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones2.shtml>. Consulta: 22 de junio de 2014.

Las características del panel, están definidas para las condiciones estándar de media (CEM 1kW/m², 25 °C, A.M. 1,5).

- Curva V-I en función de la irradiancia

El comportamiento eléctrico de un módulo varía además con la irradiancia solar. La corriente proporcionada por un módulo fotovoltaico es directamente proporcional a la energía solar recibida. La intensidad aumenta con la radiación, permaneciendo el voltaje más o menos constante, por lo tanto, habrá aumento de potencia.

Figura 19. Comportamiento eléctrico de un módulo



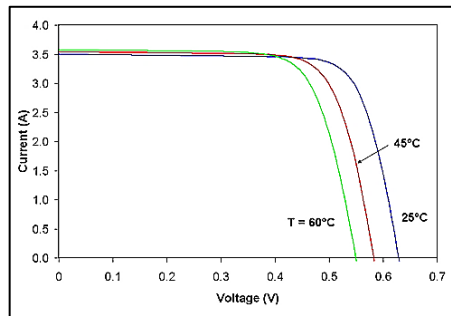
Fuente: *Energía fotovoltaica y sus aplicaciones*.

<http://www.monografias.com/trabajos82/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones2.shtml>. Consulta: 22 de junio de 2014.

- Curva V-I en función de la temperatura

La exposición al Sol de las células provoca su calentamiento, lo que lleva aparejados cambios en la producción de electricidad; así, la tensión generada varía de forma inversamente proporcional a la temperatura de las células, sin que esto provoque cambios en la corriente de salida. Altas temperaturas en el módulo reducen de 0,04 a 0,1 voltios por cada grado centígrado que sube la temperatura. Por esta razón, los paneles FV no deberían ser instalados directamente sobre una superficie, sino que debe permitirse al aire circular por detrás de cada módulo para que su temperatura no suba. Es necesario un espacio de unos 10 cm para proporcionar ventilación adecuada. La temperatura de las células es superior a la temperatura ambiente, por el calentamiento a la que la somete la radiación solar.

Figura 20. **Curva V-I en función de la temperatura**



Fuente: *La eficiencia de los paneles solares*. <http://www.zonnepanelen-info.nl/zonnepanelen/rendement-zonnepanelen/>. Consulta: 16 de junio de 2014.

2.2. Componentes de diseño de un generador fotovoltaico

Un generador fotovoltaico comprende una variedad de componentes tales como: módulos, estructuras de soporte, diodos de *bypass*, diodos de bloqueo, fusibles, cables y terminales, dispositivos de protección contra sobretensiones (varistores), seccionadores o interruptores y cajas de conexión.

2.2.1. Generador fotovoltaicos conectados a red

Consiste básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional.

2.2.1.1. Definición de un sistema fotovoltaico conectado a red

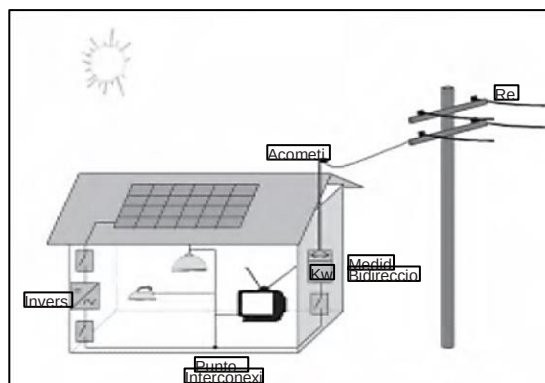
Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (SFCR) constituyen una de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica, que más

atención están recibiendo en los últimos años, dado su elevado potencial de utilización en zonas urbanizadas próximas a la red eléctrica. Estos sistemas están compuestos por un generador fotovoltaico que se encuentra conectado a la red eléctrica convencional a través de un inversor, produciéndose un intercambio energético entre esta y el sistema fotovoltaico, característico de este tipo de instalaciones. Así, el sistema inyecta energía en la red cuando su producción supera al consumo local, y extrae energía de ella en caso contrario.

La diferencia fundamental entre un sistema fotovoltaico autónomo y los conectados a red, consiste en la ausencia, en este último caso, del subsistema de acumulación, formado por la batería y la regulación de carga. Además, el inversor, en los sistemas conectados a red, deberá estar en fase con la con la tensión de la red.

En la figura 21 se presenta el esquema tipo de un sistema fotovoltaico conectado a red:

Figura 21. **Esquema sistema fotovoltaico conectado a red**



Fuente: GONZÁLES G Raúl. Humberto R. Jiménez G. y Javier Lagunas M. *Sistemas fotovoltaicos conectados a red de Boletín IIE*, Consulta: 22 de junio de 2014.

2.2.1.2. Tipos de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red

Como se ha venido comentando hasta ahora, existen dos tipos de aplicaciones de la energía solar fotovoltaica: los sistemas aislados y los conectados a la red.

Aun conociendo la variedad de posibilidades que ofrece el primer tipo de instalaciones, es importante considerar los sistemas conectados a red, ya que ofrecen una diferenciación en lugares (por ejemplo: Europa) donde los niveles de electrificación están llegando a un nivel de saturación.

La ventaja de esta tecnología fotovoltaica está en la posibilidad de crear una instalación a partir de un gran número de sistemas descentralizados, distribuidos en los puntos de consumo, frente a la instalación en grandes superficies, con lo que se consigue eliminar las pérdidas por transporte.

Se enumeraron anteriormente las aplicaciones de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red: instalaciones de energía fotovoltaica para edificación bioclimática, en edificios para posterior suministro a la red eléctrica, para la creación de centrales eléctricas y para refuerzo a finales de línea. Todas estas aplicaciones pueden dividirse en dos grandes subgrupos: los sistemas fotovoltaicos en edificios y las centrales o huertos solares.

2.2.1.3. Sistemas fotovoltaicos en edificios

Los edificios que integran sistemas fotovoltaicos se conocen como Sistemas Fotovoltaicos Integrados en Edificios (SFIE) o Edificios Fotovoltaicos Conectados a Red (EFCR) (Building Integrated Photovoltaic Systems, BIPV).

Tienen como función específica entregar toda la energía generada por el sistema a la red eléctrica.

Los primeros EFCR instalados en Europa surgieron al final de los años 80 en Alemania,

En España, por ejemplo el primer edificio institucional que funcionó fue el Instituto Solar de la Universidad Politécnica de Madrid, en 1994. Al día de hoy, los edificios fotovoltaicos significan un 42 % del total de la energía consumida en Europa. La mayoría de los sistemas fotovoltaicos en edificios (viviendas, centro comerciales, naves industriales entre otros) se montan sobre tejados y cubiertas, pero se espera el aumento de instalaciones integradas en tejas y otros materiales de construcción. Estos sistemas fotovoltaicos son de pequeño a mediano tamaño, lo que supone una potencia de 5 kW a 200 kW, aunque a veces se supere este valor y se llegue al orden de los MW.

Otros sistemas pueden reemplazar a los componentes de las fachadas. Las fachadas fotovoltaicas son elementos muy fiables y aportan un diseño moderno e innovador al edificio mientras producen electricidad, como se aprecia en la figura 22.

Figura 22. **Edificio con fachada fotovoltaica**



Fuente: BRETÓN RAMIRO, Pedro Antonio. *Energía Solar*. www.saecsaenergiasolar.com.

Consulta: 25 de mayo de 2014.

2.2.1.4. Huertos o centrales eléctricas fotovoltaicas

Los huertos fotovoltaicos son agrupaciones de instalaciones fotovoltaicas individuales, pertenecientes a distintos titulares, situados en un terreno o parcela que reúne unas condiciones óptimas para producir energía fotovoltaica (ver figura 23).

Los huertos fotovoltaicos ofrecen varias ventajas como:

- El incremento de la rentabilidad del proyecto al abaratar costes en infraestructura, mantenimiento, limpieza, vigilancia y gestión administrativa.
- Los generadores fotovoltaicos se pueden adquirir a precios inferiores debido al volumen de unidades de compra.

- Los pocos efectos medioambientales negativos se concentran en zonas con escaso valor medioambiental.
- Se generan nuevos puestos de trabajo alrededor de las zonas de instalación.
- Permite la inversión en instalaciones fotovoltaicas de cualquier persona, aún sin disponer de un terreno propio adecuado.

Los elementos comunes en un huerto son los paneles fotovoltaicos, que pueden ser fijos o con rotores giratorios para seguir el movimiento del Sol, lo cual permite un aumento en la capacidad de captación de la radiación. La mayoría de los fabricantes de paneles solares garantizan un 80 % de producción de energía durante los primeros 25 años de vida. La electricidad generada por los paneles fotovoltaicos es corriente continua y debe convertirse en corriente alterna, para su vertido a la red, mediante el empleo de un inversor.

Figura 23. **Huerto solar fotovoltaico**



Fuente: Parques solares de Navarra – España.

En cuanto a la rentabilidad económica que ofrecen los huertos solares, debe tenerse en cuenta que esta dependerá de la cantidad de kilovatio hora inyectados a la red, concepto relacionado directamente con la radiación solar que recibe y recoge la instalación, en un determinado lugar. Por lo general, la rentabilidad aproximada oscila entre el 10 y el 12 % anual, y está garantizada porque la fuente de energía, el Sol, es inagotable.

2.2.1.5. Formas de conectarse a la red

Tanto los sistemas fotovoltaicos en edificios como en los huertos, logran que la electricidad generada se consuma en el lugar de producción; sin embargo, financiera y administrativamente, se puede diferenciar dos formas de conectarse a la red:

2.2.1.6. Tarifa fotovoltaica

En los países donde la legislación obliga a las compañías eléctricas a aceptar la generación que conecta a sus redes y existe una tarifa para recompensar el kilovatio hora de origen fotovoltaico, el sistema se suele conectar directamente a la red eléctrica, de modo que se inyecta el 100 % de la energía producida.

2.2.1.7. Facturación neta

Esta forma de conexión utiliza la electricidad fotovoltaica para consumo propio y los excedentes se inyectan a la red. El sistema fotovoltaico se conecta cerca del contador, en el lado del consumidor, reduciendo la necesidad de comprar electricidad, con ello disminuye la factura de la compañía eléctrica, ya que solo suministra la energía que no aportan los paneles. Cuando se produce un excedente, este se vierte a la red y se puede recibir la tarifa fotovoltaica correspondiente, si lo contempla la regulación.

Llevando a cabo una comparación entre ambos casos, se concluye que la tarifa fotovoltaica, es mucho más eficaz para promover la fuente renovable, exige la emisión de una factura y deben llevarse una contabilidad y los trámites de una actividad económica, con la independencia del tamaño de la instalación. En la facturación neta se obtiene un ahorro de consumo que no conlleva ninguna carga burocrática.

El sistema en estudio proviene de una fuente considerada inagotable y cuyo uso produce un mínimo impacto ambiental, es decir, que la generación de CO₂ es prácticamente nula.

En 1992, la Organización de las Naciones Unidas advirtió que la actividad humana está afectando la temperatura del planeta, debido al incremento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso).

Estos gases se producen naturalmente y son fundamentales para la vida; pues impiden que parte del calor solar regrese al espacio. Pero cuando su volumen aumenta considerablemente, provoca temperaturas artificialmente elevadas que modifican el clima. En un esfuerzo por frenar este problema, se estableció la convención marco de las Naciones Unidas para el cambio climático (UNFCCC), posteriormente se suscribió el Protocolo de Kyoto, por medio del cual los países desarrollados y economías en transición se comprometieron a reducir las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) en un promedio de 5,2 % con respecto a 1990, entre 2008 – 2012 (Período de compromiso).

La reducción de emisión de gases se cuantifica con los llamados “Bonos de carbono”, que son muy bien pagados en un mercado que tiene como

compradores a los países más desarrollados que están obligados a contar con determinada cantidad de bonos generados dentro o fuera de sus fronteras.

2.2.2. Opciones de estructura mecánica como soporte de los paneles solares

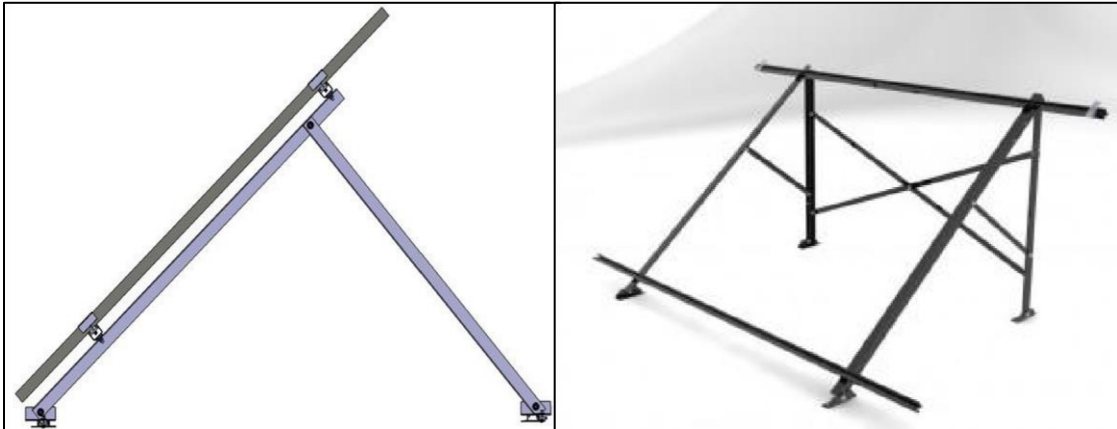
Las estructuras soporte de los paneles fotovoltaicos son un componente que debe ser elegido con criterios de seguridad y de cumplimiento con la normativa sobre este tipo de instalaciones. Es de considerar especialmente el parámetro de resistencia del soporte, ya que debe mantenerse estable entre vientos fuertes y soportar el sobrepeso que puede provocar la caída de nieve sobre paneles fotovoltaicos.

El número de puntos de sujeción para módulos fotovoltaicos debe ser el suficiente para asegurar su instalación, sin que se produzca flexiones en los módulos de valor superior a las especificadas por el fabricante. Asimismo, permitirá fijar el ángulo de inclinación que corresponda de un modo seguro y sin alteraciones ante vientos.

La estructura soporte debe estar protegida superficialmente contra la acción de los agentes ambientales, por ejemplo mediante galvanizado en caliente, con un mínimo de 80 micras y la tornillería debe ser como mínimo del tipo galvanizado, excepto la empleada para sujetar los paneles fotovoltaicos, que será de acero inoxidable. Si la estructura es de perfiles de aluminio conformado en frío, esta debe cumplir la Norma NOM 001-SEDE-2005.

Existe en el mercado una amplia variedad de estructuras para adecuarse a situaciones tales como las instalaciones en suelo, tejado, cubierta y postes. La figura 24 muestra algunos ejemplos de los soportes.

Figura 24. **Soportes utilizados en los paneles solares**



Fuente: *Técnicas de la Energía*. www.atersa.com. Consulta: 16 de abril de 2014.

La estructura soporte puede ser, asimismo, del tipo seguidor del Sol, lo que asegura una óptima captación de la radiación solar y con ello un aumento notable en la eficacia de la instalación.

La estructura deberá soportar como mínimo una velocidad del viento de 150 Km/h. Esta estructura es la que fijará la inclinación de los paneles solares. Hay varios tipos de estructuras: desde un simple poste que soporta 4 paneles solares, hasta grandes estructuras de vigas aptas para aguantar varias decenas de ellos.

Para anclar estos paneles se usará hormigón y tornillos de rosca (acero inoxidable), siendo tanto la estructura como los soportes de acero inoxidable, hierro galvanizado o aluminio anodinado, de un espesor de chapa 1 mm y han de dejar una altura mínima entre el suelo y el panel de 30 cm, y en la montaña o lugares donde llueve mucho, algo mayor, para evitar que sean alcanzados o enterrados por la nieve o el agua.

Si se instalan mástiles, se tendrá que colocar de forma oblicua, y si su base es de hormigón, se reforzará con tiras de acero o introduciendo piezas metálicas en el hormigón cuando este esté blando, para que quede bien sujeto (éste es el método más empleado). Pero si se montan las placas en postes, se utilizarán flejes de acero inoxidable grapados o unidos con una hebilla del mismo material.

2.2.3. Inversores de corriente

Es el equipo encargado de transformar la energía recibida del generador fotovoltaico (en forma de corriente continua) y adaptarla a las condiciones requeridas según el tipo de cargas, normalmente en corriente alterna y el posterior suministro a la red. Los inversores vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada, que se debe adaptar al módulo fotovoltaico, la potencia máxima que puede proporcionar y la eficiencia. Esta última se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega a la utilización (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del módulo (potencia de entrada).

Aspectos importantes que habrán de cumplir los inversores: deberán tener una eficiencia alta, pues en caso contrario se habrá de aumentar innecesariamente el número de paneles para alimentar la carga. Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas. Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150 % de su potencia máxima.

Inversores para conexión a la red eléctrica: la energía eléctrica procedente de los paneles fotovoltaicos o la de los aerogeneradores puede adaptarse a las condiciones técnicas impuestas por los organismos reguladores para inyectarla

en las redes de distribución de electricidad. La finalidad es económica; vender a las compañías suministradoras de electricidad la energía excedente del consumo propio o bien la totalidad de la generada, si la instalación en cuestión se ha dispuesto para tal aplicación.

2.2.3.1. Configuración del inversor de red

El inversor para conexión a red es, fundamentalmente, un inversor de DC/AC como los descritos en el apartado anterior para la instalación aisladas, al que se han incorporado un circuito de sincronización de fase entre su salida de corriente alterna y de la red de energía eléctrica a la que se conecta.

La condición previa para unir las líneas con corriente alterna a la de la red de distribución y la salida del inversor, es que coincidan completamente sus fases y sus voltajes. Por razones obvias, debe ser la red de distribución la que enganche en fase de salida del inversor, lo que se lleva a cabo tomando muestras periódicas.

El inversor se utiliza para obtener corriente alterna de salida en forma de onda senoidal, para las condiciones monofásicas o trifásicas cumpliendo los parámetros de voltaje y frecuencia requeridos por la línea a la que se acopla.

