

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

Unidad Valle de las Palmas



**TESIS DE TITULACIÓN DE LICENCIATURA**

Diseño de una central fotovoltaica de 108 kWp de potencia nominal para AGROINDUSTRIAS DE CABORCA DE R.I

**Presentada por**

**Vanessa Iveth Martínez Calleros**

Como requisito para la obtención de título en:

**Licenciatura en Ingeniería en Energías Renovables**

**Director de tesis:**

Dr. Emilio Hernández Martínez

**Codirector de tesis:**

Mtro. Eric Efrén Villanueva Vega

Tijuana, Baja California, México

Agosto 2015

## **AGRADECIMIENTOS**

En el presente trabajo agradezco a mis padres por el apoyo brindado tanto moral y económicamente para seguir estudiando y lograr el objetivo trazado para un futuro mejor y ser orgullo para ellos como también para toda la familia.

A la Universidad Autónoma de Baja California, alma mater de la ciencia y tecnología por formarme como futuro Ingeniero en Energías Renovables, al igual a todos mis profesores que participaron en la elaboración e hicieron posible este proyecto muchas gracias por su apoyo y enseñanza:

Director de tesis Dr. Emilio Hernández Martínez; gracias por su paciencia, amabilidad, tiempo y energía que invirtió en mi trabajo.

Codirector Mtro. Eric Efrén Villanueva Vega; gracias por el conocimiento adquirido durante toda la carrera, por su entusiasmo y dedicación al proyecto.

Sinodales:

Mtro. Rene Delgado Rendón.

Mtro. Juan Carlos Tapia Olivas.

Mtra. Norma Candolfi Arballo.

Gracias por aceptar ser parte de mi tesis por el tiempo invertido en estudiar, analizar, corregir errores, por los consejos y críticas constructivas.

Gracias a ENILSO S DE RL DE CV, por autorizarme viajar a Tijuana con todos los medios para realizar mi trabajo a distancia para poder concluir mi última etapa profesional y por brindarme toda la información necesaria.

Gracias a la empresa AGROINDUSTRIAS DE CABORCA R.I por permitirme usar su proyecto de energía fotovoltaica como tema de tesis.

Por último y no menos importante, quiero dedicar esta tesis a la persona que siempre me ha impulsado y motivado a ser mejor, mi mejor amigo, el amor de mi vida Ing. Yunue Mizahel Sánchez Mora.

Sin ustedes no hubiera sido posible.

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	10
1.1 NIVELES DE RADIACIÓN.....	11
1.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	14
1.3 TIPOS DE CONFIGURACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	15
1.3.1 Sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA).....	15
1.3.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR) .....	17
1.4 CLASIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS .....	19
1.4.1 Clasificación por tamaño.....	19
1.4.2 Clasificación por tipo de estructura.....	20
1.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. ....	22
<b>ANTECEDENTES</b> .....	23
2.1 INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CONECTADAS A LA RED (ver ANEXO VI).....	23
2.2 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA CONECTADO A RED. ....	24
2.3 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A RED. ....	24
2.4 GENERADOR FOTOVOLTAICO; CÉLULAS DE PELÍCULA DELGADA. ....	26
2.5 INVERSOR CC/CA.....	27
2.5.1 Protecciones del Inversor. ....	28
2.5.2 Monitoreo de datos.....	28
3.1 MEDIDOR BIDIRECCIONAL.....	28
4.1 REQUISITOS DE INTERCONEXIÓN Y PROTECCIONES (Ver ANEXO VI).....	29
5.1 ESTRUCTURAS DE SOPORTE.....	31
6.1 CONEXIÓN CON LA RED ELÉCTRICA .....	32
<b>METODOLOGÍA</b> .....	33
7.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	33
7.2 OBJETIVOS GENERALES.....	34
7.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	35
7.4 ESTIMACIÓN DE FUERZA DE SOPORTE DE LA ESTRUCTURA.....	35
7.5 ELECCIÓN DE COMPONENTES.....	36
7.5.1 Modulo fotovoltaico.....	37
7.5.2 Información técnica del producto. ....	37
7.5.2.1 Medidas .....	38
7.5.2.2 Características Técnicas.....	40
7.5.2.3 Curva de rendimiento. ....	42

7.6 INVERSOR CC/CA DE POTENCIA 20 kW.....	44
7.6.1 Información técnica del producto. ....	45
7.6.2 Instalación del inversor GROWATT 20000TL3-US.....	45
7.6.3 Dimensiones de caja. ....	47
7.6.4 Esquema del circuito. ....	49
7.6.5 Datos técnicos del inversor.....	50
7.6.6 Curva de eficiencia. ....	51
8.1 ESTRUCTURA SOLAR.....	52
8.2 Vista del conjunto.....	53
8.2.1 Ficha técnica de la estructura.....	54
9.1 DESCRIPCIÓN DEL TERRENO.....	55
10.1 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.....	56
10.2 Dimensionamiento de la instalación. ....	57
10.3 Criterio de potencia. ....	57
11.1 CAÍDA DE TENSIÓN PARA CONEXIÓN A INVERSOR CC. ....	57
12.1 CALCULO DE LAS ESPECIFICACIONES DEL INVERSOR LADO DE CORRIENTE ALTERNA. ....	58
13.1 CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN ANUAL ESPERADA. ....	58
13.1.2 Método del cálculo. ....	58
14.1 CÁLCULO DE DISTANCIA ENTRE FILAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	60
<b>RESULTADOS</b> .....	62
15.1 CALCULO DE LA POTENCIA.....	62
15.1.2 Producción anual esperada. ....	62
15.1.3 Calculo de la producción anual. ....	63
16.1 CÁLCULO DE GABINETE DE COMBINACIÓN PARA ENTRADA AL INVERSOR DE 80 MÓDULOS.....	76
16.1.1 Caída de tensión para conexión a inversor corriente continuo. ....	77
16.1.2 Calculo de las especificaciones del inversor lado de la corriente alterna. ....	77
17.1 ESTIMACIÓN DE FUERZA DE SOPORTE DE LA ESTRUCTURA.....	78
18.1 CABLEADO.....	78
19.1 PUESTA A TIERRA DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS.....	80
20.1 ORIENTACIÓN DE EQUIPO.....	81
20.1.2 Ángulo de azimut.....	82
20.1.3 Ángulo de inclinación.....	82

20.1.4 Tablas comparativas de variación de producción entre varias inclinaciones. ....	84
21.1 ANÁLISIS FINANCIERO.....	87
21.1.1 Estudio de factibilidad del proyecto. ....	88
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>91</b>
23.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	91
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>92</b>
<b>RECOMENDACIONES Y MANTENIMIENTO</b> .....	<b>94</b>
24.1 MANTENIMIENTO. ....	94
24.1.1 Mantenimiento de los módulos fotovoltaicos (Basados en el manual de ANCE).....	94
24.1.2 Mantenimiento del inversor. ....	94
25.1 MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN EN GENERAL basado en el manual mantenimiento de ENILSO S DE RL DE CV.....	95
26.1 MANTENIMIENTO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE. ....	95
<b>9. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES</b> .....	<b>96</b>
ANEXO I. NORMATIVIDAD APLICABLE AL PROYECTO.....	99
ANEXO II MECÁNICA DE SUELOS GEOTECNIA DEL NOROESTE S.A DE C.V.....	103
ANEXO III FICHAS TÉCNICAS Y CERTIFICADOS.....	104
ANEXO IV HUERTA FOTOVOLTAICA 1.2 MW CON SEGUIMIENTO SOLAR EN SEVILLA. .	105
ANEXO V DIAGRAMA UNIFILAR CENTRAL FOTOVOLTAICA 108KW USPR AGROINDUSTRIAS.....	106
ANEXO VI CONTRATO DE INTERCONEXIÓN A MEDIANA ESCALA.....	107
ANEXO VII CONTRATO DE INTERCONEXIÓN A PEQUEÑA ESCALA.....	108
ANEXO VIII CUMPLIMIENTO CON ESPECIFICACIONES TÉCNICAS FIRCO Y NOM-001- SEDE-2012.....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro de la radiación visible y longitudes de onda asociadas al mismo.....	11
Figura 2 - Mapa de radiación solar, México, kWh/m <sup>2</sup> al día. ....	12
Figura 3- Esquema de sistema FV autónomo para carga DC. ....	16
Figura 4. Esquema de sistema FV autónomo para carga AC. ....	17
Figura 5- Esquema de Sistema Interconectado a la red. ....	18
Figura 6 – Estructura Fijas .....	20
Figura 7.- Fotografía tomada en USPR AGROINDUSTRIAS DE CABORCA RI por equipo de ENILSO S de RL de CV. ....	23
Figura 8 Esquema unifilar de un sistema fotovoltaico conectado a la red. ....	25
Figura 9- Esquema típica de la interconexión de un módulo de película delgada. ....	26
Figura 10 Esquema de Interconexión (Ver ANEXO VI).....	30
Figura 11- Estructura Soporte Tipo Pedestal. ....	31
Figura 12- Estructura Soporte varios puntos de apoyo. ....	31
Figura 13.- Estructura Soporte en Techos.....	32
Figura 14 - Modulo 145 W y 95 W Nexpower.....	37
Figura 15.- Modulo 95 W Nexpower.....	39
Figura 16 - Modulo 145 W Nexpower .....	40
Figura 17- Curva de Rendimiento Modulo 145 W Corriente vs Voltaje a temperatura 25°C Nexpower Si-Amorfo.....	43
Figura 18- Curva de Rendimiento Modulo 145 W Corriente vs voltaje radiación 1000 Wm <sup>2</sup> Nexpower Si-Amorfo.....	44
Figura 19 Curva de Rendimiento Modulo 95 W Corriente vs voltaje radiación 1000 Wm <sup>2</sup> Nexpower Si-Amorfo.....	44
Figura 20 Inversor GROWATT 20000TL3-US. ....	45
Figura 21 Ubicación correcta para montaje del inversor. ....	46
Figura 22 Distancias mínimas alrededor del inversor en el caso de multi-inversores.....	47
Figura 23 Dibujo del inversor y sus componentes. ....	47
Figura 24 Esquema del Circuito de conexión del inversor. ....	49
Figura 25- Curva de Eficiencia del inversor.....	51
Figura 26.- Estructura GrasoL.....	52
Figura 27- Vista lateral de estructura GrasoL.....	53
Figura 28 Vista Frontal de estructura GrasoL.....	53
Figura 29.- Ubicación Geográfica tomada por GOOGLE EARTH.....	55
Figura 30 Estructura de los módulos. ....	60
Figura 31 Grafica Producción Eléctrica Mensual del sistema de 95 W parte de la capacidad total de 108 kWp. ....	64
Figura 32 Grafica Producción Eléctrica Mensual del sistema de 145 W parte del sistema 108kW.....	68
Figura 33 Grafica Producción Eléctrica Mensual del sistema de 145 W y 95 W. ....	70
Figura 34 Grafica Producción Eléctrica Anual del Sistema 108 kW.....	71
Figura 35.- Hueco en estructura para a completar panel.....	73
Figura 36 Gabinete panel de 145 W fotografía original del sistema. ....	73

Figura 37 Gabinete No 1 panel de 95 W .	76
Figura 38.- Fotografía Tomada instalaciones USPR AGROINDUSTRIAS DE CABORCA. ....	78
Figura 39 Caja Combinadora del sistema, dentro barra o bus de paralelismo de tierras físicas. .....	81
Figura 40- Angulo de Azimut. ....	82
Figura 41 Grafico de Irradiación mensual con $\beta=0$ . ....	84
Figura 42 Grafico de Irradiación mensual con $\beta=0^\circ$ .....	85
Figura 43 Grafico de Irradiación mensual con $\beta=0^\circ$ .....	86
Figura 44 Grafico de generación vs ahorro. ....	89
Figura 45 Grafico de costo de energía eléctrica .....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Instalaciones en Campos Agrícolas en Sonora. ....	14
Tabla 2- Criterio de nivel de voltaje. ....	16
Tabla 3- Resume de trámites. ....	19
Tabla 4- Comparación de Tecnología de película delgada y silicio cristalino. ....	27
Tabla 5- Relación de Cargas de USPR AGROINDUSTRIAS DE CABORCA DE R.I, .....	33
Tabla 6- Facturación Eléctrica anual de USPR AGROINDUSTRIAS DE RI. ....	34
Tabla 7- Especificaciones Mecánicas Modulo 95 W .....	39
Tabla 8- Especificaciones Mecánicas Modulo 145 .....	40
Tabla 9- Características Modulo 145 w Nexpower. ....	41
Tabla 10- Características Modulo 95 w Nexpower Si-Amorfo. ....	41
Tabla 11- Descripción física del inversor 20Kw TL3-US .....	47
Tabla 12- Dimensiones del inversor GROWATT 20000TL3-US. ....	48
Tabla 13- Dimensiones del inversor GROWATT 20000TL3-US. ....	50
Tabla 14- Ficha técnica de la estructura GRASOL. ....	54
Tabla 15- Parámetros de resistencia y densidad especifica de los materiales, Mecánica de suelos realizada por Geotecnia del Noroeste S. A. de C.V. 2014. ....	56
Tabla 16- Tabla datos de la estructura Grasol .....	61
Tabla 17- Resultados rango de seguridad perdidas por sombreado. ....	62
Tabla 18- Tabla comparativa de producción Eléctrica Anual del Sistema. ....	63
Tabla 19- Producción Eléctrica Mensual del sistema Panel 95 W parte de la capacidad total de 108kWp. ....	66
Tabla 20 - Producción Eléctrica Mensual del sistema Panel 145 W parte de la capacidad total de 108kWp. ....	67
Tabla 21- Tabla del sistema completo de 95 W y 145 W en total 108kw. ....	69
Tabla 22- Calculo de dimensionamiento panel con módulos de 95 W. ....	72
Tabla 23- Calculo de dimensionamiento panel con módulos de 145 W. ....	74
Tabla 24- Relación de cargas Fotovoltaica 108kW .....	75
Tabla 25- Capacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60 °C a 90 °C. ....	79
Tabla 26- Producción Anual un panel de 160 módulos de 95 W a 25° .....	83
Tabla 27- Producción Anual un panel de 160 módulos de 95 W a 50° .....	85
Tabla 28- Producción Anual un panel de 160 módulos de 95 W a 15° .....	85

Tabla 29- Estudio de factibilidad del proyecto.....	88
Tabla 30- Valor de Emisiones de CO <sup>2</sup> .....	90
Tabla 31- Calculo de Reducción de Emisiones de CO <sup>2</sup> al ambiente con la planta de 108kWp.	91

**SIGLAS:**

- SFA: Sistema Fotovoltaico Autónomo.
- SFV: Sistema Fotovoltaico.
- SFCR: Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red.
- TCO- Óxido transparente conductor
- PVD- Physical vapour deposition (Deposición física de vapor).
- PECVD- Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition.
- CIGS- Copper indium gallium selenide (Cobre Indio Galio Selenio)
- EPIA- Asociación de la Industria Fotovoltaica Europea
- GD- Generación distribuido.
- SEN- Sistema Eléctrico Nacional
- SEL- Sistema Eléctrico Local.
- FED- Fuente de Energía Distribuida
- PI- Punto de Interconexión

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el mundo se está enfrentando una problemática energética (crisis energética), debido al agotamiento de las reservas mundiales de combustibles fósiles los cuales son utilizados para la producción de energía eléctrica en las diferentes centrales de potencia. Una de las principales razones de esta crisis energética es debido al aumento en la demanda de energía del sector residencial, comercial e industrial, dando como resultado los altos costos de la energía eléctrica y una inestabilidad económica mundial.