El inversor con conexión a la red se define por un conjunto de especificaciones técnicas, siendo las más importantes las tensiones de entrada y salida, la potencia suministrada y su exactitud de fase, en la tabla XI se describen los parámetros de entrada, salida del convertidor de CD/CA.

Tabla XI. **Datos generales de entrada y salida del convertidor de CD/CA**

Parámetro	Descripción
Datos de entrada	
Potencia máxima de los paneles	Dato referido a la potencia máxima pico (Wp) del conjunto de paneles que se pueden conectar al inversor.
Rango de tensión	Margen de la tensión de entrada al inversor. En este dato también se puede indicar la máxima tensión de entrada en vacío.
Corriente máxima	Datos de la corriente máxima que pueda circular por el circuito de entrada.
Datos de salida	
Tensión nominal	Valor de la tensión de salida, que pueda ser de forma monofásica de 110 V o 230 V o trifásica de 230 V o 400 V.
Frecuencia	Valor de la frecuencia de la corriente alterna de salida del inversor.
Potencia nominal	Valor de la potencia a régimen continuo que puede suministrar el inversor.
Distorsión de onda	Dato referido a la distorsión en (%) que presentan las ondas senoidales de salida.
Factor de potencia	Dato referido al factor de potencia ($\cos \varnothing$) que presenta el equipo.
DATOS GENERALES	
Eficacia	Dato referido al rendimiento del inversor dado en (%).
Presencia de datos	Información sobre los medios que aporta el equipo para ofrecer datos referidos a las diferentes situaciones que puede presentar el inversor durante su funcionamiento. Tales modos son generalmente la incorporación de led o dígitos locales y un puerto serie destinado a un equipo informático externo.

Fuente: Hojas técnicas.

http://www.conermex.com.mx/files/file/HojasTecnicas/04_Inversores/icmx_600_inversor_cdca_conermex.pdf. Consulta: 22 de mayo de 2014.

- Sincronizador: la indicada condición de sincronización entre la tensión alterna suministrada por el convertidor DC/AC y la de la red de distribución se consigue con este bloque, el cual recibe inicialmente la tensión de la red a través del transformador aislador descrito anteriormente, e inicia el disparo del inversor, operación que se repite ante cada ciclo, en coincidencia con su cruce por cero. Cualquier alteración de fase entre el primario y el secundario da lugar a un aumento de la corriente en circulación, lo que es detectado por los circuitos de protección para introducir la corriente necesaria.
- Control: bloque auxiliar del convertidor encargado de las entradas de arranque/parada, configuración, entre otros y de las salidas destinadas a dar información de situaciones. Tales salidas físicas pueden incidir en la red, dígitos locales, o bien formar un bus serie destinado a un equipo informático externo para la gestión y cómputo del suministro eléctrico a la red.
- El software: suministrado generalmente por los fabricantes de los inversores, permite presentar en la pantalla del monitor todos los datos de funcionamiento y de inyección de corriente en la red.

2.2.4. Protecciones eléctricas (NEMA)

Durante su funcionamiento toda instalación eléctrica puede presentar dos estados operativos, al primero se le llamará Estado de Operación Normal, y se presenta cuando todos los parámetros de la instalación (voltaje, amperaje, frecuencia, temperatura de los conductores, entre otros) están dentro de los parámetros previstos; el segundo le llamamos estado de operación anormal y es cuando uno o más parámetros de la instalación eléctrica exceden las condiciones previstas.

Cuando el estado de operación de la instalación eléctrica es anormal, existen distintos tipos de fallas como pueden ser: la sobrecarga, las fallas de aislamiento, un cortocircuito, dependiendo el servicio para el cual fue diseñado.

Cualquier instalación eléctrica por norma, debe estar provista de protecciones, cuyo objetivo es reducir al máximo los efectos producidos por las fallas mencionadas anteriormente, para esto las protecciones deben estar dimensionadas adecuadamente según las características del circuito.

Las protecciones eléctricas más comúnmente utilizadas son:

Los fusibles

Los disyuntores termomagnéticos

- NEMA: National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes de equipo Eléctrico).

La National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes de equipos Eléctricos) es una asociación industrial norteamericana, creada el 1 de septiembre de 1926, tras la fusión de la Associated Manufacturers of Electrical Supplies (Fabricantes de Suministros Eléctricos Asociados) y la Electric Power Club (Club de Potencia Eléctrica). La sede principal está en el vecindario de Rosslyn, en Arlington (Virginia), y cuenta con más de 400 miembros asociados. Este organismo es el responsable de numerosos estándares industriales comunes usados en el campo de la electricidad. Entre otros, la NEMA ha establecido una amplia gama de estándares para encapsulados de equipamientos eléctricos, publicados como NEMA Standards Publication 250.

El objetivo fundamental de NEMA es promover la competitividad de sus compañías socias, proporcionando servicios de calidad que impactarán positivamente en las normas, regulaciones gubernamentales y economía de mercado.

Dependiendo de la aplicación industrial a la que va dirigida el encapsulamiento, la NEMA define diferentes estándares, diseñados para cubrir el nivel de protección necesario atendiendo a diferentes condiciones ambientales. Un encapsulamiento NEMA típico puede responder a diferentes agentes ambientales tales como: agua, polvo, aceites, refrigerantes, o atmósferas que contengan agentes agresivos como acetileno o gasolina. En la página de la NEMA puede consultarte una lista completa de dichos estándares.

Así que resumidamente se puede decir que NEMA es un conjunto de estándares creado, como su nombre lo indica, por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (EE.UU.), y comprende NEMA 1, 2, 3, 3R, 3S, 4, 4X y 5.

Debido a que en la actualidad existen equipos diseñados para trabajo en ambientes hostiles, estos deben cumplir con ciertos estándares que aseguren su robustez y permitan a la gente saber hasta dónde pueden llegar en su utilización. Para saber si un equipo, tal como una terminal portátil, un indicador de peso, un lector de código de barras o un monitor son los adecuados para una aplicación que funcionará bajo condiciones extremas, es necesario revisar sus especificaciones mecánicas, donde generalmente se encontrarán grados como los de NEMA.

Los estándares de NEMA más comúnmente encontrados en las especificaciones de los equipos son los siguientes:

- NEMA 1: uso interior, protección contra equipos cerrados.
- NEMA 2: uso interior, protección contra equipos cerrados y una cantidad limitada de gotas de agua.
- NEMA 3 (3R), (3S): uso exterior, intemperie, protección contra contacto con equipos cerrados, contra polvo soplado por viento, lluvia, lluvia con nieve y resistencia contra la corrosión.
- NEMA 4 (4X): uso interior y exterior, intemperie, protección contra contacto con equipos cerrados, contra polvo soplado por viento, lluvia, chorros fuertes de agua. No prevista protección contra congelamiento interno.
- NEMA 5: uso interior, protección contra equipos cerrados, partículas de polvo flotando en el aire, mugre y gotas de líquidos no corrosivos.
- NEMA 6 (6P): uso interior o exterior, protección contra equipos cerrados, contra inmersión limitada (prolongada) en agua y contra acumulación de hielo.
- NEMA 7: uso interior, clasificados como Clase I. A prueba de explosión, debe ser capaz de resistir la mezcla de gas y aire explosiva.
- NEMA 8: uso exterior, clasificados como Clase I. A prueba de explosión, contactos aislados en aceite.

- NEMA 9: uso exterior, clasificados como Clase II. A prueba de explosión, debe ser capaz de resistir la mezcla de gas y aire explosiva. Además debe evitar la penetración de polvo.
- NEMA 10: uso exterior y a prueba de explosión usado en las minas.
- NEMA 11: interior, protección contra líquidos corrosivos.
- NEMA 12: interior, líquido no corrosivo, ambiente industrial. Protección contra goteo y polvo.
- NEMA 12K: interior, líquido no corrosivo, ambiente industrial.
- NEMA 13: polvo, agua rociada y refrigerante no corrosivos.

2.2.5. La caja general de protección

La caja general de protección es la encargada de salvaguardar toda la instalación eléctrica de un posible cortocircuito o punta de intensidad la cual afectaría a todos los componentes conectados a la red. Esta caja general de protección podrá llevar tanto protecciones térmicas como fusibles. Es el lugar donde se albergarán todas las conexiones provenientes de los inversores y alimentarán una barra común.

2.2.6. Puesta a tierra

La instalación a tierra protege al usuario contra un cortocircuito o contra los relámpagos, esta instalación es muy importante ya que delimita la tensión que pueda presentarse en un momento dado en las masas metálicas de los

componentes, asegurando la actuación de las protecciones y eliminando el riesgo que supone el mal funcionamiento o avería de alguno de los equipos. Las tomas a tierra se establecen principalmente a fin de limitar la tensión que puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.

2.2.7. Cableado para la conexión de los equipos

Es el encargado de conectar los distintos paneles solares con las cajas de interconexión y con el resto de los equipos e instrumentos. Este cableado de paneles se realizará con materiales de alta calidad para que se asegure la durabilidad y la fiabilidad del sistema a la intemperie. El cableado y las conexiones entre los equipos tendrán que tener el grado de protección NEMA 3.

Entre las conexiones eléctricas entre paneles se usará siempre terminales. Los terminales de los paneles pueden ser bornes en la parte de detrás del panel o estar situados en una caja de terminales a la caja espalda del mismo. En el primer caso se tendrá capuchones de goma para la protección de los terminales contra los agentes atmosféricos. En instalaciones donde se monten paneles en serie y la tensión sea igual o mayor a 24 V se instalan diodos en derivación.

La sección del cable de conexión no debe de ser superior a 6 mm. Es necesario también cuidar los sistemas de paso de los cables por muros y techos para evitar la entrada de agua en el interior. Las técnica y tendido para la fijación de los cables han de ser las habituales en una instalación convencional. Los conductores pueden ir bajo tubo al aire, en el primer caso puede ir empotrado o no. La sujeción se efectuará mediante bridas de sujeción, procurando no someter un excesivo dobléz a los radios de curvatura. Los

empalmes se realizarán con accesorios a tal efecto, usando cajas de derivación siempre que sea posible.

El número de puntos de sujeción para módulos fotovoltaicos debe ser el suficiente para asegurar su instalación, sin que se produzca flexiones en los módulos de valor superior a las especificadas por el fabricante. Asimismo, permitirá fijar el ángulo de inclinación que corresponda de un modo seguro y sin alteraciones ante vientos.

3. DISEÑO DE UN GENERADOR FOTOVOLTAICO PARA EL CENTRO UNIVERSITARIO DE NOROCCIDENTE (CUNOROC), UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, BAJO LA NORMATIVA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

El diseño que se desarrollará a continuación, se gestó cuando por parte del director del Cunoroc, el Ing. Otto Salguero comentó sobre los costos altos de la energía eléctrica consumida mensualmente y sobre las gestiones para reducir dicho gasto ante la empresa eléctrica municipal de Huehuetenango, la cual le pide se realice una extensión de línea en media tensión con un costo alto. Se le propone como opción construir un generador solar, el cual vendría a reducir significativamente el pago mensual, además de promover como universidad el insertarse en el ámbito de instituciones que están ayudando al medio ambiente y en este caso con la generación de energía renovable. Al final se verá cual será la contribución mensual o anual en la reducción en la emisión de dióxido de carbono y el impacto correspondiente y el análisis de costo-beneficio.

Posteriormente se propuso por parte del director de Cunoroc el área que podría utilizarse para la construcción del proyecto, encontrándose un predio baldío utilizado por los estudiantes para sembrar follaje, estando el mismo sin árboles que eventualmente habría que talar.

Ya con el área definida, se dispuso a realizar las medidas y determinar los parámetros que serviría para conformar el diseño. Siguiendo el orden siguiente:

- Determinación de ubicación y localización del Cunoroc, utilizando coordenadas geo referenciadas.
- Estimación de los parámetros de radiación e irradiancia en el punto de estudio.
- En función a la información real de facturación por consumo de energía eléctrica, se elaborará una tabla para determinar la potencia activa promedio mensual.
- Investigación de equipo fotovoltaico disponible en el mercado.
- Dimensionado de cada componente del generador fotovoltaico en función al equipo seleccionado y las necesidades de carga eléctrica a cubrir.
- Estructura de soporte necesario y ubicación en el área dispuesta.
- Sistema de cableado en CC y AC, conexiones, ductería, protección, medición.
- Estimación costos aproximados.

3.1. Determinación coordenadas geo referenciadas de la ubicación del área donde se dispondrá el generador fotovoltaico o huerto solar

El Centro Universitario de Noroccidente (Cunoroc), se encuentra ubicado en el departamento de Huehuetenango, aldea Chivacabé, zona 12, sobre el kilómetro 170 de la carretera Interamericana CA1.

Datos de ubicación: (geo referenciados)

Latitud: 15° 18' 33" N (UTM-GPS 15.3091)

Longitud: -91° 31' 56" O (UTM-GPS 91.5322)

a.s.n.m.: 1 877 metros (altura sobre el nivel del mar)

Figura 25. **Ubicación del Cunoroc y área dispuesta**



Fuente: Google Earth. <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>. Consulta: 2 de julio de 2014.

El área dispuesta o disponible es de 626,90 mts² (ver plano 1). Área asignada por el director del centro, la cual cumple con las condiciones mínimas para la distribución y/o montaje de los paneles. Además, la posición y altura del Sol promedio durante el año permite tener una incidencia de este bastante buen (ver anexo estudio de sombras).

Como en todo proyecto de una huerta o generador solar, se pretende tener un área que cumpla con las condiciones básicas de diseño, estas son:

- Libre de obstáculos (sombras)
- Libre de paso continuo de personas
- Promedio de Irradiancia anual ideal

3.2. Estimación de radiación o irradiancia en los puntos previamente seleccionados

Con los datos de ubicación y utilizando la base de datos disponible de la NASA SSE (Surface meteorology and Solar Energy), se tienen los siguientes datos de radiación o irradiancia para el punto en estudio: (ver tabla en anexo).

De la información anterior se tienen los valores promedio de diseño siguientes:

Tabla XII. Datos de irradiancia y meteorológicos

DATOS DE IRRADIANCIA Y METEOROLÓGICOS		Max Abril	Min Nov
Irradiancia promedio (Kwh/m ² /d)	5,37	6,33	4,72
Temperatura aire promedio °C.	20,8		
Temperatura tierra promedio °C.	22		
Velocidad del viento promedio (m/s)	3		
Humedad relativa promedio %	74,3		

Fuente: elaboración propia.

Se hace notar que el promedio anual de irradiancia (kilovatio/hora/metro cuadrado/día) es de 5,37, lo cual indica que el área donde se encuentra el Centro Universitario de Nor-Occidente, presenta las condiciones ideales para el diseño y construcción de un generador solar conectado a red. Además, los máximos y mínimos en abril y noviembre respectivamente, tienen una variación relativamente pequeña, + 15 % y -14 %, por lo que el valor promedio que se tomará para el diseño será el más conveniente. (5,37 kWh/m²/d).

3.3. Determinación de carga eléctrica instalada y consumo real

Para el cálculo de carga y consumo de energía eléctrica en el campus del Cunoroc, el director del mismo proporcionó facturas por un período de 12 meses (2013, y un mes del 2014), canceladas a Energuate, siendo el promedio de consumo mensual de 5 122 kWh/mes o 171 kWh/día. Este dato es uno de los más importantes debido a que el tamaño o dimensionamiento del generador fotovoltaico dependerá del consumo real que se tiene. Ver detalle en tabla XIII.

Tabla XIII. **Resumen de carga y consumo eléctrico Cunoroc**

TABLA RESUMEN CARGA Y/O CONSUMO												
TIPO DE CONSUMO	PERIODO											TOTAL
	ENERO 2013.	FEBRERO 2013.	MARZO 2013.	MAYO 2013.	JUNIO 2013.	JULIO 2013.	AGOSTO 2013.	SEPTIEMBRE 2013.	OCTUBRE 2013.	DICIEMBRE 2013.	JULIO 2014.	
Activa kWh	4320	5280	5040	6240	3540	4200	6120	5880	6900	4260	4560	56340
Demanda kW	39,660	45,000	43,500	43,800	33,720	26,880	41,120	38,640	42,360	28,740	33,840	417,260
Reactiva kVARh	1,860	1,500	1,560	1,800	1,140	1,320	1,380	1,560	1,920	2,220	1,380	17,640
TOTAL FACTURA	Q11 130,00	Q12 384,00	Q12 009,00	Q13 140,00	Q9 806,26	Q10 165,00	Q13 356,00	Q12 413,00	Q13 687,00	Q10 512,00		
											PROMEDIO KWh/MES	PROMEDIO KWh/día
											5122	171

Fuente: elaboración propia.

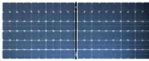
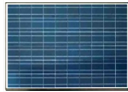
3.4. Investigación sobre equipos fotovoltaicos disponibles en el mercado

Debido al auge y crecimiento que ha tenido el mercado de la energía solar en los últimos años, existen disponibles muchas marcas con diferentes tecnologías. Se ha tornado en un producto estándar si así se le puede llamar, ya que en su construcción y uso dependerán de las necesidades del usuario, como también de la disponibilidad en el mercado local. En Guatemala, no se fabrican aún, por lo que es necesario importar. La mayor parte son fabricadas en China, maquiladas para varias empresas de prestigio con altos índices de calidad, certificadas con normas ISO, UL, entre otros, pero también las hay no

de muy buena calidad, con tiempos de vida muy cortos o inestables, baja potencia nominal y poco respaldo del proveedor por reclamo de garantía o desperfectos de fábrica.

Entre las más utilizadas, mejor calidad y disponibilidad se tiene:

Tabla XIV. **Paneles solares más usados en el mercado local**

MARCA	Imagen	Tecnología	Potencia Nominal (W)	Voltaje de Operación (v)	Observaciones/ Proveedor
Bosch		Monocrystalino, c-Si, 60	280-290	28.40 – 31.42	http://www.bosch-solarenergy.com/en/bosch_se_serviceorganization/landing_page_2/landing_page_3.html
SHARP		Polisilicio, ND-240QCJ	240	37.5	http://www.sharppusa.com/SolarElectricity/SolarProducts/ResidentialSolarProducts.aspx
Canadian Solar		Polisilicio, Max Power CS6X-P	300-305	36.1	http://www.canadiansolar.com/

Fuente: *Panel solar fotovoltaico*. <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/panel-solar-fotovoltaico-80158.html>. Consulta: 19 de junio de 2014.

Para el proyecto, se ha seleccionado la marca Canadian Solar, modelo, CS6X-P, ya que es la que mejor potencia nominal ofrece, dato importante que se verá representado en el diseño que se verá más adelante. Además, algunas empresas en Guatemala importan esta marca desde hace buen tiempo, con resultados y respaldo que aseguran ser un producto que cumple con los estándares de fabricación y garantiza la instalación.

3.5. Dimensionado de los componentes y cálculo de presupuesto del GFV

Con la investigación realizada en la Universidad (Cunoroc), área disponible y consumo eléctrico real, se hicieron los cálculos preliminares del diseño.

Datos técnicos del panel solar seleccionado (ver ficha técnica detallada de fabricante en anexo).

Tabla XV. **Ficha básica de datos de fabricante del panel solar seleccionado**

Panel seleccionado: Max power CS6X-300 (Canadian Solar)	
Potencia Nominal Pmax (w)	300
Voltaje óptimo de operación Vmp (volts)	36,1
Corriente óptima de operación Imp (amp)	8,3
Voltaje a circuito abierto Voc (Volts)	44,6
Corriente de cortocircuito Isc (amp)	8,87
Voltaje máximo del sistema (volts)	1 000
Eficiencia del módulo %	15,63
Dimensiones en mm	1 954x982x40
Área de panel en m ²	1,92
Peso en kg (lbs)	22 (48,5)

Fuente: elaboración propia.

Es un panel de 300 watts de potencia nominal, sobre este parámetro y la potencia real a proveer por día, se determinará la cantidad de paneles solares que podrían suplir la necesidad de energía. Opera con un voltaje máximo de 36,1 voltios, aunque para el diseño se debe tomar el voltaje a circuito abierto Voc=44,6 volts, este dato es importante para seleccionar el tipo, tamaño y cantidad de inversores que se verá más adelante. El área que ocupa cada

panel, 1,92 mts², ayudará a tener una idea del área necesaria que se tendrá que disponer para instalar el conjunto de paneles solares según la topología que se decida.

3.5.1. Características principales del GFV

Para obtener los parámetros iniciales de diseño es necesario empezar haciendo los cálculos entre potencia suministrada por el panel, consumo en kWh real y área disponible, teniendo lo siguiente: (ver tabla XVI)

Tabla XVI. **Dimensionado y área necesaria**

DIMENSIONADO PANELES SOLARES Y ÁREA	
Potencia promedio/día (Wh/día)	170 727,27 *1
Potencia Nominal Panel W	300,00 *2
Horas promedio de radiación solar efectiva	5,00 *3
Potencia promedio a generar/día	34 145,45 *4
Número de paneles solares estimado	113,82 *5
Metros cuadrados efectivos de paneles solares	218,40 *6
ÁREA MÍNIMA REQUERIDA (m ²) (x 60 % área paneles)	349,44 *7
ÁREA DISPONIBLE ASIGNADA EN Cunoroc (m ²)	626,9 *8

Fuente: elaboración propia.

Siendo:

- *1) La potencia real consumida en Watts/día, dato proporcionado en tabla 12. , como 171 kW/día. Datos reales de facturación Energuate.
- *2) Por datos del fabricante esta es la potencia nominal de diseño para operación.

- *3) Para el área de Huehuetenango y específicamente el Cunoroc, se tiene un promedio de radiación diaria de 5 horas. Estimándose entre las 10:00 am y 3:00 pm, como rango aceptable.
- *4) Es el resultante de dividir la potencia real consumida por día entre las 5 horas de radiación promedio diarias.

$$170,721 \text{ kW/día} / 5 \text{ horas} = 34,14 \text{ kWh a generar por día}$$

- *5) Este dato es el resultante de dividir "la potencia a generar por día entre la potencia nominal por cada panel". Resultando la cantidad de paneles del sistema proyectado. Este dato se debe ajustar para crear la configuración y/o topología necesaria para balancear el sistema y que los inversores diseñados tengan un aporte homogéneo.

$$\text{Así: } 34,14 \text{ kWh} / 300 \text{ w} = 114 \text{ paneles solares aprox.}$$

- *6) Como se tienen las dimensiones (ancho x alto) de cada panel y la cantidad de paneles resultantes de diseño, esto se multiplica para tener el área que ocuparían las celdas.

$$\text{Área total mínima a disponer} = 114 \text{ paneles} \times 1,92 \text{ mts}^2 = 218 \text{ mts}^2$$

- *7) Por espaciamientos entre celdas o filas según su ordenamiento, por efecto de sombras entre filas de paneles, es necesario tener un área mínima de diseño, el cual se toma que debe ser del 60 % mayor que el área total mínima que ocupan los paneles (criterio propio). En el presente caso, por el área dispuesta y para usos varios del suelo, se ha dispuesto una separación de 2 metros entre grupos de paneles. Se dejará a discreción del Cunoroc, el uso del área debajo de cada grupo de paneles solares.

*8) Es el área que se tiene disponible para montar, ordenar o emplazar el conjunto de paneles solares resultantes del diseño.

3.5.2. Paneles solares

Para el diseño se ha seleccionado el panel solar marca Canadian Solar, modelo Max Power CS6X-300, el cual cumple con las condiciones de diseño requeridas, sus parámetros más importantes están dados en la tabla XIV y la hoja de datos del fabricante en el anexo.

3.5.3. Estructura de soporte y fijación en las áreas dispuestas

La función principal de la estructura soporte será la de servir de soporte y fijación segura de los módulos fotovoltaicos, proporcionándoles la inclinación y orientación óptimas, con objetivo de maximizar la generación de energía eléctrica.

La estructura soporte empleada en el presente proyecto será del fabricante local, Estructuras Metálicas (TEMI) de amplia experiencia. Además, los costos se reducirán debido a que no debe contratarse empresa externa al departamento de Huehuetenango.

Dicho modelo de estructura ha sido diseñada (ver Plano Estructura de Soporte de cada Grupo y Detalle Base del Montaje del Inversor en anexo) como sistema universal para montaje sobre cubierta plana. Los componentes del mismo están preensamblados permiten una rápida y fácil instalación, tanto de la estructura como de los módulos fotovoltaicos. Al disponer este tipo de estructura con la inclinación de 15° (dicha inclinación viene dada por la fórmula $\alpha = 3,7 + 0,69 \times \text{latitud}$, en el presente caso el Cunoroc se encuentra a latitud 15°

18'33", 15,3091. Al aplicarla se tiene un ángulo de inclinación $\alpha = 14,26^\circ$, por criterio propio se decide dejar el ángulo en 15° , como la más conveniente), se tendrá una ventilación natural de la parte posterior de los módulos fotovoltaicos, de manera que se mejora así las condiciones de trabajo de los mismos.

Todos los componentes de la estructura han sido fabricados en aluminio y acero inoxidable, con el objetivo de lograr una alta vida útil y una elevada resistencia a la corrosión, minimizando o haciendo prácticamente nulo el mantenimiento de la misma y de una gran resistencia frente a las acciones de agentes ambientales.

Las principales características del mismo son las siguientes:

Ubicación cubierta plana o suelo

Cargas máximas admitidas 1,900 Pa por cada 2,5 m² de superficie de módulos por triángulo

Módulos fotovoltaicos con y sin marco

Disposición de los módulos en serie (hasta 12 m por estructura)

Orientación de los módulos, vertical y horizontal ángulo 15° , 20° , 25° , 30°

Distancia del borde inferior del módulo al suelo de 8 a 10 cm

Normas/Certificaciones DIN 1055

Diseño de estructuras en aluminio, tipo de perfiles aluminio extruido (EN AW 6063 T66, EN AW 6060 T6)

Tornillería acero inoxidable (V2A)

3.5.4. Inversor y topología del GFV

Para el proyecto he seleccionado el inversor marca Goodwe de la serie PV 1,5-500 kW, modelo GW4600-SS, siendo su ficha de datos general:

Tabla XVII. **Ficha técnica básica de inversores a utilizar**

DETERMINACIÓN DE INVERSORES:			
Inversor Marca Goodwe 1.5-500 kw Series			
SS Series (Single MPPT, Single-Phase)			
Modelo GW4000-SS			
Potencia Máxima DC (W)		4 600	
Voltaje Máximo DC (V)		580	
MPPT rango de voltaje (V)		125-550	
Voltaje de Arranque (V)		125	
Corriente Máxima en DC (A)		220	
Potencia Nominal AC(W)		4 000	
Potencia Máxima AC(W)		4 200	
Corriente Máxima en AC (A)		22	
Salida Nominal en AC		50/60Hz;230Vac	
Rango de Salida en AC		45-55Hz/55-65Hz; 180-270 Vac	
Eficiencia Máxima		98%	
Adaptación de Eficiencia con MPPT		99,50%	
Dimensiones (wxhxd) mm		390*417*142	
Peso (kg)		18	

Fuente: elaboración propia.

El inversor indicado se selecciona en función a la topología o distribución de paneles solares, así como del voltaje que puede manejar dicho inversor. Por ello en su topología se conforman 5 grupos de 26 paneles cada uno (2 cadenas de 13 paneles). Agrupando en cada grupo dos filas de 13 paneles, los cuales se organizan en dos subgrupos de 7 y 6 paneles conectados en serie cada uno.

Con esta conformación y con la facilidad que da el inversor de tener dos pares de entradas en DC y el rango de voltaje de operación, se conforman las conexiones correspondientes. Ver diagrama de conexiones en anexo.

Como parámetros importantes del inversor se tiene que la potencia de entrada tiene un rango de hasta 4 600 watts en DC, o sea, la potencia generada por el conjunto de paneles solares conectados a este no podría superar dicha cantidad.

Además, otro dato importante también es el rango de voltaje de operación en DC que dicho inversor podría recibir de los paneles solares, en este caso este es de 580 volts. Como se verá más adelante la conformación o topología del generador fotovoltaico, se diseñó de tal forma que el voltaje de entrada está en el rango medio aceptable.

También se tiene que el voltaje de arranque es de 125 voltios. Esto quiere decir que si el conjunto de paneles solares conectados al inversor no llega a generar en DC el voltaje mínimo de arranque, este no se activará y por lo tanto no inyectará a la red. Esto se da normalmente cuando las condiciones de radiación son severas, entiéndase como los amaneceres o atardeceres, o también los días muy nublados o de abundante lluvia. Las sombras accidentales podrían también sacar de servicio al inversor.

Hay un dato importante de diseño, que también define el criterio a seguir para seleccionar la cantidad final de paneles solares a instalar y es la eficiencia del inversor, para este tipo de inversor esta es de 97,80 %. Parámetro que se aplicará en el punto siguiente.

Con los paneles solares e inversores seleccionados se tiene la siguiente topología o distribución del generador solar en el área dispuesta.

Tabla XVIII. **Topología o conformación generador fotovoltaico**

TOPOLOGÍA			Total Paneles
Filas en serie de 6 paneles		9	54
Filas en serie de 7 paneles		9	63
Voltaje CC total por filas 7 paneles		267,6	117
Voltaje CC total por filas 8 paneles		312,2	
Grupos de 2x13 paneles (incluyendo 1x13)		5	
Páneles estimados de diseño		117	
Potencia total por fila (w) de 7 paneles		1,8	
Potencia total por fila (w) de 8 paneles		2,1	
Potencia total a manejar c/inversor		3,9	
Potencia total x inversor x día (wh/día)		19,5	
Potencia total x inversor x mes (wh/mes)		585	
Potencia total sistema kwh/mes		5 265	
Potencia total sistema kwh/día		175,5	

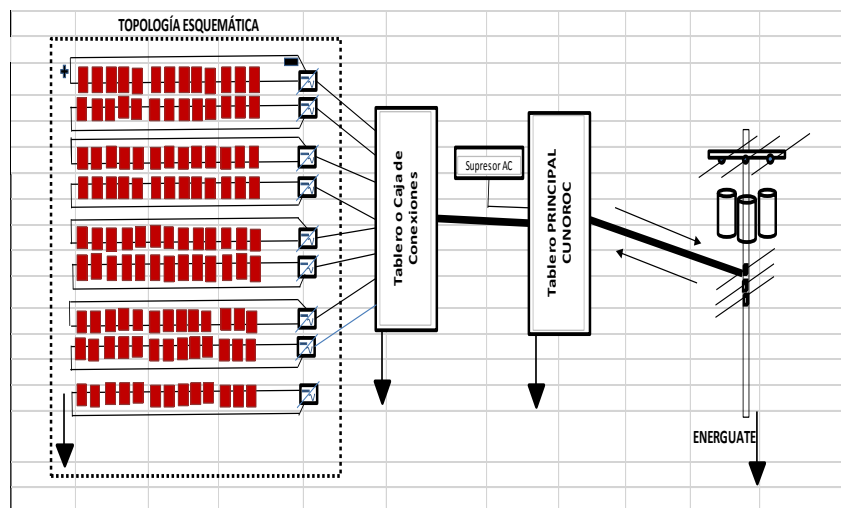
Fuente: elaboración propia.

Se determina utilizar 117 paneles y 9 inversores utilizando los criterios siguientes:

- Un solo inversor del modelo seleccionado no puede operar con 13 paneles solares, debido a que supera el voltaje máximo DC que es de 580 volts. Por ello se conforman en conectar 7 paneles (312,2 volts DC) y 6 paneles (267,6 volts DC) a un mismo inversor, ya que este tiene la ventaja de que internamente hace la conexión en paralelo de cada subgrupo no afectando el parámetro de entrada al inversor.

- Se tiene que por cálculos de carga real, carga a generar por día y potencia de generación de cada panel (300 W) un total de 113,8 o 114 paneles solares. Esta cantidad nos da una topología no conveniente, ya que se pretende tener una reparto equitativo de generación-conversión, si además se aplica que la eficiencia del inversor es del 97,8 %, esto da un margen para ajustar la cantidad final de paneles solares.
 - $114 \text{ paneles} \times 3 \% \text{ (ajuste por eficiencia de inversor)} = 3,42$ paneles de más,
 - Lo aproximamos a 3, siendo en total 117 paneles solares, quedando las cadenas seriales exactamente iguales, el voltaje de salida en los inversores será el mismo y no se tendrán problemas a la hora de hacer la interconexión por diferencias de potencia inyectado a la red.

Figura 26. **Topología esquemática**



Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Illustrator.

3.5.5. Sistema de cableado, conexiones y ductería

La selección e instalación apropiadas de los conductores en un sistema eléctrico evitan riesgos de cortocircuito y fallas a tierra; con ello se reduce la probabilidad de formación de arcos eléctricos y en consecuencia de incendios. Los métodos de cableado y la selección apropiada de los conductores son importantes para la seguridad de una instalación FV, la durabilidad y la facilidad del mantenimiento.

3.5.5.1. Cableado de corriente continua (CC)

Los cables de la parte de continua, serán cables diseñados para condiciones severas y de larga duración (superiores a 25 años), adecuados para equipos de aislamiento clase II, resistentes a temperaturas extremas (entre -40 °C y +90 °C) como a la intemperie y diseñados para una temperatura máxima en el conductor de 120 °C. Serán de alta seguridad (AS), es decir, no propagadores de llama, ni fuego y de baja emisión de humos y gases corrosivos.

Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos elevados. Concretamente, para cualquier condición de trabajo, los conductores deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior del 1,5 % en toda la parte de corriente continua de la instalación.

La tensión asignada de los cables serán 1,8 kV D.C. (conductor - conductor, sin puesta a tierra, circuito sin carga).

Los cables a emplear serán del fabricante General Cable o similar, en concreto los denominados comercialmente como Exzhellent Solar. Así, los tipos empleados serán:

- Conexión entre los módulos fotovoltaicos y estos con las cajas de conexiones de CC: se empleará el cable designado ZZ-F (AS) 1,8 kV DC. Dichos conductores se componen de:

Conductor de cobre estañado clase 5 para servicio móvil (-F)

Aislamiento de elastómero termoestable libre de halógenos (Z)

Cubierta de elastómero termoestable libre de halógenos (Z)

Norma: AENOR EA 0038 ; TÜV 2 Pfg 1169/08.2007

Sección nominal empleada: 4 mm²

Tipo Montaje: superficial sobre estructura solar y en bandeja tipo rejilla

Estos cables vienen incorporados en cada uno de los paneles, como se muestra a continuación:

Figura 27. **Parte posterior panel solar 300 w mostrando caja de conexiones y cables de corriente continua**



Fuente: Bodegas Sistemas Solares S. A.

- Conexionado entre cajas de conexiones (corriente continua) e inversor: se empleará el cable designado XZ1FA3Z-K (AS) 1,8 kV DC. Dichos conductores se componen de:

Conductor de cobre clase 5 para servicio fijo (-K)

Aislamiento de polietileno reticulado XLPE (X)

Asiento de armadura de poliolefina libre de halógenos (Z1)

Armadura de fleje corrugado de AL (FA3).

Cubierta de elastómero termoestable libre de halógenos (Z)

Norma: AENOR EA 0038

Sección nominal empleada: 50 mm²

En la parte de continua se utilizará el siguiente código de colores:

- Polo positivo: de color rojo
- Polo negativo: de color negro
- Protección: amarillo-verde

3.5.5.2. Cableado corriente alterna (CA)

Para la elección del cableado de la parte de corriente alterna (CA) se tomará en cuenta la distancia, corriente y voltaje que tendrá en la salida del tablero o caja de conexiones.