Frente a esta crisis y los aumentos en el costo de la energía eléctrica nace la necesidad del mejor aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles, Por otro parte se está impulsando el aprovechamiento de los diferentes tipos energías renovables como por ejemplo: la energía solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, etc.

Los sistemas fotovoltaicos posibilitan la transformación de la energía que contiene la radiación solar como energía eléctrica. Estos sistemas se caracterizan por un grado de autonomía respecto al clima, lugar geográfico y otras condiciones que no ofrecen otras fuentes de energías renovables. Frente a las energías convencionales, la energía solar fotovoltaica presenta la característica de ser una fuente ilimitada de energía, por tratarse de energía renovable.

En este capítulo a manera de presentación de los fundamentos de los sistemas fotovoltaicos se describe de forma general la tecnología solar fotovoltaica, planteamiento del problema, objetivo general y objetivos particulares, todo lo anterior con el fin de tener un panorama general y fundamental de este trabajo de tesis.

## 1.1 NIVELES DE RADIACIÓN.

La radiación es transferencia de energía por ondas electromagnéticas y se produce directamente desde la fuente (sol) hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, pueden atravesar el espacio interplanetario y llegar a la Tierra desde el Sol.

Estas ondas tienen diferentes longitudes, el conjunto de todas las longitudes de onda se denomina espectro electromagnético. El conjunto de las longitudes de onda emitidas por el sol se denomina espectro solar. Las proporciones de radiación solar que llega a las diferentes regiones del espectro aproximadamente son: Ultravioleta 7%, luz visible 43%, Infrarrojo 49% y el resto 1% como se puede apreciar en la (Ver Figura 1)

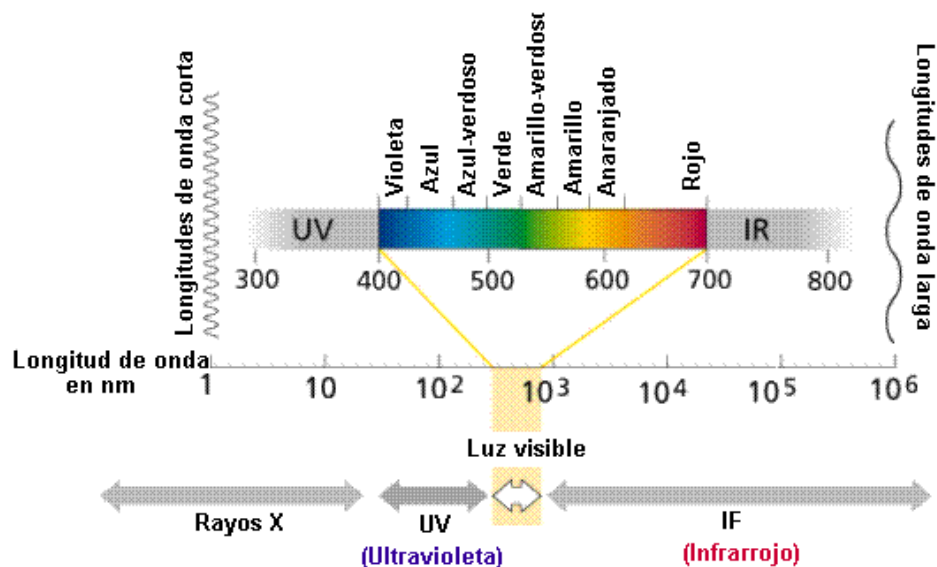


Figura 1 - Espectro de la radiación visible y longitudes de onda asociadas al mismo

[http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema\\_11.htm](http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_11.htm)

La energía solar adquiere un papel más relevante en la economía energética del país, siendo la tecnología fotovoltaica, una generadora de fuentes de empleos y oportunidades de negocio. Actualmente en México es posible hacer uso de la energía eléctrica generada por el uso de paneles fotovoltaicos o sistemas de concentración solar utilizando la radiación directa.

México destaca en el mapa mundial de territorios con mayor promedio de radiación solar anual, con índices que van de los 4.4 kWh/m<sup>2</sup> por día en la zona centro, a los 6.3 kWh/m<sup>2</sup> por día en el norte del país, resulta fundamental la adopción de políticas públicas que fomenten el aprovechamiento sustentable de la energía solar en nuestro país. (Brown., 2012) (Ver Figura 2)

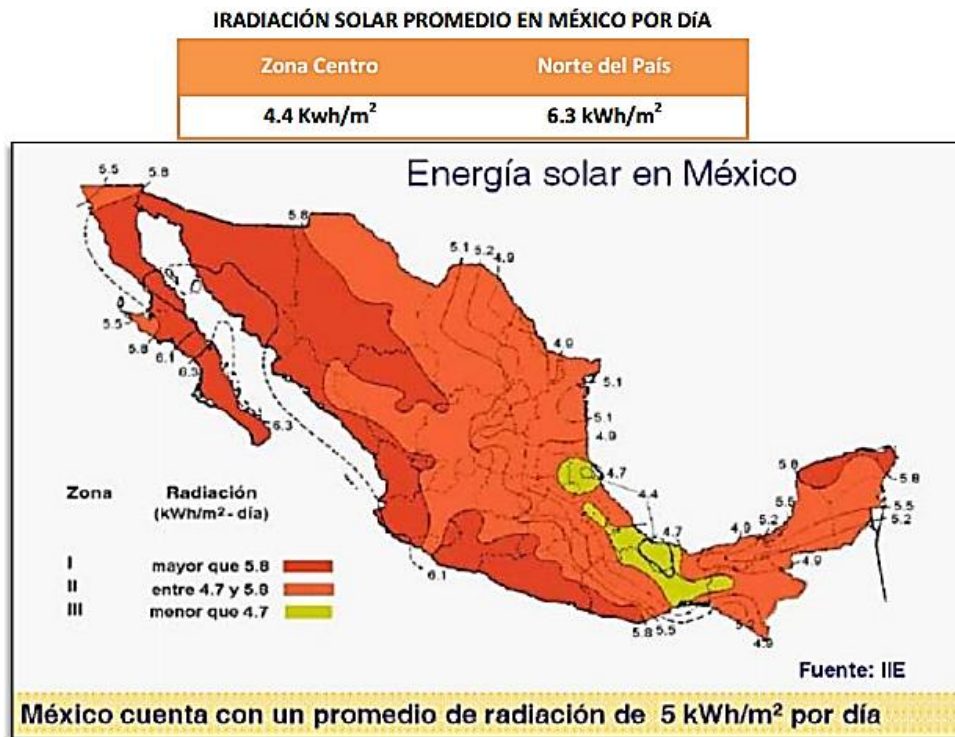


Figura 2 - Mapa de radiación solar, México, kWh/m<sup>2</sup> al día. Instituto de Investigaciones Eléctricas

<http://vmwl1.iie.org.mx/sitioIIE/sitio/indice.php>

Zona Norte: Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Sinaloa. Zona Norte: Incluye Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Sinaloa.

Zona Centro: Distrito Federal, México, Veracruz, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Guerrero, Morelos.

Zona Sur: Oaxaca, Chiapas, Tabasco.

La Radiación Normal Directa es 50% más alta que la radiación reflejada o difusa en otras regiones de México como por ejemplo en el estado de Sonora donde se alcanzan de 7 a 8 kWh/m<sup>2</sup> por día (dependiendo la época del año) en promedio anual, igual en los estados de Baja California, Chihuahua, norte de Durango, Coahuila, norte de Zacatecas, el oeste de San Luis Potosí, el suroeste de Oaxaca, el este de Jalisco, el norte de Guanajuato y el sur de Puebla. Regiones con radiación Normal Directa entre 6 y 7 kWh/m<sup>2</sup> por día Sinaloa, Nayarit, Durango, sur de Zacatecas, Aguascalientes, Guerrero, una parte de Michoacán, una parte de Jalisco, Colima, Querétaro, el este de Hidalgo, como se puede observar en la Figura 1.2 (Brown., 2012)

En México los desiertos podrían satisfacer de sobra los requerimientos energéticos. Con la radiación de 0.3% que recibe la superficie de Sonora con una extensión aproximada de unos 604 km<sup>2</sup>, podría generarse todo el consumo eléctrico nacional (203,638 GWh en 2007, según la Secretaría de Energía).

Es necesario cuantificar la energía solar que recibe en territorio nacional para poder documentar la competitividad de su explotación frente a las alternativas convencionales. Pese a que los niveles de irradiación en el noroeste del país son ideales para instalar un campo de módulos fotovoltaicos y así generar electricidad, hasta la fecha no se ha aprovechado esta posibilidad como debiera.

Sonora recibe una radiación mayor a los 6 kWh/m<sup>2</sup> al día promedio, y resulta que aunque eso es apenas un kilowatt hora más que el promedio nacional, lo coloca en la lista de los estados con mayor potencial eléctrico. El potencial de Sonora rebasa también al de los líderes en captación de energía solar, como España y Alemania. Según datos del Sistema Geográfico de Información Fotovoltaica de la Comisión Europea, Sevilla recibe una radiación de 4.7 kWh/m<sup>2</sup> al día, mientras que Leipzig, Alemania (donde se encuentra una de las plantas solares más importantes del mundo), recibe 2.7 kWh/m<sup>2</sup> al día. Sonora los supera con 1.3 y 3.3 kWh/m<sup>2</sup> al día, respectivamente. Y esta ventaja numérica viene acompañada de la ventaja operativa que se deriva de la duración del día, porque mientras que la mayoría de las ciudades alemanas reciben 4 horas diarias de radiación en promedio, Sonora tiene de 7 a 8 horas al día, de marzo a octubre. Con el 0.3% de la superficie del estado se podría generar todo el consumo eléctrico nacional. (Brown., 2012)

El aprovechamiento del recurso solar es ilimitado, ejemplo: la generación eléctrica sin necesidad de combustibles fósiles, bajo costo en su mantenimiento y escasos riesgos de avería ya que los componentes de un sistema fotovoltaico son resistentes al medio ambiente. Los beneficios medioambientales propios de una fuente de energía no contaminante e inagotable es la disminución de gases contaminantes a la atmósfera tales como  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $Pb$  etc.

Introducen en la red eléctrica energía limpia generada con radiación solar y evitan la generación de electricidad mediante otros métodos produciendo emisiones de efecto invernadero. En perspectiva, un sistema fotovoltaico no genera emisiones contaminantes en comparación a una planta eléctrica a base de carbón que por cada 10 kWh generados con carbón, se emiten aproximadamente 10 kg de  $CO_2$  a la atmósfera. Una ventaja más es el acceso a ayudas públicas en forma de créditos ventajosos (a nivel nacional) y subvenciones a fondo perdido (nacional y según la comunidad autónoma). (Sánchez, 2005)

## 1.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. La energía solar se transmite por el espacio en forma de fotones de luz. Estos fotones atraviesan la atmósfera terrestre perdiendo parte de su energía por los impactos con la misma. Cuando fotones de un determinado rango de energía chocan con átomos de ciertos materiales semiconductores (el Silicio es el más representativo) les ceden su energía produciendo un desplazamiento de electrones que se convierten en una corriente eléctrica. (Brown., 2012)

En el estado de Sonora, por estar en una zona privilegiada está aprovechando este fenómeno para la producción de energía eléctrica, por mencionar algunos casos de las instalaciones en campos agrícolas en el estado de Sonora. (Ver tabla 1)

Tabla 1 Instalaciones en Campos Agrícolas en Sonora.

Instalaciones en campos agrícolas en el estado de Sonora.						
Nombre Campo	Ciudad	Potencia kWh	Marca Modulo	No. Módulos	Inversor	No. Inversores
Santa Cecilia	Caborca Son.	39.82	NexPower 135 W	295	REFUSOL 20kW	2
Santa Inés	Caborca Son.	64.8	NexPower 135W	480	REFUSOL 20kW	3
Don Nacho	Caborca Son.	64.8	NexPower 135W	480	REFUSOL 20kW	3
San Gabriel	Caborca Son.	64.8	NexPower 135W	480	REFUSOL 20kW	3
Residencial Pedregal	Hermosillo Son.	6.5	RENESOLA 250W	25	RENESOLA 3kW	2

### 1.3 TIPOS DE CONFIGURACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los sistemas fotovoltaicos aprovechan la radiación solar local disponible para la producción de electricidad. Las instalaciones se pueden clasificar en dos:

- Instalación aislada de la red eléctrica: Dando lugar a los denominados sistemas fotovoltaicos autónomos, son un conjunto de elementos interconectados entre sí con el fin de proporcionar energía eléctrica a una determinada carga como por ejemplo para electrificación rural, señalización, comunicaciones, bombeo de agua, etc.
- Instalación conectada a la red eléctrica: Son aquellos cuya instalación está motivada por la inyección de energía eléctrica como apoyo a las centrales fotovoltaicas y edificios conectados a red.