Distancia de tablero de conexiones a tablero principal: 123 metros

Voltaje trifásico: 120/208v

Corriente máxima : 100 amp

El cableado por las características encontradas, se diseñó que fuera de forma subterránea, por lo que según la (National Electrical Code) (NEC) (Código Eléctrico Nacional, por sus siglas en inglés) determina que debe usarse para sistemas subterráneos cable THHN, RHH <NEC [690-31, Capítulo 3>, según el diseño, se ha seleccionado el conductor THHN No. 6 para cada fase y cable THHN núm. 4 para neutro. Este conductor tiene una ampacidad de 75 amperios a una temperatura de 90 °C. Este se dispondrá en forma subterránea en la canalización respectiva.

3.5.5.3. Conexiones

Para interconectar los paneles con la topología propuesta, se diseña el uso de conectores tipo Cable Coupler CB40-C**M, de la marca Slocable, referencia de catálogo; <http://www.slo-cable.com>, ver ficha en anexo. Estos conectores son del tipo hembra-macho que facilitan la interconexión en serie de

paneles solares, según lo dispuesto en el diseño y mostrado en el diagrama Conexiones Paneles/Inversores. Además, se acoplan perfectamente a las entradas CC de cada uno de los inversores.

Las conexiones del generador solar están de tal manera acondicionadas, que no se tiene longitudes más allá que el cable que dispone cada una de los paneles solares, 0,90 metros, además cada inversor se ubica en la parte inferior de la estructura de soporte principal, montado convenientemente de tal manera que también no se necesita cable o conexiones adicionales. Ver detalle en plano Ubicación Paneles Solares e Inversores en anexo.

3.5.5.4. Ductería

Se diseñó para conducir los cables de corriente alterna desde el tablero de conexiones hacia el tablero principal de un sistema de tubería PVC 125 psi, 2 pulgadas de diámetro, que albergará 4 conductores. Además, por la longitud considerable existente (123 metros) se contempló hacer cajas de registro de concreto tipo CIFA, de 0,60x0,60x0,60 metros. 6 unidades. Ver detalle de distribución en plano Diagrama Ubicación Planta y Canalización en anexo.

3.6. Protecciones y tierras físicas

Se deben conectar a tierra todas las partes metálicas que no están designadas para conducir corriente eléctrica; como son marcos de módulos, gabinetes metálicos y estructuras metálicas en general. La puesta a tierra de los equipos es una medida de protección a las personas; mantiene todas las partes metálicas que normalmente no están energizadas al potencial de tierra; aún en caso de que entren accidentalmente en contacto con algún circuito vivo. Con

ello se evitan descargas eléctricas a las personas que puedan tener contacto con dichas partes.

3.6.1. Protecciones CA y CD

Para proporcionar seguridad tanto a los equipos que forman la instalación solar fotovoltaica como al personal encargado de su mantenimiento y correcta operación, es necesario instalar una serie de elementos de protección que aseguren una explotación correcta de la instalación.

Al igual que para el cálculo del cableado de la instalación, el cálculo de las protecciones se realizará independientemente para cada uno de los circuitos que forman la instalación, diferenciando entre tramos de corriente continua y de corriente alterna, ya que las protecciones deberán ser distintas para cada tramo dependiendo la naturaleza de corriente continua o alterna del tramo y al valor de corriente admisible de los conductores.

Aunque los fusibles e interruptores para corriente continua son diferentes a los de corriente alterna, su cálculo es similar; según la Norma ITC-BT-22 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

Un dispositivo protege contra sobrecargas a un conductor si se verifican las siguientes condiciones:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$
$$I_C \leq 1,45 * I_Z$$

Donde:

I_B es la corriente de empleo o de utilización.

I_N es la corriente nominal del dispositivo de protección.

I_z es la corriente máxima admisible por el elemento a proteger.

I_c es la corriente convencional de funcionamiento del dispositivo de protección (fusión de los fusibles y disparo de los interruptores automáticos).

En la protección por magnetotérmico normalizado se cumple siempre la segunda condición porque $I_c = 1,45 \cdot I_N$, por lo que solo se debe verificar la primera condición.

En la protección por fusible tipo gG (es un fusible limitador de la corriente, se usan en la protección de circuitos sin picos de corriente importantes. Por ejemplo: circuitos de alumbrado, calefacción, entre otros) Se cumple que $I_c = 1,6 \cdot I_N$ por lo que deben verificarse las dos condiciones de la norma.

El cálculo de protecciones se realizará dividiendo la instalación en dos grupos, uno de corriente continua y otro de corriente alterna, cada grupo será a su vez dividido en los diferentes tramos de cableado que forma la instalación solar fotovoltaica:

3.6.1.1. Protecciones de corriente continua (CC o CD)

La interrupción de corrientes presenta mayores problemas con redes en corriente continua que en corriente alterna. En la corriente alterna existe un paso natural de la corriente por el cero en cada semiperíodo, al cual corresponde un apagado espontáneo del arco que se forma cuando se abre el circuito. En la corriente continua esto no sucede y para extinguir el arco, es preciso que la corriente disminuya hasta anularse. Es necesario que la interrupción se realice gradualmente, sin bruscas anulaciones de la corriente que darían lugar a elevadas sobretensiones.

Módulos solares → Caja de conexión de grupo

Este tramo estará protegido por los siguientes elementos:

- Fusibles:

Protegerán contra las sobre intensidades a cada uno de los ramales del generador fotovoltaico, provocando la apertura del circuito en caso de producirse una corriente superior a la admisible por los equipos o conductores de la instalación. Cada ramal poseerá dos fusibles (figura 28) de idénticas características eléctricas, uno para el conductor de polaridad positiva y otro para el de polaridad negativa.

Figura 28. **Fusible de corriente continua y símbolo normalizado**



Fuente: Fusibles DF ELECTRIC para aplicaciones fotovoltaicas.

La sección del conductor en este tramo de la instalación es de 1,5 mm², por lo que los parámetros a utilizar para el dimensionado de los fusibles serán:

$$I_B = I_{mpp_módulo} = 8,22 \text{ A}$$

$$I_z = I_{MAX-admisible} = 15 \text{ A}$$

En la actualidad todos los paneles solares de alta calidad traen los fusibles de protección incluidos en la caja de conexiones individual.

Por tanto, para que se cumpla la condición, como mínimo la corriente nominal del fusible será:

$$\begin{aligned}I_B &\leq I_N \leq I_Z \\8,22 \text{ A} &\leq I_N \leq 15 \text{ A} \\I_N &= 10 \text{ A}\end{aligned}$$

A continuación se calculará la corriente convencional de fusión de este fusible comprobándose si la dimensión de los fusibles es la correcta o por el contrario debe buscarse un valor mayor que cumpla $I_c \leq 1,45 * I_Z$:

$$\begin{aligned}I_c &= 1,6 * I_N = 1,6 * 10 = 16 \text{ A} \\I_c &\leq 1,45 * I_Z \rightarrow 16 \text{ A} \leq 1,45 * 15 \text{ A} \rightarrow 16 \text{ A} \leq 21,75 \text{ A}\end{aligned}$$

Por consiguiente, se utilizarán fusibles de 10A en cada ramal de paneles conectados en serie del generador solar fotovoltaico.

3.6.1.2. Protecciones de corriente alterna

Las protecciones de corriente alterna estarán ubicadas aguas abajo del inversor, para la protección de los circuitos y de la conexión a red de la instalación, una vez sea convertida la corriente continua proveniente de los módulos solares a corriente alterna para la inyección a la red.

Las protecciones de corriente alterna se diseñarán para la protección del último tramo del circuito:

Para el presente caso se ha dispuesto la topología para tener un circuito trifásico, conectando entre sí tres grupos de inversores para conformar en delta el voltaje de red (se hace la observación que la salida en corriente alterna de los inversores se adecua o ajusta al voltaje de la red externa), de tal manera que la configuración no entre en conflicto.

Inversor → Red de baja tensión

El sistema de protecciones de este último tramo deberá acogerse a la normativa sobre la conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión del artículo 11 del R.D.1663/2000 (<https://www.boe.es/boe/dias/2000/09/30/pdfs/A33511-33515.pdf>) y además, tener en cuenta los requisitos de conexión de la empresa propietaria de la distribución de energía eléctrica en el punto de conexión a red de la instalación fotovoltaica, en este caso Energuate.

El voltaje en baja tensión suministrado es de 120/208 V.

- Interruptor vigilante de tensión y frecuencia

Protección para la interconexión de máxima y mínima frecuencia (61Hz y 59Hz respectivamente) y de máxima y mínima tensión (1,1 y 0,85 Um, respectivamente). Este interruptor viene incorporado en el inversor propuesto.

- Interruptor magnetotérmico

Será el interruptor general manual, con intensidad de cortocircuito superior a la indicada por la empresa distribuidora en el punto de conexión. Este interruptor será accesible a la empresa distribuidora en

todo momento, con el objetivo de poder realizar la desconexión manual. Este estará ubicado en el tablero principal de protección principal y será de 3x100 amp.

- Interruptor de la interconexión

Es el Interruptor Frontera, y su función será la desconexión – conexión de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia de la red, junto a un relé de enclavamiento. Este interruptor es parte de la configuración del inversor.

- Puesta a tierra:

La puesta a tierra de las instalaciones fotovoltaicas interconectadas, se hará siempre de forma que no se alteren las condiciones de puesta a tierra de la red de la empresa distribuidora, asegurando que no se produzcan transferencias de defectos a la red de distribución.

La instalación deberá disponer de una separación galvánica entre la red de distribución de baja tensión y las instalaciones fotovoltaicas, bien sea por medio de un transformador de aislamiento o cualquier otro medio que cumpla las mismas funciones.

Ahora bien, según la normativa, el equipo inversor utilizado en la instalación puede incorporar alguna de estas protecciones, si es así, según el R.D.1663/2000, solo se precisará disponer adicionalmente de las protecciones general manual e interruptor automático diferencial. El inversor seleccionado para esta instalación, incorpora las funciones de protección de máxima y mínima tensión y de máxima y mínima frecuencia. Además, este inversor posee separación galvánica entre la

red de distribución de baja tensión y las instalaciones fotovoltaicas exigida por la normativa.

Por consiguiente, las protecciones que se instalarán en este tramo son: un interruptor magnetotérmico (interruptor general manual) y un interruptor automático diferencial, además de la condición de Energuate de incorporar un fusible en la interconexión ya que su actuación es más rápida que la de los magnetotérmicos.

Además de las condiciones estándar que deben cumplir todos los interruptores de este tipo, el magnetotérmico utilizado en este último tramo debe tener una capacidad de corte igual o superior a la intensidad de cortocircuito, que como norma la define la empresa distribuidora, para este caso, los requisitos de conexión de Energuate señalan que la intensidad de cortocircuito que puede producirse en un punto de conexión a su red es de 6kA, por tanto este interruptor magnetotérmico deberá tener una capacidad de corte de al menos este valor.

3.6.2. Sistema de tierra física

El concepto tierra física, se aplica directamente a un tercer cable, alambre, conductor, y va conectado a la tierra propiamente dicha, o sea al suelo, este se conecta en el tercer conector en los tomacorrientes, a estos tomacorrientes se les llama polarizados.

3.6.2.1. Puesta a tierra de la instalación fotovoltaica conectada a red

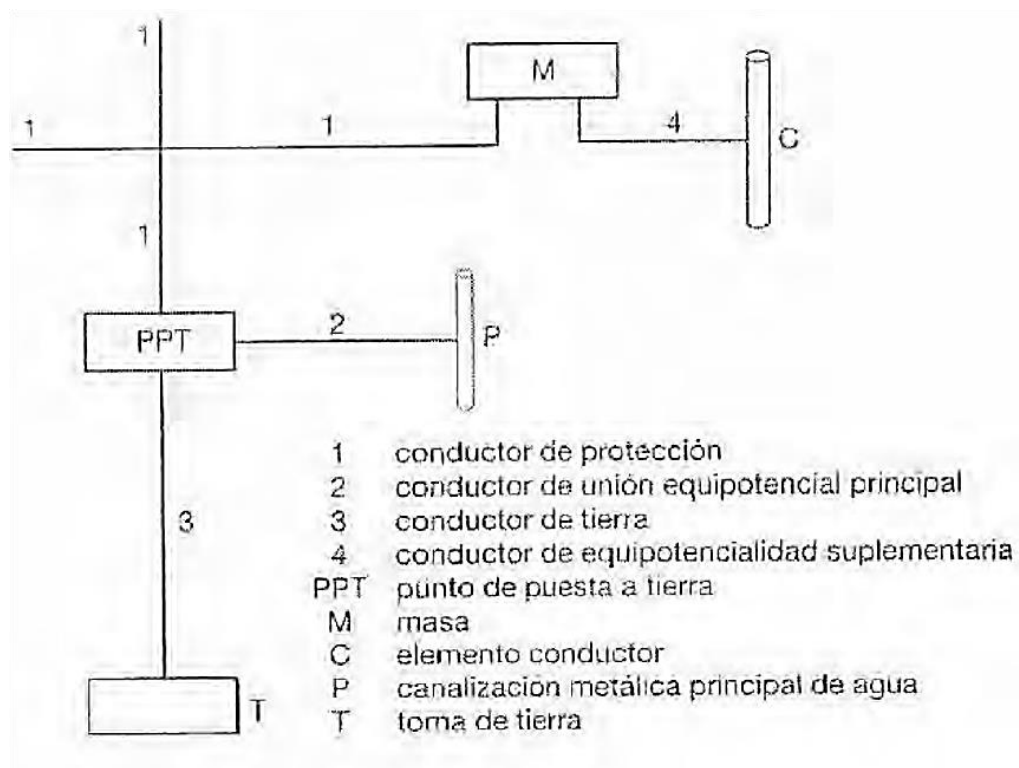
Para la protección de la propia instalación y de los posibles operarios encargados del mantenimiento de la misma, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece que deben conectarse correctamente todas las masas metálicas de una instalación con tierra, con el objetivo de conseguir que el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima al terreno no aparezcan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de la corriente de defecto o las descargas de origen atmosférico. Según la Norma ITC-BT-18 “Instalaciones de puesta a tierra”, del Reglamento Electrotécnico de baja tensión, la puesta a tierra de una instalación está compuesta por (ver figura 29).

Tomas a tierra: son electrodos formados por barras, tubos pletinas o mallas que están en contacto directo con el terreno donde se drenará la corriente de fuga que se pueda producir en algún momento, estas tomas a tierra deberán ser de materiales específicos y estarán enterrados a una profundidad adecuada para las características de la instalación a proteger.

- Conductores de tierra: son los conductores que unen el electrodo de la puesta a tierra de la instalación con el borne principal de la puesta a tierra.
- Bornes de puesta a tierra: son la unión de todos los conductores de protección de la instalación que provienen de los diferentes elementos o masas a proteger.

- Conductores de protección: sirven para unir eléctricamente las masas de una instalación a ciertos elementos, con el fin de asegurar la protección contra contactos indirectos. Unirán las masas al borne de puesta a tierra y con ello al conductor de tierra.

Figura 29. **Esquema instalación puesta a tierra**



*Partes típicas de una instalación de puesta a tierra.

Fuente: Reglamento electrotécnico de baja tensión ITC BT – 18. *Instalaciones de puesta a tierra*. p. 88.

Según la Norma ITC–BT–18 del REBT (Reglamento Eléctrico de Baja Tensión), los conductores de protección deberán ser del mismo material que los conductores activos utilizados en la instalación, en este caso serán de cobre e irán alojados en la canalización utilizada para los conductores activos de la

instalación. La sección de los conductores de protección viene dada por la tabla XIX.

Tabla XIX. **Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase**

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p (mm²)
S ≤ 16	S _p = S
16 < S ≤ 35	S _p = 16
S > 35	S _p = S/2

Fuente: Reglamento electrotécnico de baja tensión ITC BT – 18. *Instalaciones de puesta a tierra.* p. 88.

Por tanto, los conductores de protección tendrán diferente sección dependiendo del tramo de cableado donde se encuentren:

- Módulos solares → Caja de conexión de grupo
S_{CONDUCTORES DE FASE} = 1,5 mm² → S_{CONDUCTOR DE PROTECCION} = 1,5 mm²
- Caja de conexión de grupo → Caja de conexión del generador fotovoltaico.
S_{CONDUCTORES DE FASE} = 1,5 mm² → S_{CONDUCTOR DE PROTECCION} = 1,5 mm²
- Caja de conexión del generador fotovoltaico → Inversor
S_{CONDUCTORES DE FASE} = 6 mm² → S_{CONDUCTOR DE PROTECCION} = 6 mm²
Inversor → Red de baja tensión.

S_{CONDUCTORES DE FASE} = 6 mm² → S_{CONDUCTOR DE PROTECCION} = 6 mm²

En el anexo se puede ver el detalle del sistema de tierra física del generador fotovoltaico. Siendo este compuesto de anillos cerrados de electrodos-cables y estructura metálica.

3.7. Marco legal

Para la interconexión a la red de un generador fotovoltaico se establecieron normas legales para su operación dentro de las redes de distribución existentes. Estas están estipuladas en la Ley General de Electricidad, correspondiendo a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica emitir las normas y velar el libre acceso y uso a las redes de distribución.

3.7.1. Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía (NTGDR)

Según resolución CNEE-227-2014, de fecha 25 de agosto de 2014, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), actualiza la normativa indicando que el reglamento de la Ley General de Electricidad, en su artículo 16bis, establece que los distribuidores están obligados a permitir la conexión a sus instalaciones y efectuar las modificaciones o ampliaciones necesarias para permitir el funcionamiento del Generador Distribuido Renovable y que para el efecto, la Comisión, emitirá las disposiciones generales y la normativa para regular las condiciones de conexión, operación, control y comercialización de la Generación Distribuida Renovable, de conformidad con la Ley General de Electricidad y su Reglamento.

Que derivado del tiempo transcurrido desde la emisión de la Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable (NTGDR) y usuarios autoprodutores con

excedentes de energía, es necesario adaptar las disposiciones generales contenidas en ella a la actualidad, con la finalidad de facilitar el acceso al Sistema Eléctrico Nacional a través de fuentes energéticas renovables, en atención a su tamaño, ubicación física, infraestructura eléctrica de las empresas de distribución, así como por el nivel de tensión al cual sea técnica y económicamente viable su conexión.

Y según la norma establecida para el efecto se tiene dos definiciones importantes:

- Generación distribuida renovable: es la modalidad de generación de electricidad, producida por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables, que se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a cinco megavatios (5 MW).
- Generador distribuido renovable: es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que utiliza recursos energéticos renovables y participa en la actividad de Generación Distribuida Renovable. Estos serán considerados como Participantes del Mercado Mayorista.
- Para el caso que nos compete, el proyecto denominado: diseño de un generador fotovoltaico para el Centro Universitario de Noroccidente – Cunoroc-, Universidad de San Carlos de Guatemala, bajo la normativa de generación distribuida, es afecto a los beneficios y reglamentos que en tal norma se establecen.

Quedando explícitamente establecido en la norma, las tecnologías con recursos renovables que entran en el ámbito de su reglamentación, siendo estas:

- Biomasa: energía derivada de cualquier tipo de materia orgánica y biodegradable, de origen vegetal o animal, que puede usarse directamente como combustible o ser convertida en otras fuentes energéticas antes de la combustión, incluye biogás.
- Eólica: energía producida por el viento.
- Geotérmica: energía producida por medio del calor natural de la tierra, que puede extraerse del vapor, agua, gases, excluidos los hidrocarburos, o a través de fluidos inyectados artificialmente para este fin.
- Hidráulica: energía producida por el agua.
- Solar: energía obtenida de la radiación solar.
- Otras: las que determine posteriormente el Ministerio de Energía y Minas.

4. MEDIDORES O CONTADORES BIDIRECCIONALES, ANÁLISIS ENERGÉTICO

En las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red, es necesario un contador “tipo bidireccional” a la salida/entrada de la acometida eléctrica, medirá la energía inyectada a la red y marcará la frontera entre el sistema y la red de distribución, además medirá el consumo. El sistema está diseñado para inyectar toda la energía producida a la red de distribución de Energuate en baja tensión. Siempre y cuando la relación consumo – generación sea menor a 1, o sea cuando se tenga un consumo menor a la generación, esta diferencia será inyectada a la red.

El contador deberá medir entonces la energía entregada a la red, producida por la instalación fotovoltaica. Los medidores bidireccionales son proveídos por la empresa Energuate, especiales para instalaciones fotovoltaicas. No solo cumple la función de contador de energía, también cumple la función de dispensador de energía eléctrica para el control de la demanda, esto permite al usuario la gestión inteligente de la energía disponible en redes cuya generación es limitada tales como las realizadas sistemas fotovoltaicos. También incluye un “interruptor general” que actúa como control de máxima potencia y de máxima demanda, además de un interruptor auxiliar que puede ser utilizado para la conexión o desconexión de consumos no esenciales.

4.1. Análisis energético

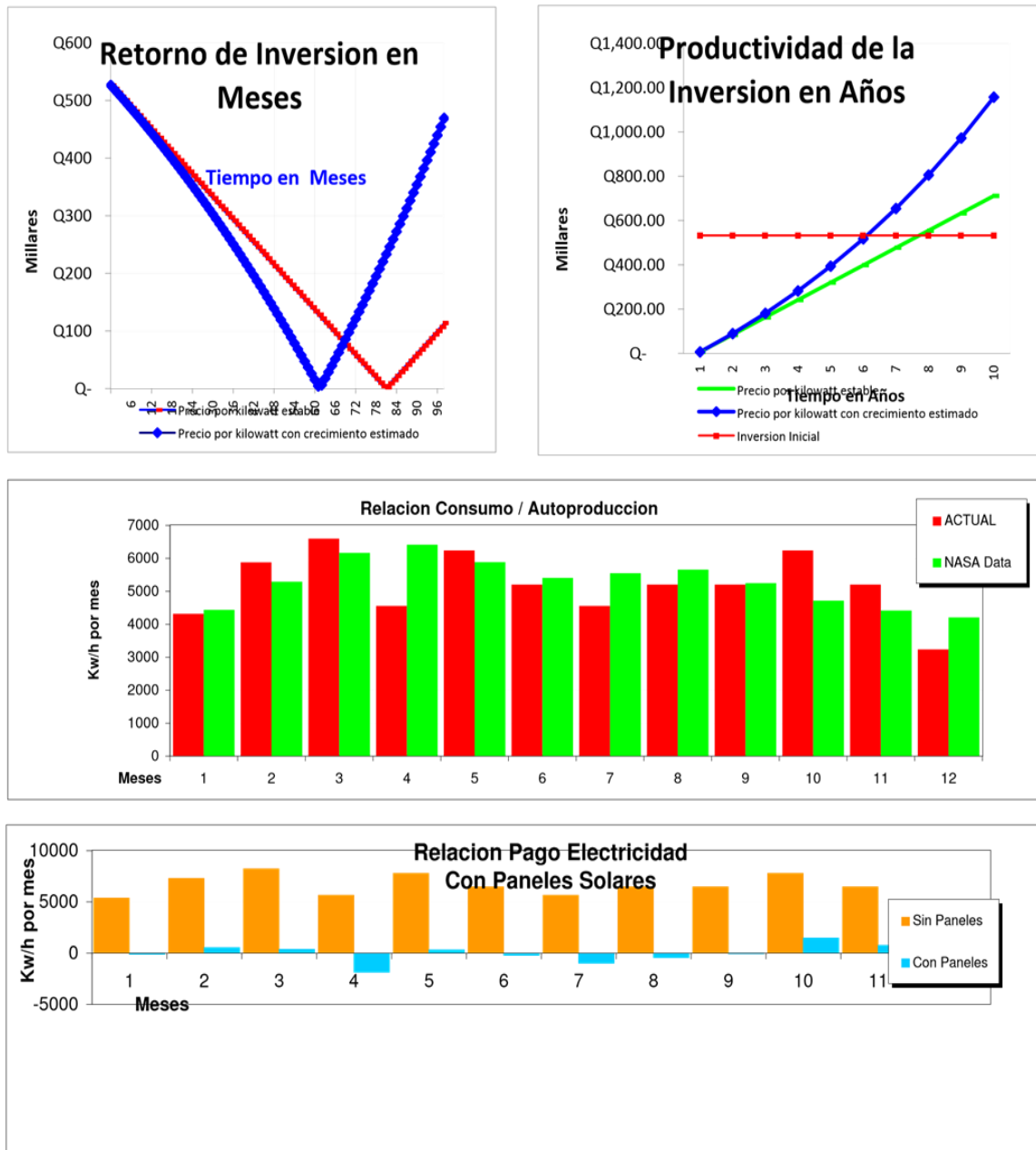
De acuerdo a información recabada y al diseño propuesto, se tiene una necesidad promedio de generación a proveer un promedio de 5,122 Kwh por mes. El equivalente a un 100 % de la energía promedio consumida.

El servicio de comparecer ante Energuate para la gestión por de "cambio de contador" por uno "bidireccional" es parte del proyecto. La empresa Energuate está obligada a hacer el cambio del contador.

Por tendencia el valor de la energía eléctrica ha variado a razón de duplicarse cada siete años en promedio. Si el precio de energía eléctrica no varía de ahora en adelante, el retorno de inversión es de 81 meses. Al considerar la tendencia de incremento de valor por kilowatt/hora, el retorno de inversión es de 60 meses. De darse el caso que la energía eléctrica no modifica su valor de ahora en adelante, la inversión inicial se transforma en 25 años en un aproximado de Q 2 812 416,00. Básicamente una rentabilidad del 500 % en 25 años. Pero considerando el incremento histórico y probable, la inversión inicial se transformaría en Q 8 437 248,00, un incremento de alrededor del 1500% en 25 años. Los datos referenciales son sacados de la información histórica que proporciona la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).

En los diagramas mostrados a continuación se puede tener una idea de tiempo de recuperación de inversión aproximado en 60 meses como el más cercano, tomando en cuenta un comportamiento del mercado eléctrico estable. Además, la productividad que se obtendría tomando en cuenta la calidad y tiempo de vida del equipo propuesto.

Figura 30. Análisis energético



Notas

Fuente: elaboración propia.

4.1.1. Presupuesto desglosado del diseño establecido

A continuación en la tabla XX, se describe el presupuesto para un diseño establecido.

Tabla XX. Listado de materiales y costo generador fv, Cunoroc

RENGLÓN DE TRABAJO/MATERIALES	UM	CANTIDAD	COSTO MATERIALES	TOTAL MATERIALES	UNITARIO MANO DE OBRA	TOTAL MANO DE OBRA	TOTAL RENGLO	OBSERVACIONES/REFERENCIAS
PANELES SOLARES Y ESTRUCTURA								
PANEL SOLAR 300W	U	117	Q 2 100,00	Q 245 700,00	Q 75,00	Q 8 775,00	Q 254 475,00	MAX POWER CS6X-300 (CANADIAN SOLAR)
Rieles de 4.20 mts longitud, aluminio anodizado	mt	250	Q 72,00	Q 18 000,00	Q 15,00	Q 3 750,00	Q 21 750,00	Catálogo NSP-R-4200, NSP Rail with a standard length of 4200mm Designed to mount 3 modules(width 990-996mm. < www.newsunpower.com>
Sujetadores finales, 50mm aluminio anodizado c/tornillo	u	32	Q 16,00	Q 512,00	Q 2,50	Q 80,00	Q 592,00	catálogo NSP-EC-F50 Newsunpower End Clamp Kit 50mm < www.newsunpower.com>
Sujetadores medios, 50mm aluminio anodizado, c/tornillo	u	224	Q 16,00	Q 3 584,00	Q 2,50	Q 560,00	Q 4 144,00	catálogo NSP-IC-F50 Newsunpower Inter Clamp Kit 50mm < www.newsunpower.com>
tornillo busca rosca galvanizados 1 1/2"	u	112	Q 2,00	Q 224,00	Q 1,50	Q 168,00	Q 392,00	mercado local
bridas o cinchos plásticos 15"	u	300	Q 1,50	Q 450,00	Q 1,00	Q 300,00	Q 750,00	mercado local
estructura metálica y bases concreto	U	27	Q 1 200,00	Q 32 400,00	Q 500,00	Q 13 500,00	Q 45 900,00	Proveedor o fabricante TEIMI (estructuras metálicas)
INVERSORES Y TABLERO DE CONEXIONES								
Inversor, marca Goodwe Modelo GW4200-SS	u	9	Q 18 000,00	Q 162 000,00	Q 800,00	Q 7 200,00	Q 169 200,00	Catálogo series 1.5-500kW, <www.goodwe.com.cn>
Cable tsj No. 3x10 awg	m	70	Q 8,00	Q 560,00	Q 10,00	Q 700,00	Q 1 260,00	mercado local
tablero centro de carga, barras 150 amp, trifásico 120/208V, neutro solido y neutro aislado.	u	1	Q 1 200,00	Q 1 200,00	Q 500,00	Q 500,00	Q 1 700,00	mercado local
flipones 3x20amp	u	4	Q 60,00	Q 240,00	Q 50,00	Q 200,00	Q 440,00	mercado local
cable thhn No. 2 fase	m	390	Q 32,50	Q 12 675,00	Q 10,00	Q 3 900,00	Q 16 575,00	mercado local
cable thhn No. 4 neutro	m	130	Q 18,50	Q 2 405,00	Q 10,00	Q 1 300,00	Q 3 705,00	mercado local
canalización y cajas de registro	glo	1	Q 4 500,00	Q 4 500,00	Q 1 500,00	Q 1 500,00	Q 6 000,00	mercado local
flipon 3x100 amp (en tablero principal)	u	1	Q 250,00	Q 250,00	Q 150,00	Q 150,00	Q 400,00	mercado local
sistema tierra fisica estructura paneles	glo	1	Q 4 500,00	Q 4 500,00	Q 1 500,00	Q 1 500,00	Q 6 000,00	mercado local
supresor de transientes 50kA trifásicos	u	1	Q 8 500,00	Q 8 500,00	Q 500,00	Q 500,00	Q 9 000,00	Mod WYE, 120/208V, marca APT, filial Guatemala
TOTAL PROYECTO FV							Q 542 283,00	

Fuente: elaboración propia.

El costo del generador solar asciende a quinientos cuarenta y dos mil doscientos ochenta y tres quetzales exactos (Q 542 283,00), incluye iva.

4.2. Observaciones adicionales

El costo de los paneles solares y los inversores fueron calculados a una tasa de cambio de \$1,00 x Q7,69, ya que estos deben ser importados. Si se tiene un pago promedio mensual de energía eléctrica a Energuate según la tabla de consumo real de Q 11 718,40 y el diseño se hace para cubrir el 100 % de la demanda, idealmente se obtendría un tiempo de recuperación de la inversión de 48 meses.

Pero como se indicó en el análisis energético existen variables en el tiempo que no son predecibles al 100 %, ejemplo, aumento en el precio del kilovatio hora, incremento de consumo eléctrico, fallas en el sistema y rendimiento del generador solar se reduce en un 20 % a los 10 años de su puesta en marcha. Además, se le deben dar expectativas reales al cliente de tal manera que a criterio propio le incrementamos un 25 % al tiempo máximo de recuperación, quedando este en 60 meses o 5 años. El sistema tiene una vida útil de 25 años en el peor de los casos. (300 meses de garantía y 240 meses de rentabilidad), se hace notar que este sería el mejor de los escenarios, por ello se hace un cálculo más realista en nuestro capítulo de análisis energético.

CONCLUSIONES

1. Es evidente la contribución de la generación proveniente de energías renovables, especialmente en este caso la energía solar. Además, como Guatemala cuenta con un potencial para la explotación de este tipo de energías. La reducción en la emisión de dióxido de carbono es en parte uno de los objetivos principales que se logra determinar, ya que la energía generada anual sería de 63,180 kwh, (producto de multiplicar la energía mensual a generar, 5,265 kWh/mes por 12) dejando de emitir un total de 24,324 kg de dióxido de carbono al año. Este dato se determina tomando en cuenta el Factor de Emisión de Consumo Eléctrico, que para este caso es $F=0,385$ kg de dióxido de carbono equivalente por kilovatio hora.
2. El Sol es una fuente ilimitada de energía, la cual se puede aprovechar todo el año. La tecnología solar fotovoltaica consiste en la transformación de la radiación solar en electricidad mediante las denominadas células fotovoltaicas. Utilizando el denominado efecto fotoeléctrico y aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores, estas células generan corriente continua al incidir en ellas la luz, corriente que es posteriormente transformada en alterna para su utilización. Las células fotovoltaicas empleadas comúnmente son de silicio cristalino, aunque ya se está investigando el uso de nuevos materiales.
3. El capítulo 3 del trabajo de graduación muestra paso a paso el procedimiento de diseño utilizado para el generador fotovoltaico. Se determinó que junto con los datos de facturación o consumo, el área

disponible es indispensable definirla al inicio del diseño, ya que es un parámetro restrictivo si no se cumplen con las dimensiones mínimas necesarias. Con el área definida, se dispuso a realizar las medidas y determinar los parámetros que serviría para conformar el diseño. Siguiendo el orden siguiente:

- Determinación de ubicación y localización del Cunoroc, utilizando coordenadas georeferenciadas.
- Estimación de los parámetros de radiación e irradiancia en el punto de estudio.
- En función a la información real de facturación por consumo de energía eléctrica se elabora una tabla para determinar la potencia activa promedio mensual.
- Investigación de equipo fotovoltaico disponible en el mercado.
- Dimensionado de cada componente del generador fotovoltaico en función al equipo seleccionado y las necesidades de carga eléctrica a cubrir.
- Estructura de soporte necesario y ubicación en el área dispuesta.
- Sistema de Cableado en CC y AC, conexiones, ductería, protección, medición.

El diseño llevó a la implementación de un total de 117 paneles solares de una capacidad o potencia nominal de 300 watts, organizados de tal manera que pudiesen cumplir con la demanda calculada real de 171 kwh/día.

Es importante hacer notar que en la actualidad existe el incentivo para la construcción de este tipo de proyectos, los cuales han ido ganando terreno. Para ello La Comisión Nacional de Energía Eléctrica

(CNEE) monitorea y da seguimiento a este tipo proyectos, de tal manera que su inyección a red sea aceptada por las distribuidoras de energía eléctrica actuales (Energuate y Eegsa). Teniendo la norma técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable (NTGDR) y usuarios autoprodutores con excedentes de energía. ntgdr.

4. Con la información de facturación mensual proporcionada emitida por Energuate, se determinó que en promedio el Cunoroc tiene un consumo promedio mensual de 5 122 kWh/mes (171 kWh/día), traducándose esto en un pago también promedio mensual de Q 11 700,00. Con esta información inicial se determinan las condiciones de diseño, el área necesaria y las características eléctricas.

El costo del proyecto asciende a: Q 542 283,00. Dicho costo se calculó en función a los precios de mercado de cada uno de sus componentes, tanto materiales como mano de obra calificada. La tabla XIX muestra a detalle los costos parciales y totales del generador fotovoltaico propuesto.

En el costo de los paneles solares y los inversores fueron calculados a una tasa de cambio de \$ 1,00 x Q 7,69, ya que estos deben ser importados. Si se tiene un pago promedio mensual de energía eléctrica a Energuate según nuestra tabla de consumo real de Q 11 718,40 y el diseño se hace para cubrir el 100 % de la demanda, idealmente se obtendría un tiempo de recuperación de inversión de 48 meses. Pero como se indicó en el análisis energético existen variables en el tiempo que no son predecibles al 100 %, ejemplo, aumento en el precio del kilovatio hora, incremento de consumo eléctrico, fallas en el sistema y

rendimiento del generador solar se reduce en un 20 % a los 10 años de su puesta en marcha. Además, se le deben dar expectativas reales de tal manera que a criterio propio se le incrementa un 25 % al tiempo máximo de recuperación, quedando este en 60 meses o 5 años. El sistema tiene una vida útil de 25 años en el peor de los casos. (300 meses de garantía y 240 meses de rentabilidad), se hace notar que este sería el mejor de los escenarios.