El generador FV está formado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o paralelo, y a su vez cada módulo fotovoltaico está formado por unidades básicas llamadas celdas fotovoltaicas. La potencia que puede suministrar una celda FV típica es del orden de 3 W. Este valor resulta pequeño para la mayoría de las aplicaciones, lo que provoca que el fabricante las agrupe conectándolas en serie y/o paralelo para formar los módulos FV. La potencia que puede suministrar un módulo FV dependerá del número de células que posea.

#### 1.3.1 Sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA)

Los sistemas fotovoltaicos autónomos son los más antiguos pero son de pequeña escala habitualmente de entre 3 y 10 kWp en comparación a los interconectados pueden llegar de mediana hasta de gran escala o también llamados permisionarios, sin embargo existen aplicaciones como son el bombeo de agua, alimentación de equipos de telecomunicaciones, iluminación y señalización en lugares aislados etc. (Lorenzo, 2014) Los sistemas autónomos resultan ser más tediosos a la hora de averiguar el valor de la potencia de cada una de las cargas que lo compondrán y multiplicarlo por el número de horas de funcionamiento al día (suponiendo el consumo de energía constante a lo largo del tiempo para cada una de las cargas) aunque este método también da lugar a la incertidumbre ya que es difícil determinar el número de horas que cada carga pueda funcionar y éste número de horas variará según las épocas del año.

Los elementos fundamentales de un sistema fotovoltaico aislado son:

- Regulador: Se encarga de controlar la carga de las baterías, así como la descarga y evitar cargas o descargas excesivas. De un modo sencillo, un regulador se puede entender como un interruptor, cerrado y conectado en serie entre paneles y batería para el proceso de carga, y abierto cuando la batería está totalmente cargada.
- Baterías: Se encargan de acumular la energía eléctrica generada por el sistema de generación fotovoltaico para poder disponer de ella en las horas del día que no luzca el sol. Un ejemplo para este tipo de instalaciones son las estacionarias de plomo ácido, con vasos de 2 V cada uno, que se dispondrán en serie y/o paralelo para completar los 12, 24 o 48 Vdc que sea adecuado en cada caso.

El criterio donde se utiliza a la hora de escoger el nivel de voltaje del módulo fotovoltaico que se necesita para el sistema fotovoltaico se podría resumir, de modo genérico, en la siguiente (Ver Tabla 2)

Tabla 2- Criterio de nivel de voltaje.

<http://ingemecanica.com/ingenieria/proyectos/proyecto106.pdf>

Potencia demandada por las cargas (W)	Tensión de Trabajo (V)
Menor de 1.500	12
1.500 - 5.000	24 o 48
Mayor de 5.000	120 o 300

- Inversor u Ondulador: Si las cargas que debemos alimentar son a 230 VAC se necesita un equipo que transforme la corriente continua procedente del regulador en corriente alterna para alimentar las cargas. Esta es la función del inversor. Al dimensionar el inversor, se tendrá en cuenta la potencia que demanda la suma de todas las cargas AC en un instante, de este modo se elegirá un inversor cuya potencia sea un 20% superior a la demandada por las cargas, suponiendo su funcionamiento al mismo tiempo.

Se presenta los dos tipos de esquemas de energía solar autónoma según su carga. En la figura 3 se presenta el esquema utilizado cuando las cargas son en corriente continua tales como iluminación o equipos de corriente continua.

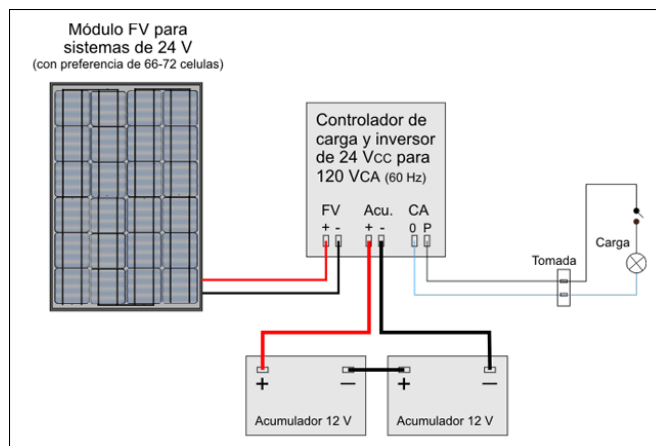


Figura 3- Esquema de sistema FV autónomo para carga DC.

[http://www.riosolar.com/img/FV\\_MPPT\\_Bateria\\_Inversor.gif](http://www.riosolar.com/img/FV_MPPT_Bateria_Inversor.gif)

En la figura 4 se presenta el esquema utilizado cuando las cargas requeridas de corriente alterna con la ayuda de un inversor para convertir de DC a AC tales como motores en bombeo, electrodomésticos etc.

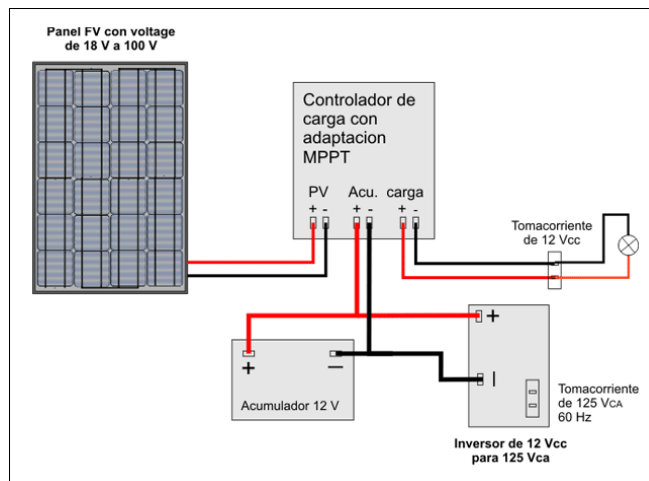


Figura 4. Esquema de sistema FV autónomo para carga AC.

[http://www.riosolar.com/img/FV\\_MPPT\\_Bateria\\_Inversor.gif](http://www.riosolar.com/img/FV_MPPT_Bateria_Inversor.gif)

Si se compara las figuras podemos observar que la 3 no dibuja en su diagrama el inversor dado que en ese caso solo alimenta de energía la iluminación por lo tanto no es necesario un inversor ya que su función es convertir de energía directa a continua, en la segunda figura 4 alimenta motores o electrodomésticos este tipo de equipos si necesitan el inversor porque su funcionamiento es en corriente continua.

### 1.3.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR)

Las principales componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red son:

- Generador fotovoltaico, que es el elemento encargado de transformar la luz del sol en electricidad
- Inversor DC/AC, elemento acondicionador de la potencia producida cuya función es adecuar la energía generada por el arreglo a las características eléctricas de la red para su conexión a ésta.

Un arreglo o generador fotovoltaico está constituido por un determinado número de módulos o unidades fotovoltaicas individuales. El número de unidades depende de la potencia nominal requerida en el arreglo y de la potencia pico de los módulos seleccionados.

El voltaje de salida del arreglo, que corresponde al voltaje de operación del inversor, se obtiene mediante la conexión en serie de un número determinado de módulos; y la potencia, a través de la conexión en paralelo de dichas series. La potencia nominal de los módulos normalmente está entre 50 y 200 Wp, aunque hoy en día algunos fabricantes ofrecen módulos arriba de 300 Wp.

En México, al igual que en muchos otros países en desarrollo, el uso de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red tiene una penetración y desarrollo aún incipiente.

El acondicionamiento de la potencia eléctrica generada por el arreglo fotovoltaico (DC) – indispensable para la conexión de éste a la red eléctrica convencional se realiza mediante un inversor (DC/AC) que convierte la corriente directa producida por el generador fotovoltaico a corriente alterna, en fase y a la frecuencia de la red para una conexión segura y confiable del sistema a ésta. La eficiencia de los inversores es generalmente mayor a 90% cuando éstos operan arriba del 10% de su potencia nominal. (Raúl González Galarza, 2003).

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. Uno de los factores favorables de los sistemas conectados a la red, es la posibilidad de mejorar la calidad del servicio de la energía suministrada por la red, ya que la máxima producción del sistema fotovoltaico coincide con horas en que los problemas de suministro para las compañías eléctricas son más graves. (Moya, 2010). En Figura 5 se presenta el esquema tipo de un sistema fotovoltaico conectado a red.

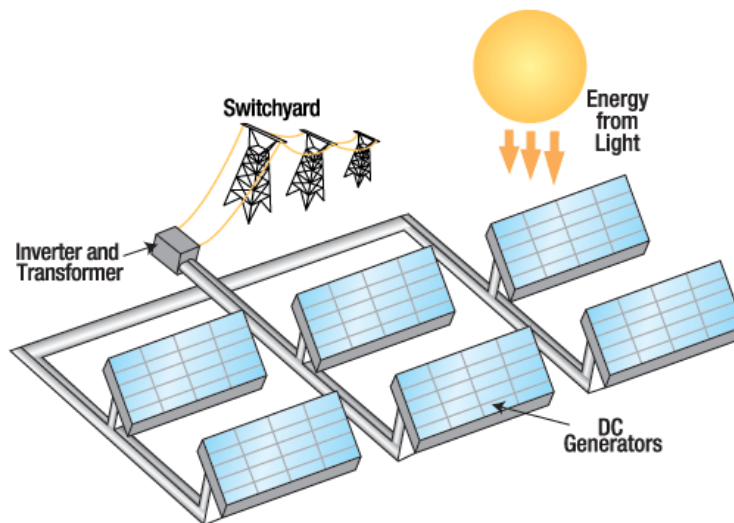


Figura 5- Esquema de Sistema Interconectado a la red.

Sánchez, Ricardo Albarracín (2005) Cálculo técnico, energético y de viabilidad económica de instalación fotovoltaica de 100 kW; Leganés

## 1.4 CLASIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

### 1.4.1 Clasificación por tamaño.

- Pequeña Escala: Se considera pequeña escala al proyecto cuya potencia máxima a instalar dependerá del tipo de servicio, y no podrá ser mayor a lo siguiente:
  - Para usuarios con servicio de uso residencial, hasta 10 kW.
  - Para usuarios con servicio de uso general en baja tensión, hasta 30 kW.

La interconexión a la red eléctrica del suministrador, de las fuentes de energía renovable y Generadores con Sistemas de pequeña escala se hará en tensiones menores o iguales a 1 kV. (Quintana, 2012)

- Mediana Escala: Se considera mediana escala al proyecto cuya potencia máxima a instalar dependerá del tipo de servicio, y no podrá ser mayor a la carga contratada con la CFE y estará limitada hasta 500 kW. La interconexión a la red eléctrica del suministrador, de las fuentes de energía renovable y generadores con sistemas de cogeneración en mediana escala se hará en tensiones mayores a 1 kV y menores a 69 kV. (Quintana, 2012)
- Permisos: Un permisionario es una persona física o moral que solicitó y obtuvo de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) el permiso necesario para generar energía eléctrica bajo alguna de las modalidades establecidas en la que no corresponden a servicio público. En este sentido, y para sistemas de cogeneración con capacidad mayor de 500 kW, que se interconecten en tensiones mayores a 1 kV y hasta 400 kV, que requieran hacer uso del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) para portear energía a sus puntos de carga y que decidan acreditarse como cogeneración eficiente, deberán solicitar el otorgamiento del permiso de cogeneración de energía eléctrica con la CRE antes de solicitar un contrato de interconexión con la CFE. (Quintana, 2012) (Ver tabla 3)

Tabla 3 – Resume de trámites.

<http://conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7665/1/cogeneracion.pdf>

Modalidad	Capacidad kW	Permiso CRE	Interconexión CFE
Generadores	10 > kW < 30 Pequeña Escala	No requiere permiso de cogeneración.	Requiere contrato de interconexión.
	30 > kW < 500 Mediana Escala	No requiere permiso de cogeneración.	Requiere contrato de interconexión.
Permisos	> 500 kW	Requiere permiso de cogeneración.	Requiere contrato de interconexión, convenio de instalaciones y cesión; convenio de servicios de transmisión.
	Cogeneración eficiente de acuerdo al cumplimiento con criterios mínimos de eficiencia CRE	Requiere permiso de cogeneración y acreditación de cogeneración eficiente.	Requiere contrato de interconexión, convenio de instalaciones y cesión; convenio de servicios de transmisión.

## 1.4.2 Clasificación por tipo de estructura.

La estructura se puede instalar sobre el terreno (suelo o piso) o sobre el techo o loza de una edificación. Para instalaciones sobre terreno se puede tener dos tipos de soporte: un solo punto de apoyo llamado tipo pedestal o poste; o varios puntos de apoyo. En ambos casos, los puntos de apoyo deben estar cimentados al piso o terreno, o techo.

- Estructuras fija: Sin seguimiento solar, la inclinación de la estructura debe ser igual a la latitud del lugar  $\pm 5$  según el manual de ANCE con cumplimiento a la Nom-001-SEDE-2012 y FIRCO.

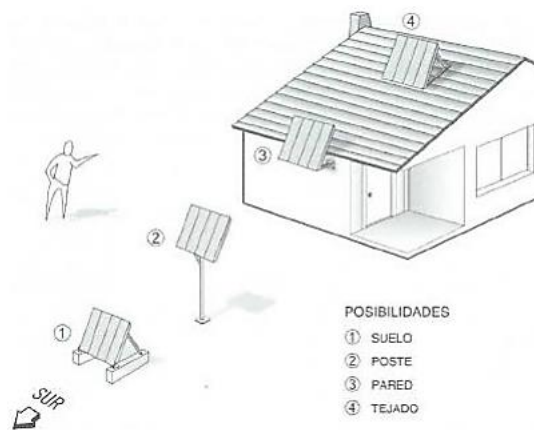


Figura 6 – Estructura Fijas

[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf)

Como se muestra en la Figura 6 se tienen varios tipos de instalaciones:

1) Es la forma clásica. Muy robusta. En esta disposición la acción del viento es menor, pues a mayor altura, mayor es la fuerza del viento. Gran facilidad para su instalación, tanto de la propia estructura soporte como de los paneles fotovoltaicos. Como inconvenientes su excesiva accesibilidad y la mayor probabilidad de que puedan producirse sombras parciales. A la mayoría de estas instalaciones se las suele proteger por medio de un cerramiento metálico. El montaje de este tipo de sustentación del conjunto solar no es demasiado apropiado para aplicaciones en montaña, donde pueda producirse la presencia de nieve, que podría llegar a dejar inmersos en ella a los paneles.