RECOMENDACIONES

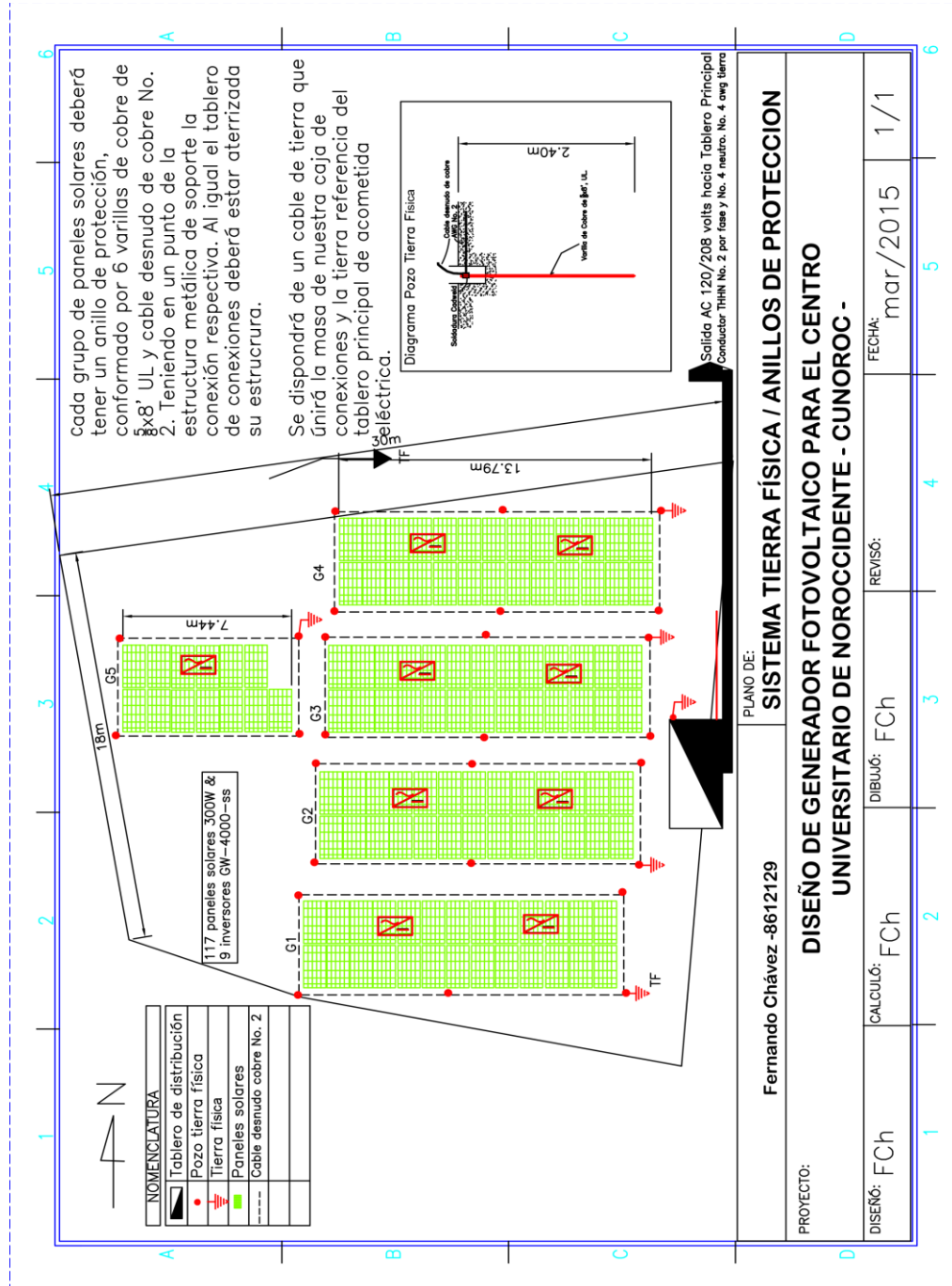
1. Es muy importante realizar un estudio de eficiencia energética en el Centro Universitario de Noroccidente (Cunoroc), debido a que las instalaciones eléctricas son viejas y es necesario realizar mantenimiento correctivo, además o quizás lo más importante antes de instalar un generador fotovoltaico con inyección a red, sería proponer un cambio en el sistema de iluminación a tipo led, ya que esto contribuiría a reducir el costo del diseño propuesto. Hoy en día este es uno de los factores que más inciden en el consumo eléctrico en establecimientos educativos.
2. Considerar que el diseño propuesto consta de una estructura de soporte del sistema de paneles solares, y por sus características de altura, se adecua para que el área debajo de estos pueda ser aprovechado para invernaderos, áreas de pruebas de algunos follajes, entre otros.
3. Tomar en cuenta la posibilidad de adicionar un sistema de captación y conducción de agua de lluvia y adicionar un sistema de bombeo por medio de energía solar, para elevar el agua a un tanque elevado.
4. Hacer conciencia en las autoridades de la Usac para que tomen en cuenta y analicen este tipo de proyectos, ya que a futuro pondrán a la universidad en un nivel de instituciones educativas de alto nivel comprometidas con el medio ambiente, además, de ahorrar recursos económicos importantes que podrían ser utilizados para otras áreas de interés académico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia Guatemalteca de Noticias, AGN. *Guatemala con potencial para generar electricidad limpia*. [en línea] <[http://www.agn.com.gt/index.php/reportajes-especiale/item/4180-guatemala -con- potencial- para- generar- electricidad-limpia](http://www.agn.com.gt/index.php/reportajes-especiale/item/4180-guatemala-con-potencial-para-generar-electricidad-limpia)>. [Consulta: 5 de febrero de 2015].
2. BAETHGE, Erick; BERZOY, Alberto, GUZMÁN, Víctor; GIMÉNEZ, María Isabel. *Nuevo sistema de control para el seguimiento del punto de máxima potencia en paneles solares basado en el control predictivo de corriente de convertidores cc-cc*. [en línea]. <[http://www.scielo.org.ve /scielo. php?pid= S1316-48212011000300005&script=sci_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-48212011000300005&script=sci_arttext)>. [Consulta: 4 de febrero de 2015].
3. Direct Industry. *El salón online de la industria*. [en línea]. < [http://www.directindustry.es /fabricante- industrial /panel-solar-fotovoltaico-80158.html](http://www.directindustry.es /fabricante-industrial /panel-solar-fotovoltaico-80158.html)>. [Consulta: 13 de febrero de 2015].
4. DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ, Héctor. *Diseño de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el cobaev 35 Xalapa*. Tesis Maestría en Ingeniería Energética. Universidad Veracruzana, México: Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, 2012. 172 p.

5. Deguate. *Sistema de energía en Guatemala*. [en línea] <http://www.deguate.com/artman/publish/ecofin_articulos/Sistema-de-energia-electrica-en-Guatemala.shtml#.VNOGjP6G_64>. [Consulta: 2 de febrero de 2015].
6. GÁLVEZ, Juventino; TUY, Héctor. *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. [en línea]. <<http://www.url.edu.gt/iarna> - <http://www.infoiarna.org.gt>>. [Consulta: 20 de mayo de 2014].
7. NASA. *Surface meteorology and solar energy*. [en línea]. <<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/gridcgi?email=skip@larc.nasa.gov>>. [Consulta: 12 de febrero de 2015].
8. SÁNCHEZ, Miguel Angel. *Energía solar fotovoltaica*. México DF: Limusa, 2010. 316 p. ISBN: 978-968-18-7198-7.
9. VENTURA, Víctor Hugo. Seminario “*Suministro de energía descentralizado, energía solar y fotovoltaica, eólica y bioenergía*”. Cámara de Comercio Guatemalteco-Alemana. 2014.

APÉNDICES



Continuación del apéndice.

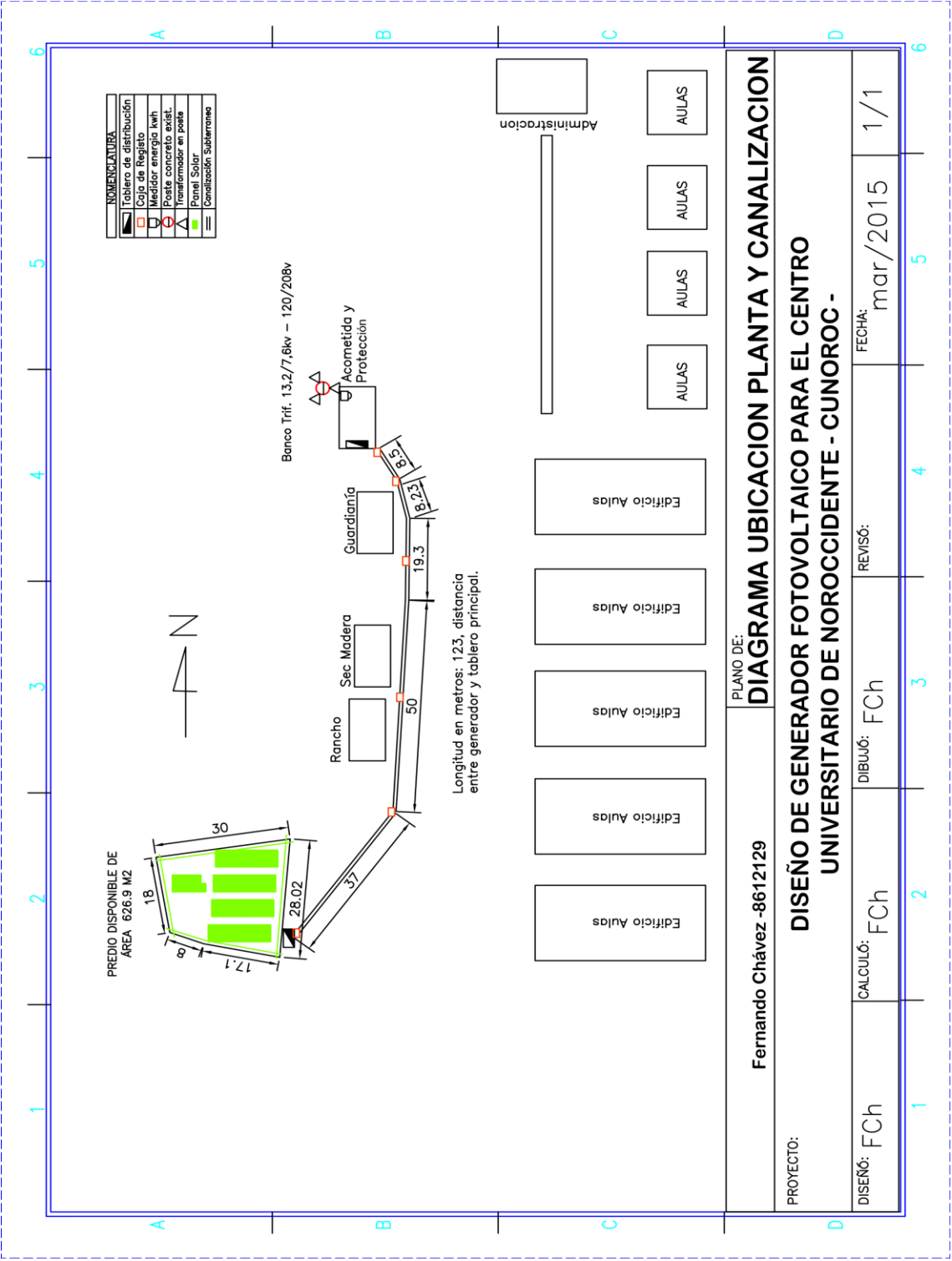


Diagrama de Conexiones Paneles/Inversores

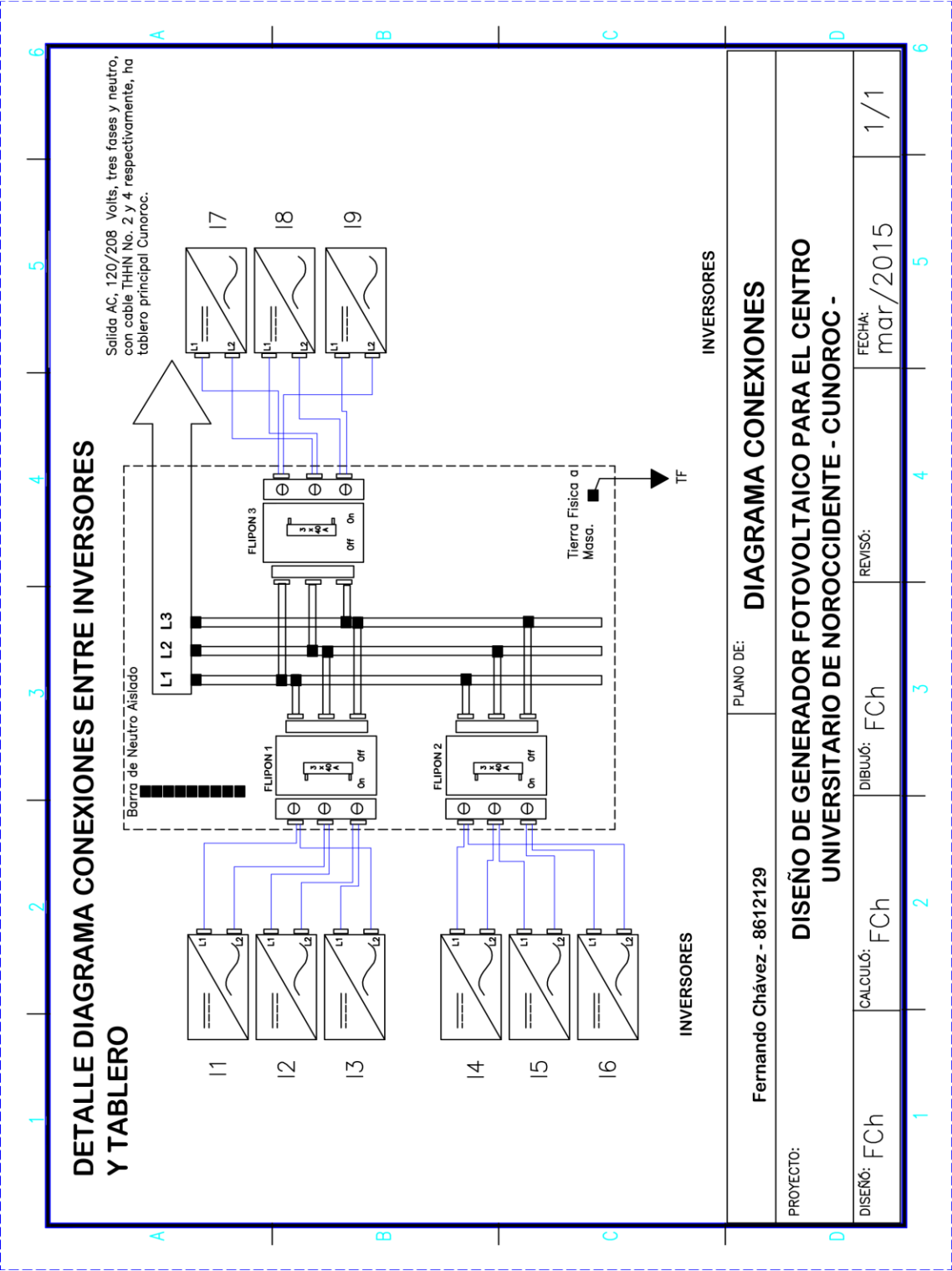
El diagrama ilustra la configuración eléctrica para la conexión de 12 paneles solares (P01-P12) a través de un tablero de conexiones AC. Los paneles están agrupados en tres filas de cuatro. Las conexiones se realizan mediante cables TSJ 3x10 awg. El diagrama incluye un interruptor de emergencia y un tablero de conexiones AC con un interruptor de emergencia. El diagrama también muestra la conexión de los paneles a un sistema de almacenamiento de energía (baterías) a través de un inversor. El diagrama está dividido en tres secciones: A, B y C. La sección A muestra la conexión de los paneles a los inversores. La sección B muestra la conexión de los inversores a las baterías. La sección C muestra la conexión de las baterías al sistema de almacenamiento de energía. El diagrama incluye un interruptor de emergencia y un tablero de conexiones AC con un interruptor de emergencia. El diagrama también muestra la conexión de los paneles a un sistema de almacenamiento de energía (baterías) a través de un inversor.

[illegible]

Continuación del apéndice.



Continuación del apéndice.



Continuación del apéndice.

[illegible]

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Atmospheric



ATMOSPHERIC
SCIENCE
DATA CENTER

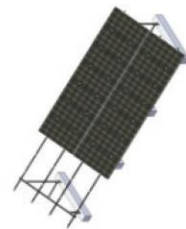
NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data

Latitude 15.309 / Longitude -91.532 was chosen.



Latitude	15°18'33" N (15.3091)					
Longitude	-90°31'56" O (-91.5322)					
a.s.n.m.	1877					
Dirección: Aldea Chivacavé, zona 12, Huehuetenango.						
Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C
January	18,3	73,80%	5,01	90,7	3,8	19,1
February	19,8	67,30%	5,71	90,7	3,4	21,1
March	21,4	62,00%	6,25	90,6	3,2	23,4
April	22,6	63,50%	6,33	90,5	2,6	24,9
May	22,6	72,30%	5,71	90,5	2,3	24,4
June	22	80,20%	5,24	90,5	2,4	23,1
July	21,5	78,60%	5,59	90,6	2,9	22,4
August	21,7	78,10%	5,49	90,6	2,7	22,6
September	21,5	80,70%	4,92	90,5	2,4	22,3
October	20,6	80,40%	4,74	90,5	2,9	21,3
November	19,5	78,00%	4,72	90,6	3,3	20,1
December	18,4	77,00%	4,73	90,7	3,8	19
Annual	20,8	74,30%	5,37	90,6	3	22

Fuente: Atmospheric. Consulta: 20 de marzo de 2015.