2) Usado principalmente en instalaciones donde ya se disponga de un mástil. Las instalaciones recomendadas no deben ser muy grandes, contando con poco más de un metro cuadrado de superficie de módulos, ya que si ésta es mayor, nos obligaría a sobredimensionar e incluso arristrar el mástil, siendo posible entonces que otro sistema pudiera ser más económico y de más fácil montaje. Es muy utilizado en las instalaciones de repetidores, donde ya se dispone de una antena que puede hacer las veces de mástil.

3) Consiste en acoplar la estructura a una de las paredes del recinto. Seguridad debido a la altura, estructura liviana. Puede este sistema adaptarse mediante tacos de expansión o bien

realizando una pequeña obra donde se inserte la estructura. La acción del viento queda drásticamente disminuida. El inconveniente es que una de las fachadas dé al Sur. Cualquier variación presentará problemas accesorios.

4) La instalación en la cubierta de un edificio es uno de los métodos más usados a la hora de realizar el montaje de un equipo solar, ya que normalmente se dispone del lugar adecuado para garantizar la perfecta orientación, además de suficiente espacio. Lo comentado para el caso de la instalación sobre el suelo, respecto a los problemas con la nieve, debe ser tenido también en cuenta en este caso. (Consejería de industria, 2002)

- Estructura Seguimiento

- Seguidores de un solo eje: Estos sólo tienen un grado de libertad, es decir se mueven en un solo eje de rotación. Hay varios tipos de seguidores de un solo eje, que se explica brevemente a continuación. Un solo eje horizontal. Este tipo de seguidor tiene el eje horizontal respecto al suelo. En este caso, el eje horizontal está orientado Norte-Sur, y a lo largo del día los paneles horizontales girarán sobre este eje, siguiendo el movimiento aparente del Sol. Este tipo de seguidor es aceptable en latitudes cercanas al ecuador. Un solo eje vertical. En este caso el eje está vertical respecto al suelo. En latitudes lejanas al ecuador son recomendables este tipo de seguidores. Los paneles suelen estar orientados con un ángulo respecto al eje de rotación, y cuando giran forman un cono alrededor del eje. Un solo eje inclinado.

Los seguidores de un solo eje que no sea ni vertical ni horizontal, es un seguidor de eje inclinado. Los paneles están inclinados con la misma inclinación del eje, y cuando giran forman un cilindro alrededor de este eje.

Una variación de este tipo de seguidor es la que tiene la inclinación igual a la latitud donde se encuentra la instalación, con una orientación de su eje de polo a polo. Es decir que apunte a un polo celeste, simulando con su movimiento el de La Tierra, solo que en sentido contrario. (CHÁVEZ, 2012)

- Seguidores de dos ejes: Estos tienen dos grados de libertad, es decir dos ejes de rotación. Estos ejes están típicamente perpendiculares el uno del otro. El eje primario es el que está fijo respecto a La Tierra, y el otro eje, que está referenciado al eje primario se llama eje secundario. Hay varios tipos de seguidores de dos ejes. Estos son los más comunes: Seguidor de dos ejes de inclinación. Este tipo de seguidores tienen su eje primario horizontal respecto a la tierra. El eje secundario es perpendicular al primario. Los ejes de rotación de este tipo de seguidor están típicamente alineados con el Norte magnético o con algún paralelo Este-Oeste. Uno de los ejes permite orientar al panel en su posición Norte-Sur y el otro en la posición Este-Oeste que se encuentre el Sol en el cielo. Seguidor de Acimut-Altitud. Este tipo de seguidor tiene su eje primario vertical respecto al suelo. El eje secundario es perpendicular al primario. Este tipo de seguidor de dos ejes es el más implementado debido a su sencillez en la estructura, además que no requiere estar a gran altura por sobre el suelo; esto es especialmente importante en el caso de tratarse de grandes instalaciones. Este tipo de seguidor ubica a los paneles solares frente al Sol girando alrededor de su eje vertical un

ángulo conocido como Acimut, y elevando la inclinación de los paneles a la Altitud a la que se encuentra el Sol. (CHÁVEZ, 2012)

## 1.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

- Ventajas de la energía solar fotovoltaica.
  - Medio Ambientales:
    - No contamina
    - No produce emisiones de CO<sub>2</sub> ni de otros gases contaminantes a la atmósfera.
    - No consume combustibles.
    - No genera residuos
    - No produce ruidos
    - Es inagotable
    - Reduce costos en la facturación de CFE.
- Socio-Económicas:
  - La instalación es fácil de realizar por lo que implica un bajo costo.
  - Requiere poco mantenimiento
  - Tienen una vida larga (los paneles solares duran aproximadamente 30 años)
  - Resiste condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad.
  - No existe una dependencia de los países productores de combustibles.
  - Instalación en zonas rurales desarrollo tecnologías propias.
  - Se utiliza en lugar de bajo consumo y en casas ubicadas en parajes rurales donde no llega la red eléctrica general
  - Venta de excedentes de electricidad a una comparación eléctrica.
  - Tolera aumentar la potencia mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos.(Ambiente, 2001)

Algunas desventajas de los sistemas fotovoltaicos:

- Pero además, el nivel de radiación de esta energía fluctúa de una zona a otra, y lo mismo ocurre entre una estación del año y otra, lo que puede no ser tan atractivo para el consumidor.
- Cuando se decide utilizar la energía solar para una parte importante de la población, se necesitan grandes extensiones de terreno, lo que dificulta que se escoja este tipo de energía.
- Otra de las desventajas, es que inicialmente requiere una fuerte inversión económica a la que muchos consumidores no están dispuestos a arriesgarse.
- Los lugares donde hay mayor radiación, son lugares desérticos y alejados, (energía que no se aprovecha para desarrollar actividad agrícola o industrial, etc. (ERENOVABLE.COM, 2015)

## ANTECEDENTES

### 2.1 INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CONECTADAS A LA RED (ver ANEXO VI)

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica se pueden instalar en vivienda individual, multifamiliares y pequeños comercios, así mismo, centrales de gran tamaño instalados sobre el suelo, azoteas, estacionamiento, etc. Las instalaciones solares fotovoltaicas interconectadas tienen la característica de trabajar en intercambio con la red eléctrica de una determinada región. Durante las horas de luz solar el beneficiario consume la energía eléctrica producida, mientras que cuando no se cuenta con luz solar o no es suficiente para satisfacer las necesidades del consumo, o se presenta un pico en el consumo de energía eléctrica, es la red eléctrica (el proveedor local de energía) la que garantiza el abastecimiento de la energía eléctrica necesaria.

Otro escenario de operación, sucede cuando la instalación solar produce más energía que la consumida por el beneficiario, dicho excedente es cedido a la red, para su posterior consumo cuando sea requerida por el beneficiario. Esto evita que las instalaciones utilicen baterías, lo que constituye una aplicación más directa y eficiente de la tecnología solar fotovoltaica. (Ver figura 7)



Figura 7.- Fotografía tomada en USPR AGROINDUSTRIAS DE CABORCA RI por equipo de ENILSO S de RL de CV.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA CONECTADO A RED.**

Cuando las instalaciones están ubicadas en viviendas unifamiliares o multifamiliares, se debe tener en cuenta su integración dentro del conjunto urbano con el entorno. En construcciones con techos al sur, se aprovecha la orientación para la instalación de los módulos que componen el sistema fotovoltaico. Mientras que para techos no orientados, pisos o suelo, la estructura del sistema fotovoltaico se orienta al sur verdadero en caso de ser sistemas fijos. Los sistemas se sitúan en espacios libres de sombras que puedan producir árboles o edificios cercanos a la zona.

El ángulo de inclinación según la NOM-001 SEDE 2012 tiene que ser  $\pm 5$  la latitud del lugar del proyecto, solo cuando se trata de suministrar el máximo de energía independiente para reducir costos en la facturación de Comisión Federal de Electricidad CFE. Actualmente se trata de diseñar el arreglo óptimo para la producción energía eléctrica, sin sobredimensionar o sub-dimensionar, basado en un estudio detallado de los consumos mensuales y la facturación de los recibos de energía eléctrica.

## **2.3 COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA A RED.**

Un sistema fotovoltaico conectado a la red es la opción más viable para cualquier tipo de fuente renovable para suministros de baja o media tensión, ya que reduce su costo considerablemente en comparación a cualquier tipo de almacenamiento de energía.

No se requiere permiso para generación de energía esto según *Conuee - Guía Práctica de Trámites y Permisos para Proyectos de Cogeneración de Energía Eléctrica en México*, para usuarios de Comisión Federal de Electricidad se requiere un contrato de suministro de energía eléctrica en la tarifa aplicable, durante el tiempo que dure la interconexión de la fuente con la red.

El sistema funciona de tal manera que la energía excedente generada se entrega al suministrador. Este se acumula en una bolsa virtual de retorno, devolviéndose en el mismo mes o en meses subsecuentes en un lapso máximo de 12 meses según el contrato de pequeña o mediana escala de la Comisión Federal de Electricidad (Ver Anexo VI)

Los componentes que forman parte del sistema fotovoltaico se expresan en el siguiente esquema unifilar (Ver figura 8)

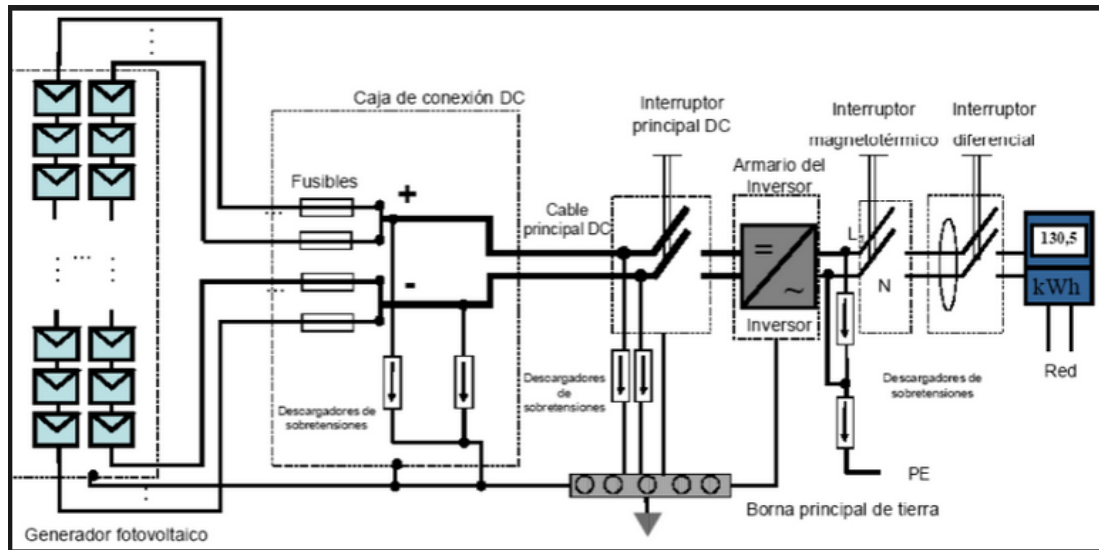


Figura 8 Esquema unifilar de un sistema fotovoltaico conectado a la red.  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Esquemaunif.png>

Los elementos que componen la instalación son:

- Generador fotovoltaico
- Inversor
- Medidor direccional
- Protecciones

## 2.4 GENERADOR FOTOVOLTAICO; CÉLULAS DE PELÍCULA DELGADA.

Los módulos de película delgada se fabrican mediante un proceso de asentamiento o depositado directamente el semiconductor sobre un sustrato rígido o flexible que entra a formar parte del módulo fotovoltaico. Se manejan semiconductores con alto coeficiente de absorción, de tal manera que es suficiente con pocas micras de material.

Permitiendo un proceso de fabricación mucho más económico, pues se utiliza menor cantidad de materia prima, siendo a si el consumo energético en la fabricación mucho menor, lo que se traduce en tiempos de retorno energético muy reducidos por su elaboración.

Las tecnologías de película delgada engloban principalmente, se fundamentan en telururo de cadmio (CdTe), silicio amorfo hidrogenado (a- Si: Hi), y diseleniuro de cobre-indio-galio (CIGS).

En general, los módulos de película delgada constan de una cubierta frontal, una cubierta posterior, una capa encapsulante y varias capas que forman el mecanismo fotovoltaico. A diferencia de los módulos de silicio cristalino, no hay encapsulante entre el dispositivo fotovoltaico y una de dos cubiertas externas, de tal modo que la mayor sensibilidad de la película delgada a la entrada de humedad y otros factores externos, el encapsulado en estos módulos es crítico. Es imprescindible el uso de materiales de elevada calidad y un control máximo de los procesos, para poder certificar la estabilidad de los módulos en el tiempo, (Ver Figura 9)

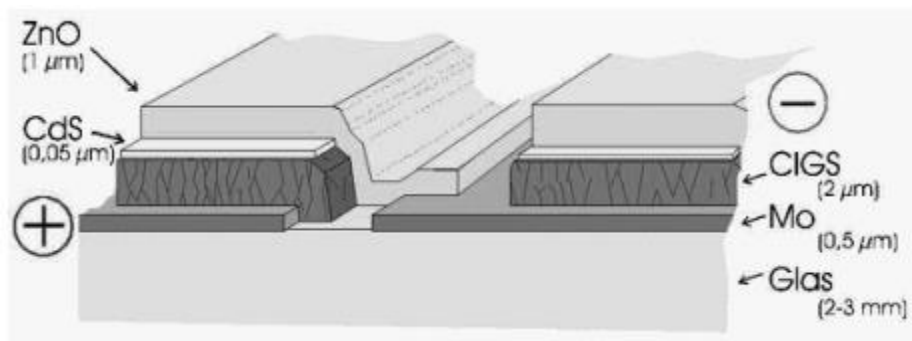


Figura 9- Esquema típico de la interconexión de un módulo de película delgada.  
[http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45348/componente45346.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45348/componente45346.pdf)

A continuación una breve comparación de la tecnología de película delgada con las restantes tecnologías, en la siguiente Tabla 4 podemos observar que la película delgada abunda el material que las componen por lo que obtenemos un bajo costo y a sí mismo la inversión toma poco tiempo en su retorno como demás ventajas descritas.