NSP-GM-02

GROUND MOUNT SYSTEM_FIXED TRIPOD

Newsunpower Ground Mounting System_Fixed Tripod is designed to provide ground installation exceptional value per watt installed. Structured with Q235 steel of high hardness & low cost, to realize high & quick PV investment

TECHNICAL INFORMATION

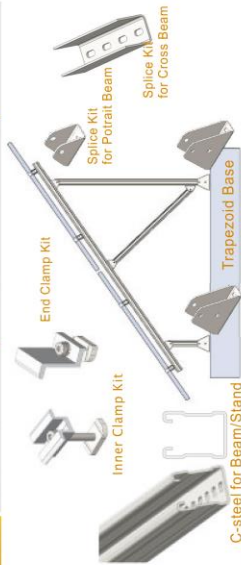
Install spot: ground/Open field
Tilt Angle: 33deg/customized
Max Wind Speed: <60m/s
Snow Load: <1.5KN/m²
Materials: Q235 Steel/High Class Aluminum alloy A16005-T5/Stainless steel 304
Color: Natural or Customized
Anti-corrosive: hot galvanized Q235 steel/anodized aluminum /stainless steel
Warranty: Ten years warranty and twenty years service life
Foundation: Concrete With Pre-Buried Bolts/Ground Screw

BENEFITS

- ◆ **Broad installation flexibility.** Newsunpower Ground Mounting system can accommodate most commercially available framed solar panels in various open field, and can be scaled easily from small to large and multi-megawatt installations.
- ◆ **Easy to install.** Modular design and highly pre-assembly without weld or cut onsite needed enables the installation much easier and more convenient. Tilt-in modules can be put into extruded rail from any spots, can be highly pre-assembled with clamps to minimize installation time and cost.
- ◆ **Endure extreme weather.** Newsunpower Ground Mounting System is designed to stand up the extreme weather complied with the AS/NZS 1170 and other international structure load standards by the skill led engineer. The main support components also have been tested to guarantee its structure and load-carrying capacity.
- ◆ **Assure unmatched durability.** With all components comprised of hot galvanized Q235 steel, high class stainless steel and anodized aluminum alloy, it is designed for twenty-five years long lifespan and backed by ten years warranty.

GROUND MOUNT

SYSTEM OVERVIEW (FOR CONCRETE FOUNDATION)



EXAMPLE PROJECT

Solar Module Size	1650*990*40mm	Foundation	Concrete With Pre-Buried Bolts
Tilt Angle	33deg	Wind Speed	Normal
Unit Array	2*20 (40pcs module)	Module Orientation	Portrait

Item Name	Description	QTY
Inner Clamp Kit	L40	36pcs
End Clamp Kit	L40	8pcs
Cross Beam 1#	L6000 Q235 Hot galvanization ≥ 65um	12pcs
Cross Beam 2#	L2400 Q235 Hot galvanization ≥ 65um	4pcs
Splice Kit for Cross Beam	L200 Q235 Hot galvanization ≥ 65um	12pcs
Portrait Beam	L2700 Q235 Hot galvanization ≥ 65um	7pcs
Splice Kit for Portrait Beam	10072*68 Q235 Hot galvanization ≥ 65um	28sets
Front Stand	L300 Q235 Hot galvanization ≥ 65um	7pcs
Rear Stand	L1450 Q235 Hot galvanization ≥ 65um	7pcs
Trapezoid Base for Stand	20072*68 Q235 Hot galvanization ≥ 65um	28sets
Diagonal Rear Support Stand Kl	L2990 Q235 Hot galvanization ≥ 65um	8sets
Hex Head Bolt	8pcs M12*90, 28sets M12*70, 36pcs M8*90, 104pcs M8*30	168pcs





DS Series(Dual-MPPT, Single-Phase)

GoodWe DS series inverter is designed under modern ID concept. There are three colors for option with fashionable appearance. It has created a new standard for inverter technology with more advanced reactive compensation technology and dual MPPTs. The new series has a wide range of domestic applications. Aside from being compatible with different types of solar panel brands, it also meets the demands of easy installation and simple operation for indoor and outdoor use. Despite the fact that its weight is super light, it meets the IP65 protective class. Our unique dual MPPTs and low THD makes the DS series the best choice for users to build up perfect photovoltaic systems.

- Dual MPPT trackers to suit two-side roof
- Up to 10 safety measurements
- European Efficiency up to 97.4%
- MPPT Efficiency over 99.5%
- User-friendly Large LCD
- 4G/3G/2G/1G communication
- Voice control operation
- 45°C full-load output
- 3 selectable appearance colors

Technical Data			
	GW3600-DS	GW4200-DS	GW4600-DS
AC Input Data			
Max. DC voltage [V]	3600	4600	5400
Max. DC current [A]	500	500	500
Max. DC voltage range [V]	125-560	125-560	125-560
Starting voltage [V]	125	125	125
Max. AC current [A]	18	21	25
No. of DC connectors	2	2	2
No. of MPPTs	2 (can parallel)	2 (can parallel)	2 (can parallel)
DC connector	SUNCLIX (MC4 optional)	SUNCLIX (MC4 optional)	SUNCLIX (MC4 optional)
AC Output Data			
Max. AC voltage [V]	3600	4200	4800
Max. AC power [W]	3600	4400	5100
Max. AC current [A]	18	21	25
Normal AC output	50/60Hz, 230Vne	50/60Hz, 230Vne	50/60Hz, 230Vne
THD	45-55@50/60Hz, 100-270Vne	45-55@50/60Hz, 100-270Vne	45-55@50/60Hz, 100-270Vne
Power factor	>1	>1	>1
Grid connection	0.9 leading-0.9 lagging	0.9 leading-0.9 lagging	0.9 leading-0.9 lagging
Efficiency	97.4%	97.4%	97.4%
MPPT adaptation efficiency	>97.4%	>97.4%	>97.4%
Protection	MPPT adaptation efficiency	MPPT adaptation efficiency	MPPT adaptation efficiency
Residual current monitoring unit	Integrated	Integrated	Integrated
AC over current protection	Integrated (optional)	Integrated (optional)	Integrated (optional)
DC switch	Integrated	Integrated	Integrated
AC over current protection	Integrated	Integrated	Integrated
Isolation monitoring	Integrated	Integrated	Integrated
Grid compliance Standards			
Germany	VDE 464-N 4105, AS4777.24.3, RD1696	VDE 464-N 4105, AS4777.24.3, RD1696	VDE 464-N 4105, AS4777.24.3, RD1696
Spain	EC62109-14-2, AS3100	EC62109-14-2, AS3100	EC62109-14-2, AS3100
Italy	IEC62109-2, VDE11705-1-1A1, EN50438	IEC62109-2, VDE11705-1-1A1, EN50438	IEC62109-2, VDE11705-1-1A1, EN50438
France	IEC62109-14-2, AS3100	IEC62109-14-2, AS3100	IEC62109-14-2, AS3100
UK	EN 61800-5-1, EN 61800-5-2, EN 61800-5-3, EN 61800-5-4, EN 61800-5-5, EN 61800-5-6, EN 61800-5-7, EN 61800-5-8, EN 61800-5-9, EN 61800-5-10, EN 61800-5-11, EN 61800-5-12	EN 61800-5-1, EN 61800-5-2, EN 61800-5-3, EN 61800-5-4, EN 61800-5-5, EN 61800-5-6, EN 61800-5-7, EN 61800-5-8, EN 61800-5-9, EN 61800-5-10, EN 61800-5-11, EN 61800-5-12	EN 61800-5-1, EN 61800-5-2, EN 61800-5-3, EN 61800-5-4, EN 61800-5-5, EN 61800-5-6, EN 61800-5-7, EN 61800-5-8, EN 61800-5-9, EN 61800-5-10, EN 61800-5-11, EN 61800-5-12
General Data			
Dimensions (WxHxD)	360x171x165mm	360x171x165mm	360x171x165mm
Weight [kg]	20	20	20
Working temperature range	-25~60°C (storage)	-25~60°C (storage)	-25~60°C (storage)
Relative humidity	0~95%	0~95%	0~95%
Max. operating altitude	2000m	2000m	2000m
Protection degree	IP65	IP65	IP65
Production degree	IP65	IP65	IP65
Net power consumption [W]	<1	<1	<1
Cooling	Nature convection	Nature convection	Nature convection
Noise emission [dB]	<25	<25	<25
Display	4.7" LCD	4.7" LCD	4.7" LCD
Standard warranty [years]	5/10/15/20/25 (optional)	5/10/15/20/25 (optional)	5/10/15/20/25 (optional)

color options



Anexo 3. Cunoroc

Cunoroc

Solar Site Survey Results for:

Installation Location: Fernando

Position: Lat. 15.308610 N, Long. 91.532722 W, Altitude 1909 m

Weather Data: No weather station selected. Clear sky model will be used

Fixed Array: Tilt 15 degrees, Azimuth 180 degrees

PV Modules: 40 Ningbo Ulica Solar Science and Technology, Model: 230(35) D UL997±95

Inverter: 10 GROWATT, Model: Growatt 5000

System Derate Factor: 84.6% (cabling, connectors, array soiling, etc)

Installation Rating (PTC): 8.1 kW

kWh/kWp = 1412

Electricity Cost: 0.290 \$/kWh

Energy Production Estimates:

	Solar Energy kWh	DC Energy kWh	AC Energy kWh	Earned
January	11826.9	1122.4	858.3	\$249
February	12789.3	1197.1	936.9	\$272
March	16097.4	1497.6	1185.2	\$344
April	16485.2	1527.9	1203.6	\$349
May	16669.0	1551.0	1211.8	\$351
June	15729.7	1465.2	1136.6	\$330
July	16453.1	1532.4	1193.0	\$346
August	16956.7	1574.8	1237.8	\$359
September	16133.4	1496.5	1183.5	\$343
October	14968.9	1399.8	1102.6	\$320
November	12454.1	1177.4	906.6	\$263
December	11647.9	1110.4	838.7	\$243
Total Annual	178211.6	16652.5	12994.8	\$3768

Report Notes:

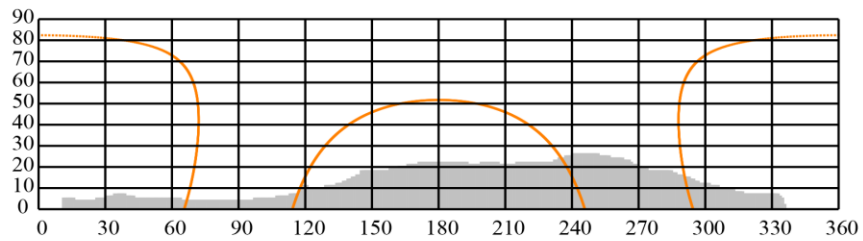
Please review these results carefully. Do not make financial decisions solely on this data.



Continuación del anexo 3.

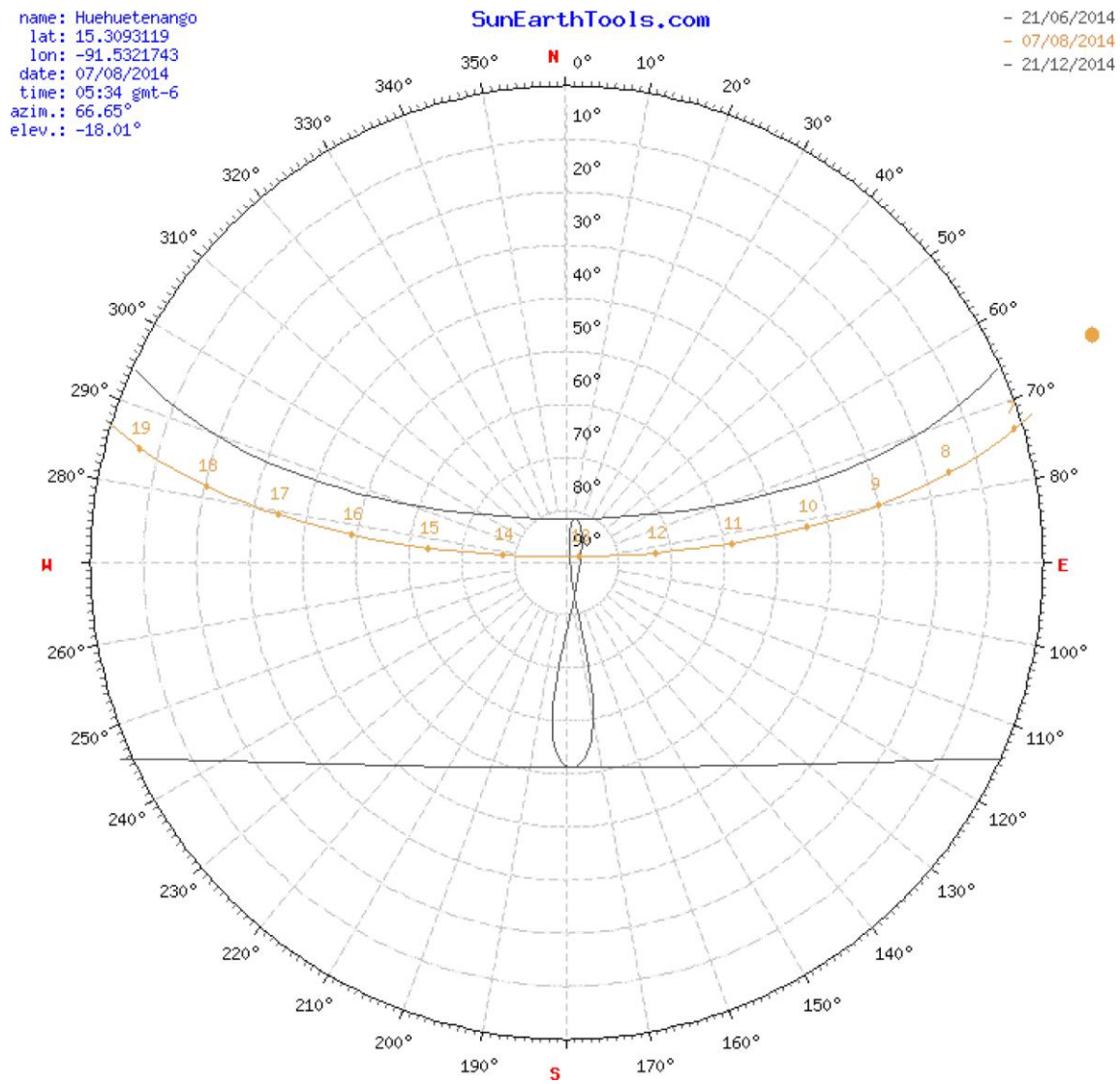
Cunoroc

Solar Site Survey Results for:

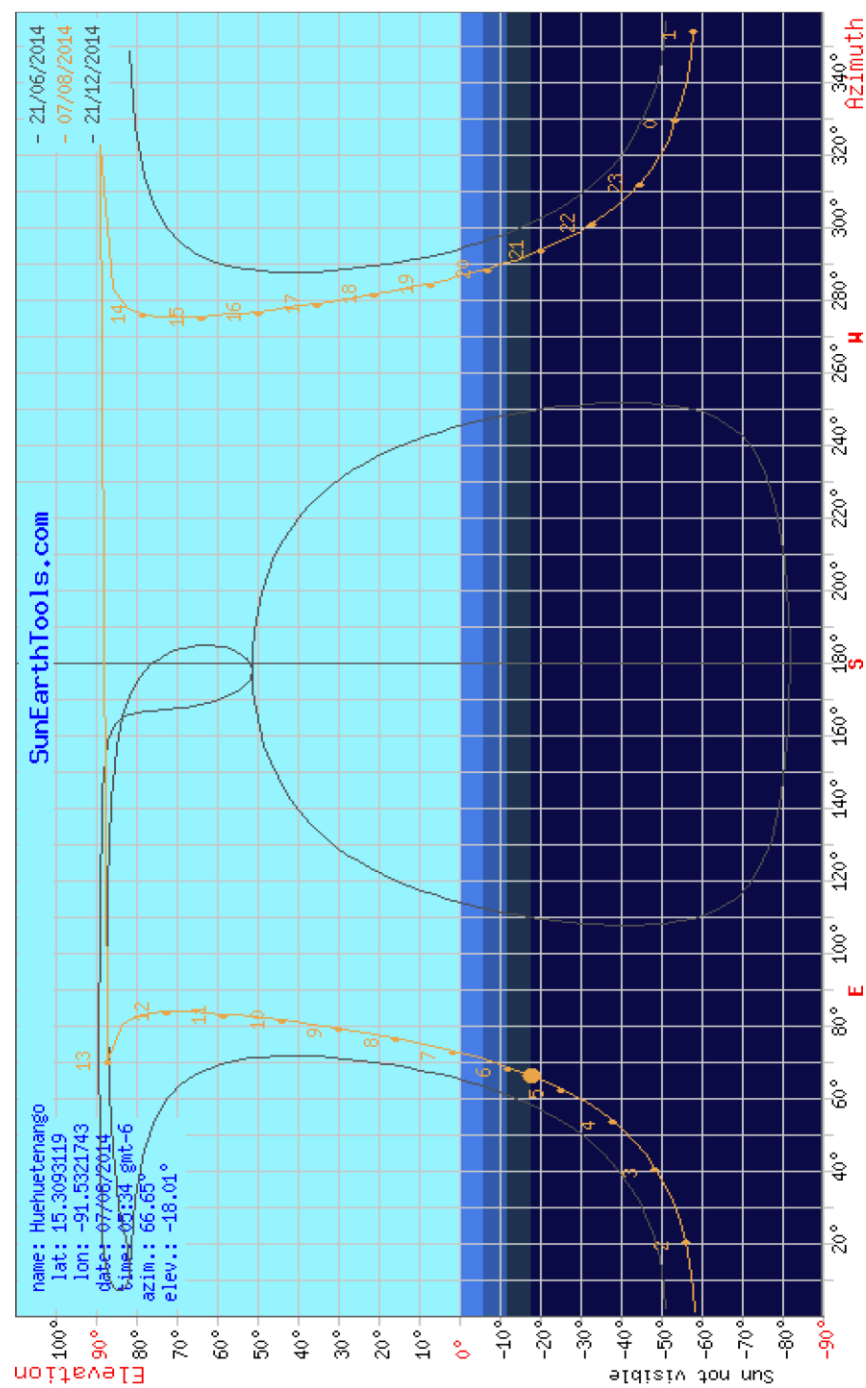


	Solar Energy Actual Tilt: 15 Actual Az: 180 No Shade kWh/m sq/day	Solar Energy Actual Tilt: 15 Actual Az: 180 Shade kWh/m sq/day	Shade Derating % Captured
January	5.1	4.9	96 %
February	6.1	5.9	97 %
March	6.8	6.7	98 %
April	7.1	7.1	99 %
May	7.0	6.9	99 %
June	6.8	6.7	99 %
July	6.9	6.8	99 %
August	7.1	7.0	99 %
September	7.0	6.9	99 %
October	6.4	6.2	97 %
November	5.5	5.3	96 %
December	5.0	4.8	96 %
Total Annual	6.4	6.3	98 %