Tabla 4 Comparación de Tecnología de película delgada y silicio cristalino.

<http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/tecnologia-de-celulas-y-modulos-fotovoltaicos/Materiales/ud2/unidad-2.-tecnologias-fotovoltaicas>

	Tecnología	Eficiencia Record	Eficiencia Típica	Cuota de mercado	Ventajas	Desventajas	
Tecnologías comerciales	silicio cristalino	Mono	25%/21.4%	14-16%	33% (9,1 GW)	Altas eficiencias, tecnología madura, amplia experiencia	Costos Elevados
		Multi	20.4%/17.5%	13-15%	53%		
	Lamina Delgada	a-Si	11.90%	5-9%	5.00%	proceso económico, material no tóxico y abundante	Eficiencia baja, degradación staebler-wronski
		CdTe	16.70%	11%	5.30%	Eficiencia media proceso madura y bajo coste	Toxicidad del Cd Escases del Te
		CIGS	19.60%	10-12.5%	1.60%	Buenas eficiencias	Proceso complejo y caro
Tecnologías pre-comerciales	III-V	42.30%	20-25%	<1%	Eficiencia elevadas	Necesidad de concentración y seguimiento solar	
	Organica	8.30%	2-5%	<1%	Gran potencial de reducción de costes	Eficiencia muy baja y estabilidad limitada	
	Electroquimica	10.40%	3-6%	<1%			

## 2.5 INVERSOR CC/CA

El inversor CC/CA tiene la función de transformar la corriente continua que procede del generador fotovoltaico en corriente alterna sincronizada con la red eléctrica, en este caso Comisión Federal de Electricidad, en frecuencia y fase. Este hecho hace que la primera condición para su diseño sea el seguimiento total de los parámetros que varían constantemente en una red de distribución ya sea trifásica, monofásica o bien de alta o baja tensión.

En general para la etapa de potencia de los grandes inversores puede utilizarse la tecnología IGBT, usando para los más pequeños (5 o 6 kW) los transistores de última generación que pueden manejar elevadas corrientes. El diseño de los circuitos de control del inversor queda encomendado al uso exclusivo de microprocesadores, los cuales proporcionan un abanico de posibilidades infinito. (Moya, 2010)

### **2.5.1 Protecciones del Inversor.**

Los inversores de conexión a la red disponen de protecciones adecuadas para su funcionamiento óptimo, en base a normas para su interconexión con la red eléctrica, además de protección contra daños al personal y compatibilidad electromagnética, esto quiere decir, que debe sincronizarse con una onda senoidal pura y frecuencia. Estos equipos deben incorporar como mínimo las siguientes protecciones:

- Tensión de red fuera de márgenes.
- Frecuencia de red fuera de márgenes.
- Temperatura de trabajo elevada.
- Tensión baja del generador fotovoltaico.
- Intensidad del generador fotovoltaico insuficiente.
- Fallo de la red eléctrica.
- Transformador de aislamiento (obligatorio). (Moya, 2010)

### **2.5.2 Monitoreo de datos.**

Los inversores más avanzados utilizan microprocesadores para su funcionamiento, facilitan una cantidad de datos importantes respecto a su funcionamiento, los cuales se presentan en una página en línea donde la información puede ser consultada por el usuario, para verificar su producción ya sea mensual, anual o semanal en kWh, para vigilar la tensión e intensidad de entrada y salida, frecuencia etc. También proveen información interna del equipo como temperaturas internas de trabajo de los puentes inversores, radiación solar directa, global y temperatura ambiente.

## **3.1 MEDIDOR BIDIRECCIONAL.**

La medición digital bidireccional es para realizar el cálculo de facturación de energía, registrando la entregada y la recibida. Existen diferentes especificaciones, modelos y marcas, que cumplen los requisitos estipulados en el ANEXO VI y VIII de contrato de interconexión con fuente renovable para baja y media tensión.

- Medidores monofásicos con 4 terminales para instalaciones residenciales en baja tensión con una fase y neutro.
- Medidores bifásicos con 5 terminales para instalaciones residenciales y comerciales en baja tensión con 2 fases y neutro.
- Medidores trifásicos con 7 terminales para instalaciones residenciales y comerciales en baja tensión con 3 fases y neutro
- Medidores trifásicos con 13 terminales para instalaciones comerciales e industriales en media y alta tensión. (Elirmex, 2007)

#### 4.1 REQUISITOS DE INTERCONEXIÓN Y PROTECCIONES (Ver ANEXO VI)

El diseño de un sistema fotovoltaico debe contar con varios módulos en serie conectados y/o en paralelo con otros grupos similares, hasta alcanzar la potencia dimensionada. Los requerimientos deben ser cumplidos en el punto de interconexión aunque los dispositivos usados para cumplir estos requerimientos estén localizados en otro lugar distinto al punto de interconexión en el caso de necesitar portear la energía. Los requerimientos aplican tanto para la interconexión ya sea de una sola FED o bien para varias FED contenida en un solo SEL estipulado en el Anexo VI.

- Regulación de Tensión

La FED no deberá regular la tensión en el punto de interconexión. La FED no deberá causar que la tensión de suministro del SEN salga de lo requerido por la CFE.

- Sincronía

La FED entrará en paralelo con el SEN sin causar fluctuación de tensión mayor a  $\pm 5\%$  de los niveles de tensión del SEN en el punto de interconexión y deberá cumplir con los requerimientos de disturbios que establezca CFE.

- Energización del Sistema Eléctrico Nacional

La FED no debe energizar el SEN cuando el SEN esté des-energizado.

- Dispositivo de Desconexión

Se deberá contar con un dispositivo de desconexión accesible, con dispositivos de bloqueo.

- Condiciones Anormales de Operación

El FED deberá contar con los dispositivos de protección adecuados para desconectarse del SEN en caso de fallas en el propio SEN al cual se encuentra conectado como podrá (Ver Figura 10).

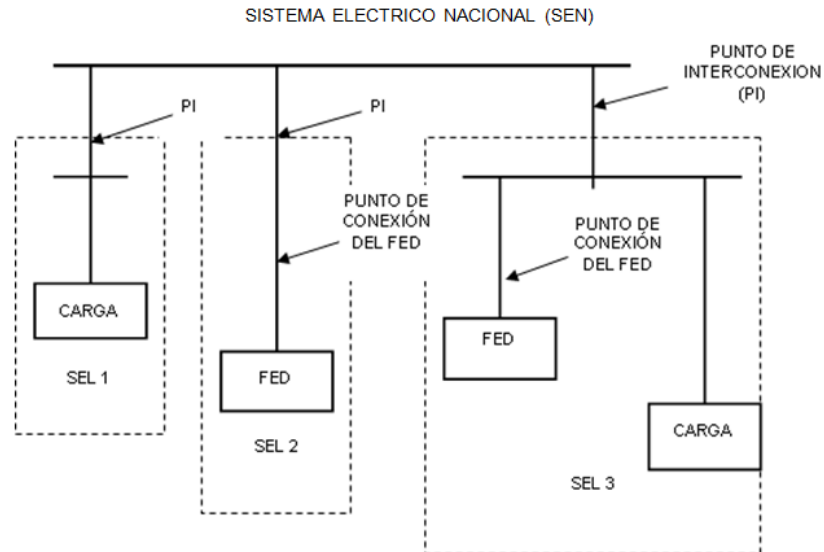


Figura - 10 Esquema de Interconexión (Ver ANEXO VI).

Respecto a las protecciones, debemos tener en consideración las elevadas tensiones de trabajo en este tipo de instalaciones, que en algunos casos pueden llegar hasta 500 V en corriente continua. Es aconsejable que el sistema fotovoltaico se proteja eléctricamente con interruptores que permitan el cortocircuito y el circuito abierto, para facilitar las conexiones y manipulaciones posteriores, así como elemento varistor o protección sobre descargas atmosféricas que eviten la inducción de picos que puedan afectar a la electrónica interna del inversor.

Si el número de módulos es elevado, distribuir por grupos la acometida de líneas, y facilitar la desconexión eléctrica de alguno de los grupos para su revisión futura, no descartando además la posibilidad de disponer de armarios separados para el polo positivo y el negativo, evitando el contacto humano accidental con tensiones elevadas. (Moya, 2010)

## 5.1 ESTRUCTURAS DE SOPORTE

- **Soporte Tipo Pedestal (Recomendado en estacionamientos).**

Puede estar enterrado y cimentado en el terreno, o bien tener una base metálica para atornillarlo a una contra base con anclas resacadas embebidas en un dado o base de concreto armado cimentado en el terreno. En ambos casos, el diseño estructural debe ser tal que la estructura no sufra flexiones cuando es sometida a cargas de viento locales. El pedestal puede ser de concreto armado o metálico y estar diseñado para soportar la carga estática de la estructura y del AFV. La altura más baja del AFV no debe ser inferior a 1.60 m en su parte más baja referenciado al nivel del suelo. (Ver figura 11)



Figura 11- Estructura Soporte Tipo Pedestal.

<http://www.cintac.cl/estructuras-fijas/>

- **Soporte varios puntos de Apoyo: (Recomendado donde se cuente con gran espacio)**

Es aquel en la que estructura esta soportada sobre un terreno horizontal por lo menos con 4 piernas, las que pueden incluir bases para sujetarse al piso según el diseño civil de la cimentación de concreto correspondiente. La sujeción puede hacerse con “anclas” roscadas embebidas en concreto, taquetes metálicos de expansión con tornillos insertados en el concreto, u otro mecanismo que garantice la firmeza de sujeción de la base de la pierna al piso o terreno. La altura de la parte más baja del arreglo fotovoltaico, no debe ser inferior a 50 cm referenciado al nivel del terreno. La separación entre las piernas debe ser tal que los largueros que soportaran a los módulos no deben presentar flexiones superiores a 3 mm en ninguna dirección derivado de la carga estática producida por el peso de los módulos (Ver figura 12)

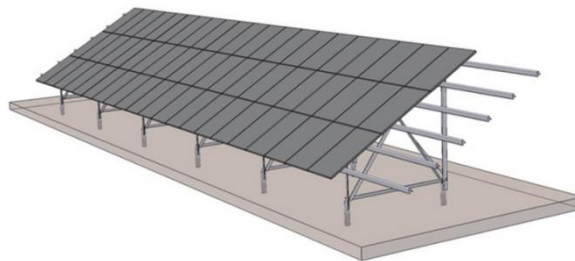


Figura 12- Estructura Soporte varios puntos de apoyo.

<http://www.asebal.com/auxiliar-balizamiento/esp/energia-solar/estructuras-asebal-instalaciones-fotovoltaicas>

- **Soportes en Techos:**

Para techos inclinados orientados al sur verdadero, con un ángulo igual a la latitud del lugar  $\pm 5^\circ$ , el anclaje al techo puede ser tal que las piernas de soporte hagan que la superficie del AFV sea paralela al techo y deben proveer una altura mínima de 50cm respecto del nivel del mismo. Para techos inclinados no orientados al sur verdadero, el anclaje al techo debe diseñarse de tal manera que la estructura quede orientada al sur verdadero e inclinada al ángulo de diseño (Ver figura 13)

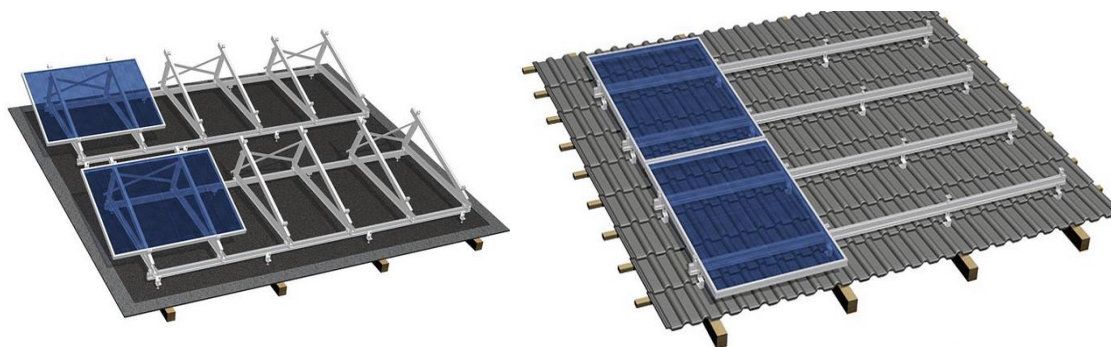


Figura 13.- Estructura Soporte en Techos.

<http://www.sflex.com/htdocs/index.php/es/estructuras/tejado-inclinado>

## 6.1 CONEXIÓN CON LA RED ELÉCTRICA

A continuación se menciona los componentes que debe cumplir cualquier instalación para su adecuada conexión a la red eléctrica.

- El Sistema fotovoltaico: requiere de una caja de conexiones donde se reciben las líneas de los módulos, por lo cual debe contar con bornes seccionables y preparadas para cortocircuitos. Esto evitará problemas posteriores y de manipulación, además facilitara la detección e identificación de módulos averiados.
- Inversor: Correspondiente la toma de tierra de uso imprescindible para estas instalaciones. La toma de tierra de ser única y general para la instalación y terminar en la toma de tierra de todos los equipos domésticos y fotovoltaicos, otra función del inversor es llevar a cabo el monitoreo de datos.
- Tablero de distribución: Independiente de estos dos contadores se encuentra el utilizado para la medida del consumo eléctrico del usuario que se dispusiera antes de la conexión a red de los módulos solares fotovoltaicos y que suele también encontrarse alojado en este caja nema, todos los elementos de medida y control se cierran con un fusible seccionador de protección, el cual une el circuito de consumo eléctrico convencional en paralelo con el circuito de generación, con la red de distribución. (Moya, 2010)

## METODOLOGÍA

### 7.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La crisis energética es un problemática que afecta a nivel mundial, como se mencionó anteriormente, genera aumentos exagerados en los costos de la energía eléctrica y un desequilibrio económico en todos los sectores. Esta problemática se presenta en el Estado de Sonora, y más en específico en U.S.P.R. AGROINDUSTRIAS DE CABORCA DE R.I con actividad agrícola en cría y engorda de cerdos en patios y lugares distintos granjas, tienen elevados costos de producción debido a las altas tarifas eléctricas a continuación se muestra la tabla 5 con alguno de sus equipos de mayor demanda.