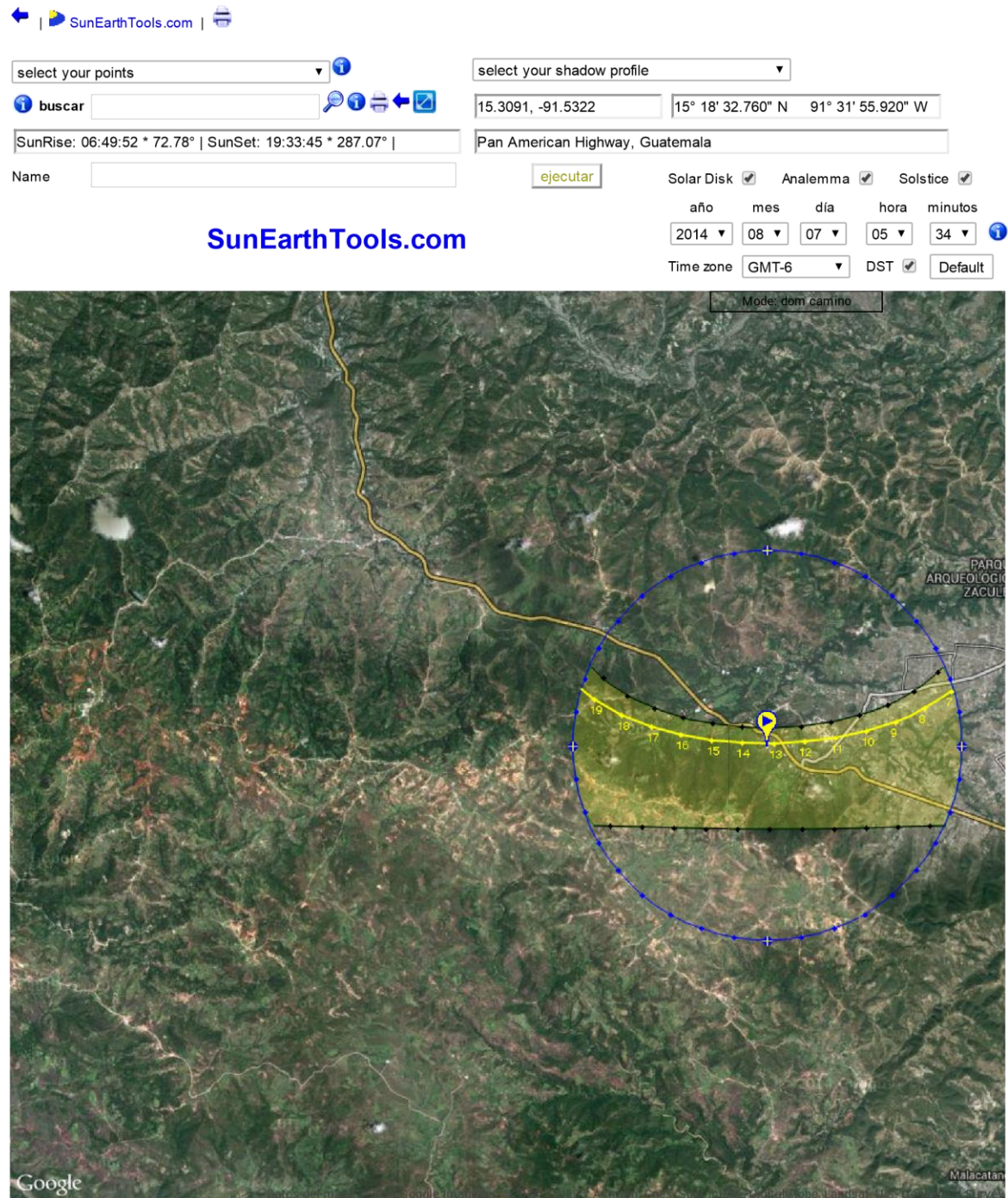
Continuación del anexo 3.



Continuación del anexo 3.



Continuación del anexo 3.



Continuación del anexo 3.



MAX POWER CS6X-300 | 305 | 310P

High quality and reliability in all Canadian Solar modules is ensured by 13 years' experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency up to 16.16 %
-  Outstanding low irradiance performance > 96.0 %
-  Positive power tolerance up to 5 W
-  High PTC rating up to 91.94 %
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa
wind load up to 2400 Pa
-  Salt mist, ammonia and blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments

25 years

insurance-backed warranty
non-cancellable, immediate warranty insurance
linear power output warranty

10 years

product warranty on materials
and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES

ISO 9001: 2008 / Quality management system
ISO/TS 16949: 2009 / The automotive industry quality management system
ISO 14001: 2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001: 2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / MCS / CE / SII / KEMCO / CEC AU / CQC / INMETRO
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: TUV / IEC 60068-2-68: SGS
PV CYCLE (EU) / UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1

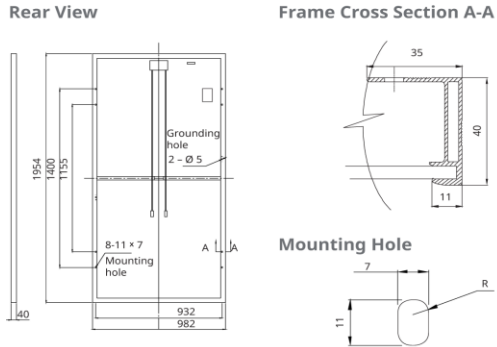


CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with about 8 GW of premium quality modules deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

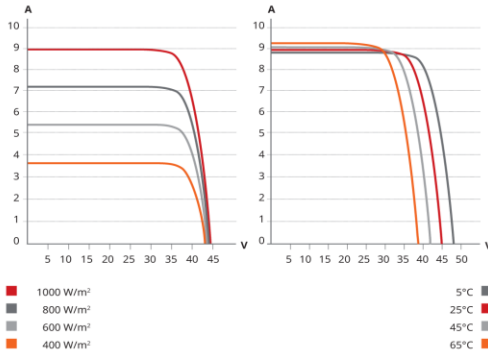
CANADIAN SOLAR INC.
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

Continuación del anexo 3.

MODULE / ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6X-305P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA / STC*

Electrical Data CS6X	300P	305P	310P
Nominal Max. Power (Pmax)	300 W	305 W	310 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.1 V	36.3 V	36.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.30 A	8.41 A	8.52 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.6 V	44.8 V	44.9 V
Short Circuit Current (Isc)	8.87 A	8.97 A	9.08 A
Module Efficiency	15.63%	15.90%	16.16%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL) or 600 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA / NOCT*

Electrical Data CS6X	300P	305P	310P
Nominal Max. Power (Pmax)	218 W	221 W	225 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	32.9 V	33.1 V	33.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.61 A	6.68 A	6.77 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.0 V	41.2 V	41.3 V
Short Circuit Current (Isc)	7.19 A	7.27 A	7.36 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiance, +96.5 % module efficiency from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

As there are different certification requirements in different markets, please contact your sales representative for the specific certificates applicable to your products. The specification and key features described in this Datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

MODULE / MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1954×982×40 mm (76.93×38.7×1.57 in)
Weight	22 kg (48.5 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-BOX	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL 1000 V) or 12 AWG (UL 600 V), 1150 mm or 1300 mm**
Connectors	MC4 or MC4 comparable
Stand. Packaging	24 pcs, 608 kg (quantity & weight per pallet)
Module Pieces per Container	528 pcs (40'HQ)

** The CS6X with cable of 1300 mm is only for Canadian market.

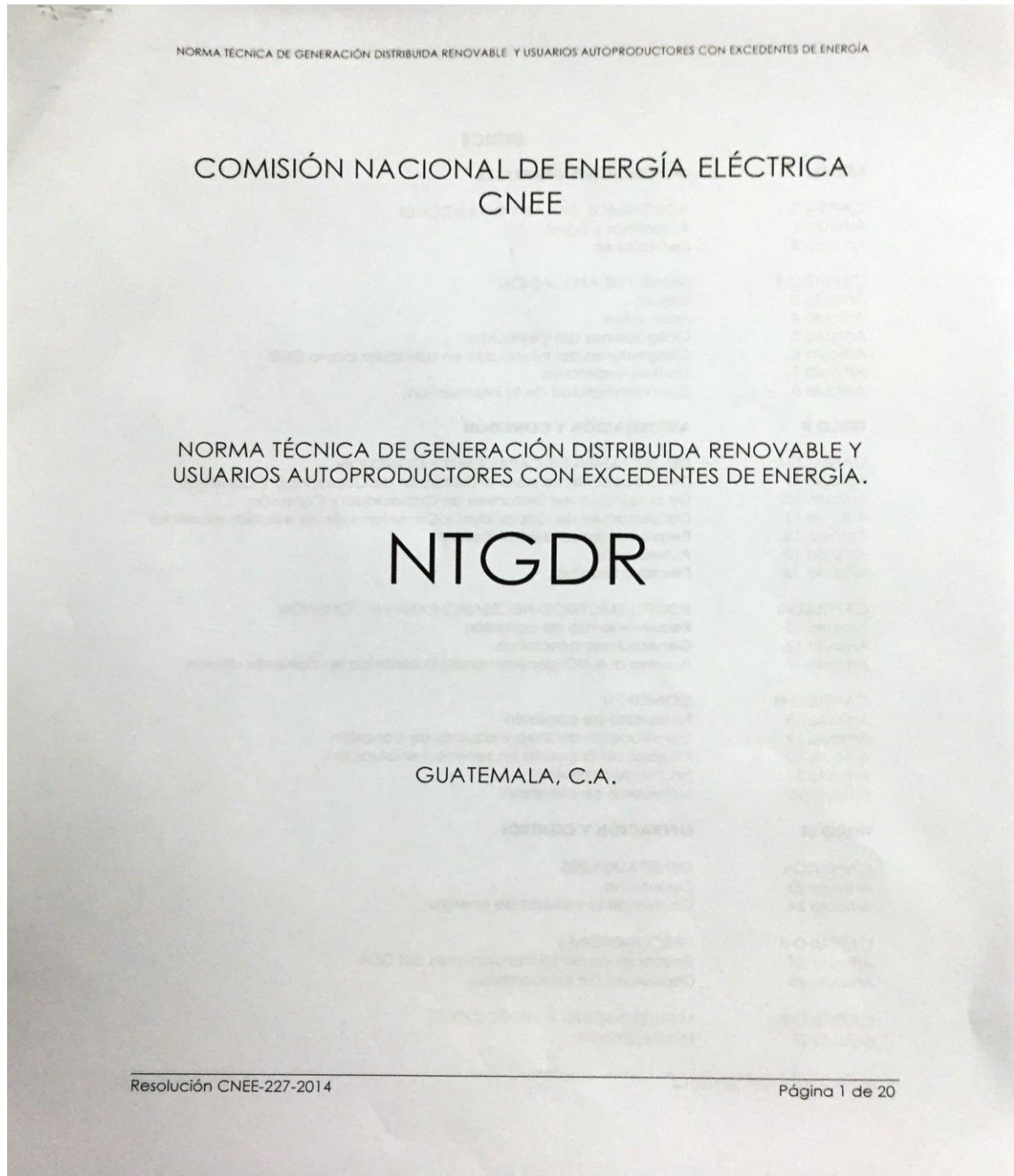
TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.43 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.065 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C

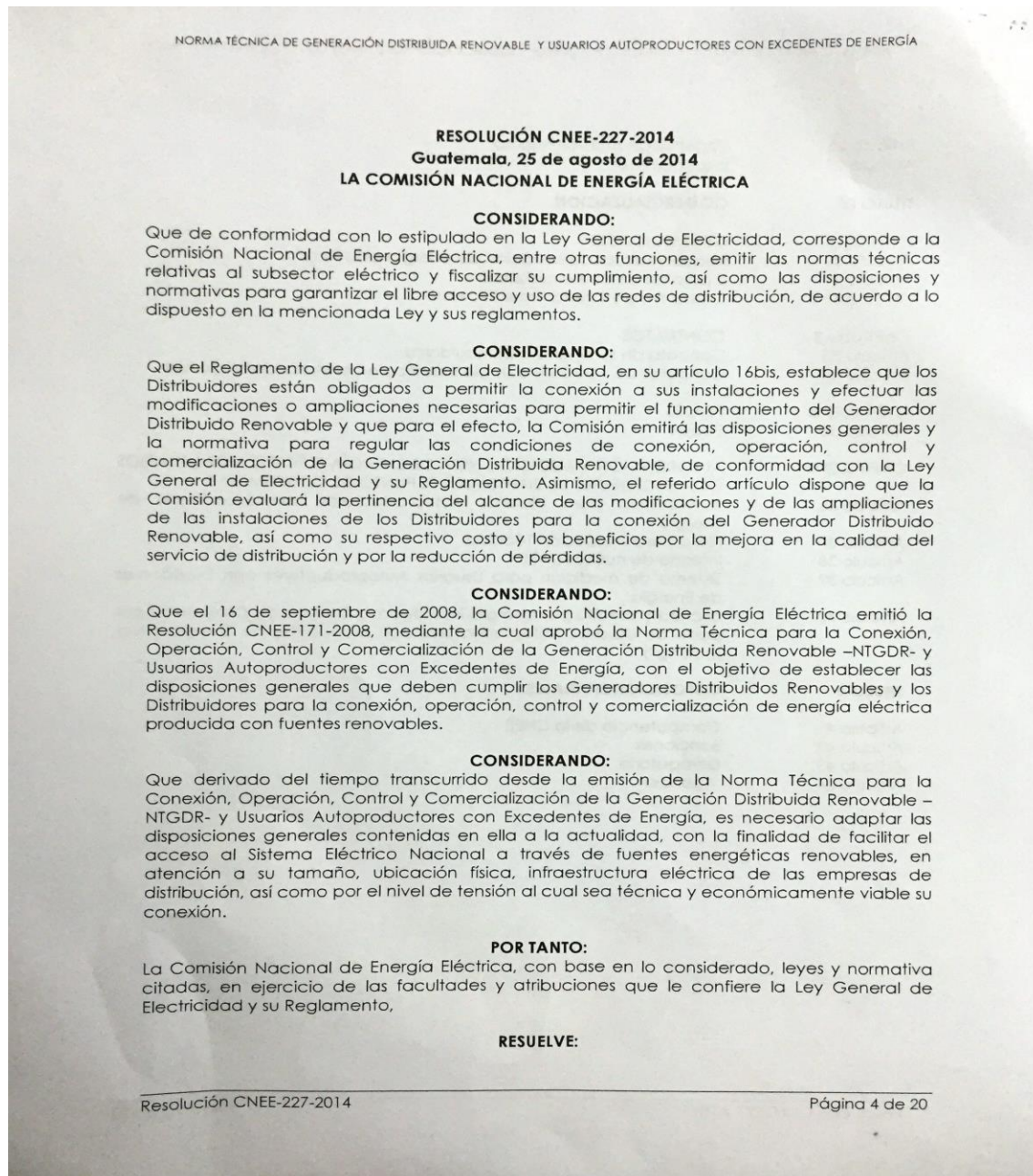
PARTNER SECTION



Continuación del anexo 3.



Continuación del anexo 3.



Fuente: *Solar site survey*. Consulta 20 de marzo de 2015.

Anexo 4. Escuela Mecánica Eléctrica.

 **USAC**
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Nor Occidente
"CUNOROC"

DIR-O-075-2014

Huehuetenango, 4 de junio de 2014

Ingeniero,
Guillermo Puente
Director Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica
Universidad de San Carlos de Guatemala Campus Central
Guatemala.

Ingeniero Puente:

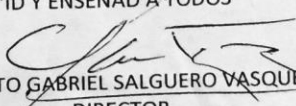
Por medio de la presente le saludo cordialmente, deseando sus labores marchen de la mejor manera, al mismo tiempo solicito su colaboración para el alumno **JOSE FERNANDO CHAVEZ VILLATORO**, con carnet **No. 86-12129**, el cual cuenta con pensum cerrado en la carrera de INGENIERIA ELECTRICA, con fecha 31 de mayo de 1991 y aprobado su EXÁMEN GENERAL PRIVADO en fecha 30 de julio de 1991, según consta en acta No. 8466, para elaborar un estudio previo a optar al título de INGENIERO ELECTRICISTA, sobre: **DISEÑO DE UN GENERADOR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA EL CENTRO UNIVERSITARIO DE NOR-OCCIDENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, CAMPUS HUEHUETENANGO, BAJO NORMATIVA DE GENERACION DISTRIBUIDA O AUTOCONSUMO.**

Dicho apoyo lo solicitamos con el propósito que sea ejecutado a corto plazo y tener una alternativa para reducir costos por el pago de la factura de energía eléctrica y contribuir con el medio ambiente, sabiendo que este tipo de proyectos utilizan la energía solar, siendo esta libre de emisiones o contaminantes.

Aprovecho la oportunidad para saludarle,

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. OTTO GABRIEL SALGUERO VASQUEZ
DIRECTOR


Fecha: 14:10 Hora 17/06/14



Huehuetenango, Apartado Postal No. 68
Teléfonos: 7934-3003 / 7934-3005 / 7934-3006 / 7934-3007 – Celular: 5515-7204 Guatemala, Centroamérica

Fuente: Escuela de Mecánica Eléctrica.