Tabla 5 Relación de Cargas de USPR AGROINDUSTRIAS DE CABORCA DE R.I,

Fuente: Proporcionado por la empresa.

USPR AGROINDUSTRIAS DE CABORCA					
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD
1	BOMBA POZO	10 hp	2	BOMBA	3 hp
1	BOMBAS POZO	11 hp	13	LÁMPARAS	85 W
1	BOMBAS POZO	7.5 hp	2	REFLECTOR OLÍMPICO	15000 W
1	BOMBA SUM	15 hp	58	FOCOS FLÚOR	20 W
1	LÁMPARA SUB	85 W	18	REFRIGERADOR	1/2 hp
56	FOCO	85 W	18	TELEVISIONES	100 W
1	REFLECTOR OLÍMPICO	15000 W	18	AIRE ACONDICIONADOS	1 TON
1	REFLECTOR OLÍMPICO	15000 W	1	CALENTADO DE AGUA	17 A
1	MINI-SPLIT	1 TON	1	COMPRESOR	3 hp
1	REFRIGERADOR	MEDIA TON	2	AIRE ACONDICIONADOS	1 TON
3	FOCOS FLÚOR	75 W	3	AIRE ACONDICIONADOS	1.5 TON
16	FOCOS FLÚOR	85 W	1	AIRE ACONDICIONADOS	2.0 TON

El presente proyecto es una alternativa para la generación de energía eléctrica mediante un sistema solar fotovoltaico conectado a la red.

Actualmente la empresa cuenta con un suministro de energía eléctrica en tarifa H-M con un número de servicio 552920 601 670, una carga conectada de 146 kW y una demanda contratada de 146 kW. Tiene un consumo anual de 570,887 kWh, con un consumo mensual promedio de 47,574 kWh, demanda facturable promedio de 119.667 kW como se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6 Facturación Eléctrica anual de USPR AGROINDUSTRIAS DE RI.

Fuente: Elaboración por el equipo de ENILSO de SRL DE CV

Facturación Eléctrica: 12 Recibos CFE								
Número de Servicio:		552 920 601 670			Carga Conectada (kW):		146	
Tarifa:		HM			Demanda contratada (kW):		146	
Consumo de Energía kWh								
Mes	Año	Demanda Facturable kW	Consumo total kWh	FC %	Precio Medio \$	Base	Intermedia	Punta
ENERO	2014	135	69847	69%	1.62	26,711	32,068	11,118
FEBRERO	2014	134	58165	65%	1.71	23,922	25,221	9,022
MARZO	2014	126	60838	65%	1.6	25,090	26,479	9,269
ABRIL	2014	122	29921	41%	5.79	13,693	14,065	2,163
MAYO	2014	123	42242	46%	1.76	18,254	21,041	2,947
JUNIO	2013	102	42584	55%	1.65	14,738	25,026	2,820
JULIO	2013	98	37738	47%	1.56	12,456	22,661	2,621
AGOSTO	2013	101	34947	45%	1.57	12,158	20,444	2,345
SEPTIEMBRE	2013	103	53760	72%	1.61	19,967	30,389	3,404
OCTUBRE	2013	116	7711	55%	1.42	2,470	3,677	1,564
NOVIEMBRE	2013	134	57895	60%	1.69	23,168	25,857	8,870
DICIEMBRE	2013	142	75239	71%	1.64	28,564	35,643	11,032
<b>Promedio mensual</b>		<b>119.667</b>	<b>47,574</b>	<b>58%</b>	<b>1.9683</b>	<b>18,433</b>	<b>23,548</b>	<b>5,598</b>
<b>Total Anual</b>			<b>570,887</b>					

## 7.2 OBJETIVOS GENERALES.

El objetivo de este proyecto fue –elaborar el estudio técnico, constructivo y de seguridad de una instalación fotovoltaica de 108 kWp ya predefinida por el cliente y conectada a red eléctrica de media tensión para U.S.P.R. AGROINDUSTRIAS DE CABORCA DE R.I., ubicado en la Caborca, Sonora, México.

### **7.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Diseñar sistema solar fotovoltaico de 108 kW.
- Seleccionar los módulos fotovoltaicos más adecuados y convenientes para las características que la aplicación demanda.
- Definir el arreglo de los módulos que brinde la tensión y corriente requeridas.
- Seleccionar la cantidad de inversores y sus características técnicas en función de la capacidad instalada del sistema fotovoltaico.
- Realizar el diseño de la instalación incluyendo Cálculo de conductores, ductos y voltaje del sistema.
- Estudio de mecánica de suelos con relación al uso del espacio o área asignada por el usuario
- Seleccionar de las protecciones necesarias para el sistema eléctrico.
- Cuantificar los ahorros económicos al utilizar energía solar fotovoltaica.
- Cuantificar la reducción de gases contaminantes al utilizar energía solar fotovoltaica.
- Elaboración de planos y documentos relacionados al sistema fotovoltaico a diseñar.

### **7.4 ESTIMACIÓN DE FUERZA DE SOPORTE DE LA ESTRUCTURA.**

La estructura soporte, asegura el anclaje donde van montados el generador solar, proporcionando orientación y ángulo de inclinación idóneo según su dimensionamiento para mejorar el aprovechamiento de la radiación, siendo los encargados de hacer a los módulos y paneles fotovoltaicos resistentes a la acción ejercida por los elementos atmosféricos.

Suponiendo que se dispone de una superficie de paneles de 1 m<sup>2</sup>, y en la zona donde están instalados pueden producirse vientos de 200 km/h. La fórmula que expresa la presión máxima del viento es:

$$\text{Ec. 7.4 } P = \frac{F}{S} = 0.11 * V^2$$

$$F = 0.11 * V^2 * S$$

Donde el significado de cada variable es:

F	Fuerza del viento en kPa
V	Velocidad del aire en m/s
S	Superficie receptora en m <sup>2</sup>
P	Presión del viento en kPa/m <sup>2</sup>

## 7.5 ELECCIÓN DE COMPONENTES

### 7.5.1 Modulo fotovoltaico

Regularmente se elige película delgada en campos de gran extensión reservándose los policristalinos para uso residencial, una de las ventajas es que soportan temperaturas mayores a cualquier otro tipo de modulo, siendo así que la zona de estudio en sonora cuenta con temperaturas registradas de hasta 58.5 °C (137.3 F°). Los módulos de película delgada superan el desempeño de otros tipos de paneles a altas temperaturas, tienen un mejor funcionamiento con radiación difusa, es decir, que no les afecta tanto el polvo por lo que su mantenimiento se podría alargar más.

En consecuencia el modulo solar que se eligió fue el de película delgada de Silicio-Amorfo de 95 W y 145 W Marca Nexpower <http://www.nexpw.com/>

Modelo:

- NT-145AX
- BT-095RS



Figura 14 - Modulo 145 W y 95 W Nexpower

<http://www.nexpw.com/>

### 7.5.2 Información técnica del producto.

De acuerdo a la petición del cliente de generar 108 kWp se seleccionó dos tipos de módulos de la misma marca pero diferentes capacidades hasta llegar a la producción estimada el cual se menciona a continuación sus características:

- 95 W BT-095RS
  - Modelo serie Lucid + BT tiene el nivel de cualificación como la extensión de la norma IEC 61646 y 61730 TÜV -R certificación otorgada a la serie NB.
  - Disponen de diodos de by-pass para evitar el efecto “punto caliente”.
  - Datos con valores superiores representan estabilizados en condiciones de prueba estándar (STC) [Irradiación: 1000 W/m<sup>2</sup>, la temperatura de la célula: 25 °C (77 °F)].
  - Todas las clasificaciones eléctricas llevan con una tolerancia de ± 10 %.
  - garantía de potencia: Mantiene más de 90 % de la potencia nominal mínima de 10 años y más de 80 % de la potencia nominal mínima de 20 años. Células de alta eficiencia de conversión.
  - Capa antirreflectante aplicada a la superficie frontal dado una apariencia oscura y uniforme.
  - Mayor potencia en horas pico.
  - Diodos By-pass para evitar efecto de sombras.
  - Estructura probada de aluminio anodizado con acceso conveniente para el montaje, soporta alta presión del viento y cargas de nieve.
  - cuenta con su caja de conexión en cableado para su terminar positivo y negativo respectivamente marcados y con conectores MC4 para su fácil conexión.
  - Está diseñado para su aplicación BIPV con backglass efecto sin espejo.
  - Disponible en tipo semi - transparente y opaca.
- NT-145AX
  - Cuenta con las normas y certificados: IEC 61646/61730, CE, ISO 9001:2008 y ISO 14001:2004
  - Disponen de diodos de by-pass para evitar el efecto “punto caliente”.
  - Datos con valores superiores representan estabilizados en condiciones de prueba estándar (STC) [Irradiación: 1000 W / m<sup>2</sup>, la temperatura de la célula: 25 °C ( 77 °F ) ]
  - .
  - Todas las clasificaciones eléctricas llevan con una tolerancia de ± 10 %.
  - Garantía de potencia: Mantiene más de 90 % de la potencia nominal mínima de 10 años y más de 80 % de la potencia nominal mínima de 20 años.
  - Patrones visibles en la parte frontal no afectan el rendimiento del módulo contra la garantía NexPower o funcionalidad de impacto.
  - Capa antirreflectante aplicada a la superficie frontal dado una apariencia oscura y uniforme.
  - Mayor potencia en horas pico.
  - Diodos By-pass para evitar efecto de sombras.
  - Estructura probada de aluminio anodizado con acceso conveniente para el montaje, soporta alta presión del viento y cargas de nieve.
  - Cuenta con su caja de conexión en cableado para su terminar positivo y negativo respectivamente marcados y con conectores MC4 para su fácil conexión.

### 7.5.2.1 Medidas

Las medidas de los respectivos módulos seleccionados se ajustan perfectamente a la estructura, no diferencian mucho uno del otro. (Ver Figura 15 y Tabla 7)

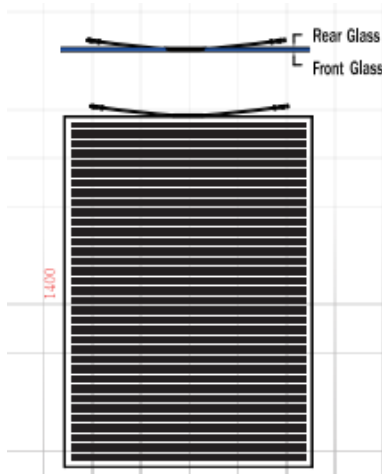


Figura 15.- Modulo 95 W Nexpower

<http://www.nexpw.com/>

Tabla 7 Especificaciones Mecánicas Modulo 95 W

<http://www.nexpw.com/>

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS	
Dimensiones [in]	55.75 x 43.93 x 1.4
Peso [lbs]	1,642.45

En el segundo modelo podemos observar que las medidas del módulo seleccionado se ajustan perfectamente a la estructura, no diferencian mucho uno del otro. Ver Figura 16 y Tabla 8

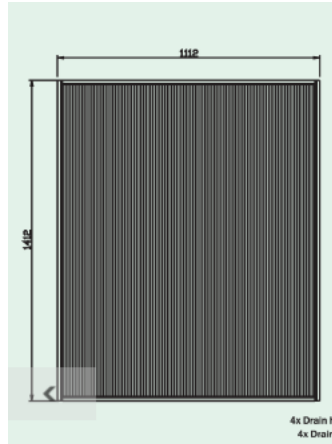


Figura 16 - Modulo 145 W Nexpower

<http://www.nexpw.com/>

Tabla 8 Especificaciones Mecánicas Modulo 145

<http://www.nexpw.com/>

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS	
Dimensiones [mm]	1412*1112*42
Peso [Kg]	19.8

### 7.5.2.2 Características Técnicas.

A continuación se detallan las características que definen los módulos y que serán necesarias para el dimensionamiento de la instalación se detallan a continuación en la Tabla 9 y Tabla 10

Tabla 9.- Características Modulo 145 w Nexpower.

<http://www.nexpw.com/>

<b>ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO:</b>	
Modelo	NT-145AX
Nominal Power [W] [ $\pm 5\%$ ]	145
Voltaje de Circuito Abierto [V]	85.5
Corriente Corto Circuito [A]	2.51
Tensión Máxima Potencia [V]	64.2
Corriente Máxima Potencia [A]	2.26
<b>COEFICIENTES DE TEMPERATURA.</b>	
Nominal Power [W]	-0.28%/ °C
Voltaje de Circuito Abierto [V]	-0.32%/°C
Corriente de corto circuito [V]	0.07%/°C

Tabla 10.- Características Modulo 95 w Nexpower Si-Amorfo.

<http://www.nexpw.com/>

<b>ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO:</b>
---------------------------------------

Modelo	BT-095RS
Nominal Power [W] [ $\pm 5\%$ ]	95
Voltaje de Circuito Abierto [V]	73.0
Corriente Corto Circuito [A]	1.30
Tensión Máxima Potencia [V]	100.0
Corriente Máxima Potencia [A]	1.62
Nominal Power [W]	-0.2%/ °C
Voltaje de Circuito Abierto [V]	+0.09%/°C
Corriente de corto circuito [V]	-0.34%/°C

### 7.5.2.3 Curva de rendimiento.

El rendimiento de los módulos FV se evalúa habitualmente en la fábrica respecto a las Condiciones de Test Estándares (STC), descritas en IEC 60904. Es un método de test conveniente que puede ser integrado en los procedimientos de producción de rutina. Las mediciones de rendimiento FV en

interiores en STC revela la producción de energía de cada módulo, en condiciones particulares de medición. Por ello, estos valores de rendimiento STC no revelan automáticamente la producción de energía FV real en el sitio específico y bajo las condiciones meteorológicas en este caso presentamos las tablas de corriente VS voltaje a temperatura ideal de 25°C (Ver figura 17,18,19), como también la curva de corriente VS voltaje sobre 1000 W/m<sup>2</sup> para calcular los valores de producción Ver tabla 7.5.4.

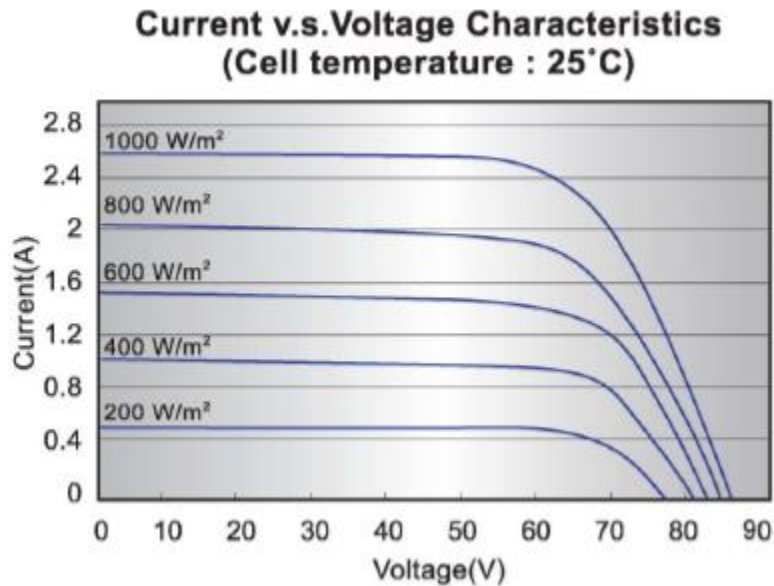


Figura 17- Curva de Rendimiento Modulo 145 W Corriente vs Voltaje a temperatura 25°C Nexpower Si-Amorfo.

<http://www.nexpw.com/>

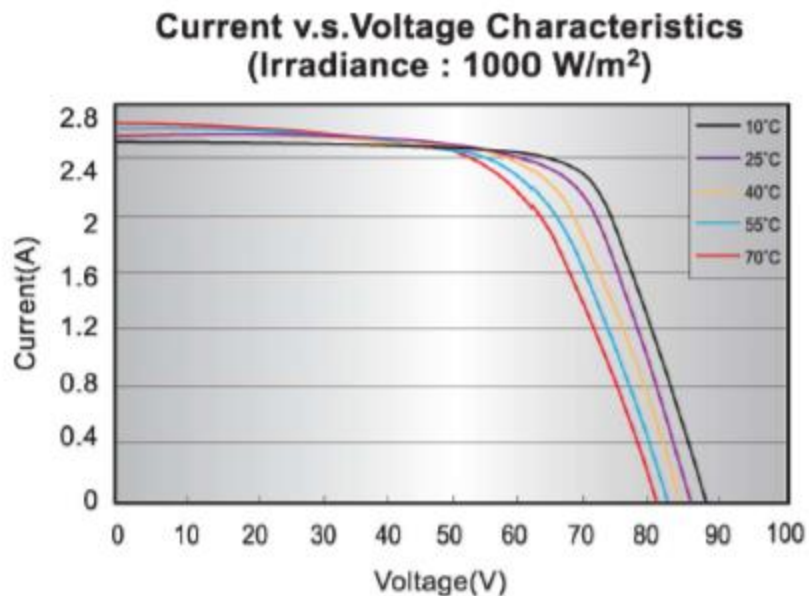


Figura 18- Curva de Rendimiento Modulo 145 W Corriente vs voltaje radiación  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$  Nexpower Si-Amorfo.

<http://www.nexpw.com/>

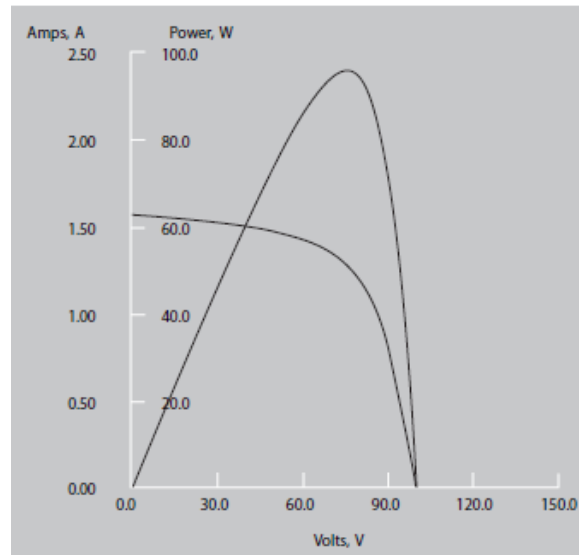


Figura 19 Curva de Rendimiento Modulo 95 W Corriente vs voltaje radiación  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$  Nexpower Si-Amorfo.

<http://www.nexpw.com/>

## 7.6 INVERSOR CC/CA DE POTENCIA 20 KW.

Como inversor se seleccionó el modelo GROWATT 20000TL3-US trifásico. Por sus características permite combinar dos diferentes potencias de módulos, en el caso de otros inversores al momento de detectar combinaciones de diferentes tipos de módulos no prenden, marcando error.

Siendo duradero y cumple con el manual de ANCE basado de Sistemas de energía solar fotovoltaica en cumplimiento con especificaciones FIRCO y la NOM-001-SEDE-2012.” Para abastecer la producción a generar se necesitaran 5 inversores de 20 kW GROWATT.(Ver figura 20)

### 7.6.1 Información técnica del producto.



Figura 20 Inversor GROWATT 20000TL3-US.

<http://www.ginverter.com/>

- DC Protección contra polaridad inversa.
- Eficiencia del 99%.
- Procesador de señales digitales (DSP).
- Atractiva relación precio/rendimiento.
- Bajo peso y poca necesidad de espacio.
- Garantía del fabricante de 20 años.
- Norma UL 1741, UL 1998, IEEE 1547, FCC part 15(Class B), CSA C22.2 No. 107.1
- Salida sobre la protección actual
- DC calificación interruptor para cada MPPT sobretensión en salida protección varistor.
- Monitorización de defecto a tierra monitorización de red.
- Integrado en todos los polos sensibles.
- Unidad de supervisión de corriente de fuga.
- Max. Eficiencia 99%, Euro - eta 98.5% y MPPT eficiencia 99.5%

### 7.6.2 Instalación del inversor GROWATT 20000TL3-US

Guía del instalador para elegir un lugar de montaje adecuado para el inversor. Con el fin de evitar posibles daños al dispositivo y operadores, se debe considerar:

- La pared seleccionada para instalar el inversor debe ser fuerte y lo suficientemente firme para apoyar y soportar el peso del inversor por un largo período de tiempo.
- La ubicación seleccionada debe ser adecuada para inversores dimensión.
- No instale el inversor en estructuras construidas de inflamables o termo materiales lábiles.

- Nunca instale el inversor en el ambiente de poca o ninguna corriente de aire, ni el polvo medio ambiente.
- La tasa de Protección de entrada es IP65 que significa que el inversor se puede instalar al aire libre y bajo techo.
- No exponga el inversor a la luz solar directa, a fin de evitar el poder y desclasificación eficiencia provocada por el calentamiento excesivo.
- La humedad de la ubicación de la instalación debe ser 0 ~ 95% sin condensación. La temperatura ambiente del inversor debe ser -25 ~ + 60
- El lugar de instalación debe ser libre y seguro de conseguir en todo momento.
- Instalación vertical y asegúrese de que la conexión del inversor debe ser hacia abajo. Nunca instale horizontal y evita hacia adelante y hacia los lados de inclinación. (Ver Figura 21).

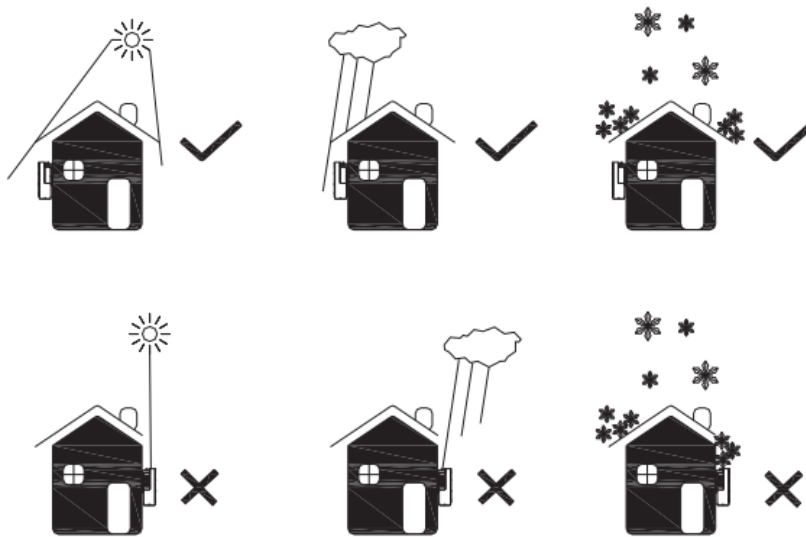


Figura 21 Ubicación correcta para montaje del inversor.

<http://www.ginverter.com/>

El caso de este sistema fotovoltaico es necesario múltiples inversores para poder abastecer la capacidad solicitada, por lo que a continuación se muestra la figura 22 las distancias mínimas alrededor de cada inversor de manera adecuada para su montaje para su mejor aprovechamiento según el manual del modelo.

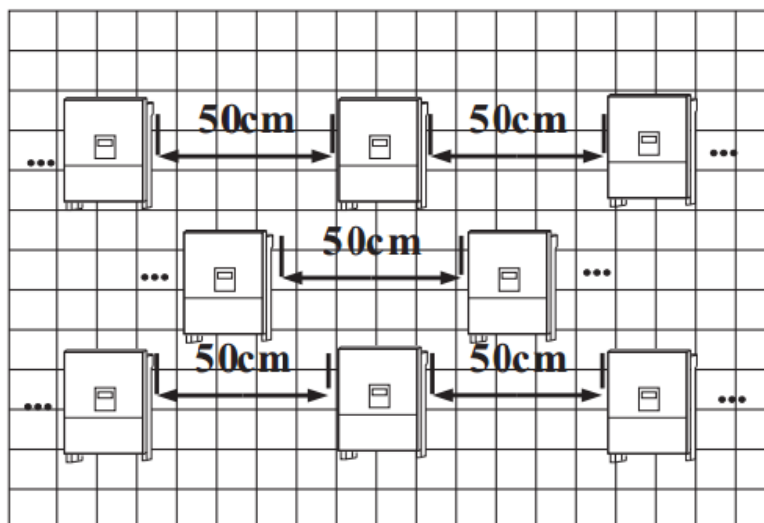


Figura 22 Distancias mínimas alrededor del inversor en el caso de multi-inversores.

<http://www.ginverter.com/>

### 7.6.3 Dimensiones de caja.

El inversor utilizado cuenta un display, caja de cables, entre otros como lo muestra la Figura 23 en la tabla 11 se describen las partes de la caja, mientras que en la tabla 12 se detallan las dimensiones.

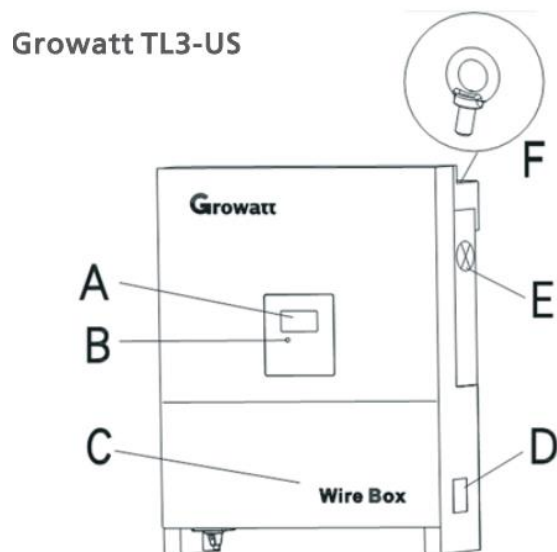


Figura 23 Dibujo del inversor y sus componentes.

<http://www.ginverter.com/>

Tabla 11.- Descripción física del inversor 20Kw TL3-US

<http://www.growatt.com/UpLoadFiles/20140114/2014011410220018.pdf>

**ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO:**

Símbolo	Descripción
A	LCD
B	LED
C	Caja de alambre
D	Etiqueta
E	Salida de aire del ventilador
F	Anillos de vuelo

Tabla 12.- Dimensiones del inversor GROWATT 20000TL3-US.

<http://www.growatt.com/UpLoadFiles/20140114/2014011410220018.pdf>

GROWATT 20000TL3-US			
Caja desnuda.			
Dimensiones			Peso
Altura	Ancho	Profundidad	
740 mm [29in]	650mm [26in]	247mm [in]	63kg [139lb.)
Caja de Empaque.			
Dimensiones			Peso
Altura	Ancho	Profundidad	
860mm[35in]	830[33in]	465mm[18in]	78.5kg [173lb]

### 7.6.4 Esquema del circuito.

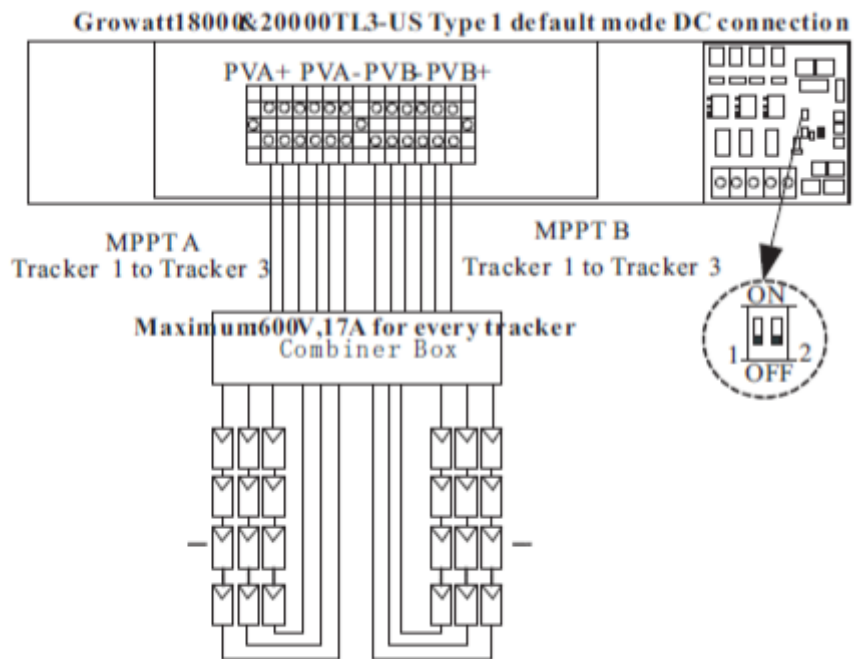


Figura - 24 Esquema del Circuito de conexión del inversor.  
<http://www.growatt.com/UploadFiles/20140114/2014011410220018.pdf>

### 7.6.5 Datos técnicos del inversor.

Se presenta los datos más importantes del inversor los cuales son requeridos para el diseño del arreglo principalmente en su voltaje de encendido, su máximo voltaje y su potencia máxima. Ver tabla 13.

Tabla 13- Dimensiones del inversor GROWATT 20000TL3-US.

<http://www.growatt.com/UploadFiles/20140114/2014011410220018.pdf>

GROWATT 20000 TL3-US	
datos de Entrada	
Max. DC power	20850 W
Max. DC voltaje	600 V
voltaje de encendido	120 V
DC nominal Voltaje	375 V
PV Voltaje rango	80 V - 600 V
MPP rango de voltaje (full load)	250 V- 600 V
Max input corriente por string	42 A/42A
Max input corto circuito corriente	50A/50A
Núm. de MPP trackers / por cadena MPP	2/5
De salida ( AC)	
Potencia nominal de salida de CA	20 KW
Rated AC voltaje	480 V
Max. Output Corriente	24A
AC rango Voltaje	422-528 Vac
AC Rango de frecuencia de la red.	60Hz; 59.3-60.5 Hz
Eficiencia	>0.99
THDI	<3%
Red conexión	3/N/PE
Eficiencia	
Max Eficiencia	97.50%
Euro-eta	96.50%
MPPT eficiencia	99.50%

### 7.6.6 Curva de eficiencia.

El rendimiento MPP es otro aspecto que debe tenerse en cuenta en el momento de elegir un inversor. Para configuraciones simétricas (potencias iguales por entrada), los inversores GROWATT tienen una eficiencia MPPT estática del 97.50 % en un intervalo de tensión de 430 V-800 V. Para configuraciones asimétricas, el intervalo MPP es 250-600 V. Tensiones de entrada fuera de este intervalo conllevan una reducción de la eficiencia MPPT y un descenso en la producción de energía o llegar a no encender el inversor se observa la Figura 25 la curva de eficiencia del inversor.

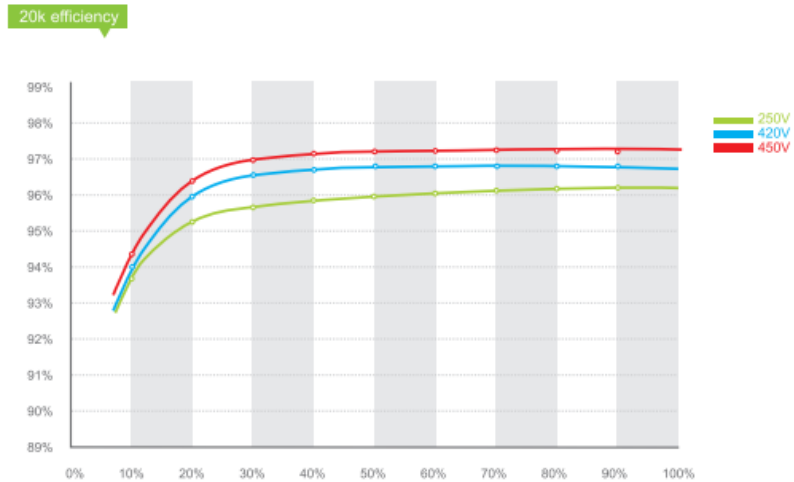


Figura 25- Curva de Eficiencia del inversor.

<http://www.growatt.com/UploadFiles/20140114/2014011410220018.pdf>

## 8.1 ESTRUCTURA SOLAR

Se seleccionó la estructura prefabricada de marca GRASOL por su fácil ensamblado y por cumplir con el ángulo de inclinación de la NOM-001-SEDE-2012 artículo 690.

- Ángulo de montaje óptimo: cuenta con un sistema de ajuste  $\pm 5^\circ$  de acuerdo la latitud del lugar.
- Material de estructura: Aluminio y Acero y con acabado de Anodizado.
- Fácil instalación: Todos los componentes han sido pre- confeccionados conforme al tipo de modulo elegido. La sencilla instalación permite cortos tiempos de montaje con uso reducido de herramientas.
- Planificación y mecanizado en la fábrica de ahorro de su tiempo y costo
- Estable y seguro.
- Vida útil prolongada: Excelente Duración Por aire libre utilizando, todo el material seleccionado con alta clase protección contra la corrosión 10 años sobre materiales utilizados.
- Gran Flexibilidad soporta instalaciones de kilowatts hasta megavattios.



Figura 26.- Estructura Grisol

[http://www.abeinsa.com/web/es/noticias\\_y\\_publicaciones/noticias/historico\\_noticias/2014/abe\\_20131230\\_1.html](http://www.abeinsa.com/web/es/noticias_y_publicaciones/noticias/historico_noticias/2014/abe_20131230_1.html)



### 8.2.1 Ficha técnica de la estructura.

Tabla 14.- Ficha técnica de la estructura GRASOL.

Información Técnica.	
Sitio de instalación.	Campo abierto.
Angulo	10 deg - 60 deg
Altura del edificio	hasta 20 m/s
Velocidad del Viento Max.	hasta 60 m/s
Carga de nieve	1.4 kg/m <sub>2</sub>
Normas	AS/ NZS 1170 y DIN 1055
Material principal	Aleación de aluminio y acero galvanizado.
Color	Natural
Anti-corrosivo	anodizado y galvanizado
Garantía	10 años
Duración.	más de 20 años

## 9.1 DESCRIPCIÓN DEL TERRENO

### Ubicación Geográfica

El productor USPR AGROINDUSTRIAS DE CABORCA ubicado en carretera Caborca – Puerto Lobos km 12, en el municipio de Caborca, Sonora (Ver figura 29)



Figura 29.- Ubicación Geográfica tomada por GOOGLE EARTH.

La instalación se realizará sobre el suelo propiedad de la empresa U.S.P.R. AGROINDUSTRIAS DE CABORCA DE R.I. Con la siguiente ubicación de geográfica:

Latitud: 30°38'58"

Longitud: 112°1'202"

La dimensiones del terreno son 50.24 m x 57.52 m dando como resultado una superficie disponible para realizar la instalación es de es de 2889 m<sup>2</sup>, la cual es muy superior a la superficie necesaria por el sistema solar fotovoltaico.

Se realizó un estudio de mecánica de suelos, lo que arrojó los siguientes resultados mediante las pruebas basadas en las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal para Diseño y Construcción de Cimentaciones. Los parámetros de resistencia y la densidad específica de los materiales permiten determinar la Capacidad de Carga Admisible Ver tabla 15

Tabla 15 Parámetros de resistencia y densidad específica de los materiales, Mecánica de suelos realizada por Geotecnia del Noroeste S. A. de C.V. 2014

profundidad		N	naturaleza del suelo	$\gamma_{sat}$	$\sigma_{efectivo}$		$\sigma'_r$	$\phi'$	c	$\gamma_{Df}$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c$	$\rho_c$	Capacidad de Carga Admisible
de	a		finos	entual satur	promedio	$C_n$	$C_n \times N$								
(m)	(m)	# golpes	(%)	(Kg/m <sup>3</sup> )	psf		# golpes	grados	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )					(t/m <sup>2</sup> )
0.4	1.0	11	49.7	1820	85.1	1.9	21	15.2	0.44	1.82	5.1	2.0	20.0	1.4	10.0
1.4	2.0	20	48.3	1835	54.9	1.9	39	17.2	0.77	3.67	6.3	2.7	20.0	1.5	21.3

Por lo que podemos concluir que el terreno tiene una capacidad de carga admisible de 10.0 t/m<sup>2</sup>, y el peso de los módulos junto con la estructura es de 7.67 t/m<sup>2</sup> por lo tanto tiene un rango aceptable de capacidad de carga sobre el terreno de la instalación fotovoltaica. (Ver Anexo II)

### 10.1 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Para la instalación de 108 kWp Fotovoltaicos se analizó lo siguiente:

- El cliente solicitó un análisis del consumo eléctrico por medio del recibo de luz.
- Se dimensiona con cálculos previos según el consumo anual la capacidad adecuada a instalar o en este caso la producción que el cliente solicite.
- Costos, diseño y planteamiento del proyecto.
- Apoyos según sea el caso. (FIRCO, SAGARPA, FIDE, ETC).
- Selección de instalación según el tipo de terreno para su mayor rendimiento.
- Porcentaje de generación a instalar, en este caso 108 kWp.
- Selección de inversores.
- Marcar los puntos de anclaje con láser de preferencia de noche para mayor visualización del láser.
- Anclaje de tornillos.
- Montaje de la estructura seleccionada.
- Montaje de Módulos.
- Conexión de módulos según los arreglos dimensionados.
- Calcular capacidades de protecciones como fusibles e interruptores y protección contra descargas atmosféricas.
- Calibre de cables de acuerdo a la distancia y arreglos.
- Determinar el tipo de tubería y dimensión de la tubería.
- El diseño de gabinetes (nema) y las dimensiones.
- Sistema de protección de tierra.
- Conexión de CA en el centro de carga principal.
- Trámites para su revisión y verificación para la conexión de su medidor bidireccional.

## 10.2 Dimensionamiento de la instalación.

## 10.3 Criterio de potencia.

La instalación solar debe cumplir con los parámetros de potencia establecidos para la capacidad solicitada en nuestro caso es la siguiente:

$$P_i = 108 \text{ kWp} = 108,000 \text{ Wp}$$

Por otra parte la potencia de cada uno de los módulos utilizados es la siguiente:

$$P_m = 145 \text{ Wp} \text{ y } P_m = 95 \text{ Wp}$$

De acuerdo con lo anterior, procedemos calculando el número de módulos necesarios para cubrir dicha potencia.

$$\text{Ec. 10.2} \quad N = \frac{P_i}{P_m}$$

Dónde:

N          Número de módulos necesarios de la instalación

P<sub>i</sub>        Potencia nominal de la instalación

P<sub>m</sub>        Potencia de cada módulo

## 11.1 CAÍDA DE TENSIÓN PARA CONEXIÓN A INVERSOR CC.

De lo cual se determinó por el cableado del calibre # 8 AWG, parámetros como: la caída de tensión del cual resulto por la ecuación 11.1 Y 11.2 que nos especifica la norma NOM-001-SEDE-2012.

$$\text{Ec 11.1} \quad CT = \frac{(2L*RL*I)}{1000}$$

$$\text{Ec 11.2} \quad \%CT = \frac{(100*CT)}{V}$$

Dónde.

CT          Caída de tensión del voltaje.

L          Distancia al que queda el conductor en metros.

RL        Resistencia del conductor a 75 °C de las tablas de la norma NOM-001-SEDE-2012.

I          Corriente del conductor en A.

V          Valor de la tensión del suministro.

%CT      Porcentaje de la caída de tensión.

## 12.1 CALCULO DE LAS ESPECIFICACIONES DEL INVERSOR LADO DE CORRIENTE ALTERNA.

Inversor de 20 kW

Voltaje en 480 V

Corriente de 24 A.

Calculando con lo especificado en la norma, NOM-001-SEDE-2012, x el 1.25 se obtuvo lo siguiente de 30 A. Para sacar el calibre a utilizar al igual que la protección que deba de tener en un sistema trifásico.

Por lo otro se puede calcular de la siguiente formula.

$$\text{Ec 12.1 } I = \frac{(KW*1000)}{(1.734)(V)(FP)}$$

## 13.1 CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN ANUAL ESPERADA.

En el siguiente sección se realizara el cálculo de la energía eléctrica producida por el campo fotovoltaico y vertido a la red. Esta vendrá condicionada por la irradiación solar incidente en la localización de los módulos, por las dimensiones de la superficie fotovoltaica y por el rendimiento de la instalación.

### 13.1.2 Método del cálculo.

Para las condiciones de instalación siguientes se tabularan los resultados obtenidos de irradiación y generación de energía eléctrica.

Latitud: 30°38'58"

Azimut: 0,00°

Inclinación cubierta: 25°

Numero de módulos: 800

Potencia unitaria módulos: 95W y 145W

Calculo de la producción anual de una forma simplificada donde nos arroja un resultado favorecedor y acertado.

$$\text{Ec 12.2 } Pn = P_p * D_{\text{año}} * e * H_{\text{sol}}$$

Dónde:

$P_n$ : Producción Anual.

$D_{\text{año}}$ : Días del año.

$e$ : Eficiencia del sistema

$H_{\text{sol}}$ : Horas solares.

Los datos de entrada que deberá aportar son los siguientes:

- $G_{dm}(0)$  Valor mensual y anual de la irradiación diaria sobre la superficie horizontal, en  $Kwh/(m^2 \text{ dia})$ , obteniendo a partir de los datos de la NASA.
- $G_{dm}(\alpha, \beta)$ . Valor medio mensual y anual de la irradiación diaria sobre el plano del generador en  $Kwh/(m^2 \text{ dia})$ , obtenido a partir del anterior.
- Rendimiento energético de la instalación o performance ratio (PR), este parámetro integra las pérdidas debidas a la temperatura de operación de los módulos solares que usualmente se asocia al inversor un 6%, y diversos fenómenos principalmente asociados al inversor, como son la eficiencia de conversión AC/DC, seguimiento del punto de máxima potencia, umbral arranque, etc.

La estimación de la energía inyectada se realizara de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Ec 13.1 } E_p = \frac{G_{dm}(\alpha\beta)P_{mp}}{G_{cem}} kWh/dia$$

Dónde:

$$P_{mp} = \text{Potencia pico del generador} = 108 kWp$$

$$G_{cem} = \text{Constante de irradiacion} = 1 kW/m^2$$

## 14.1 CÁLCULO DE DISTANCIA ENTRE FILAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Se debe mantener una distancia entre filas para no provocar sombreado una con la otra y reduzca la potencia de la instalación a ciertas horas del día. Se realizó el cálculo de distancia entre panel y panel de la siguiente manera en base a las medidas que la estructura.

Para el cálculo de la distancia mínima entre paneles, se utiliza el criterio de que al mediodía del solsticio de invierno, caso más desfavorable puesto que las sombras son las más alargadas, no se produzcan sombras sobre los paneles. (Ver figura 30)

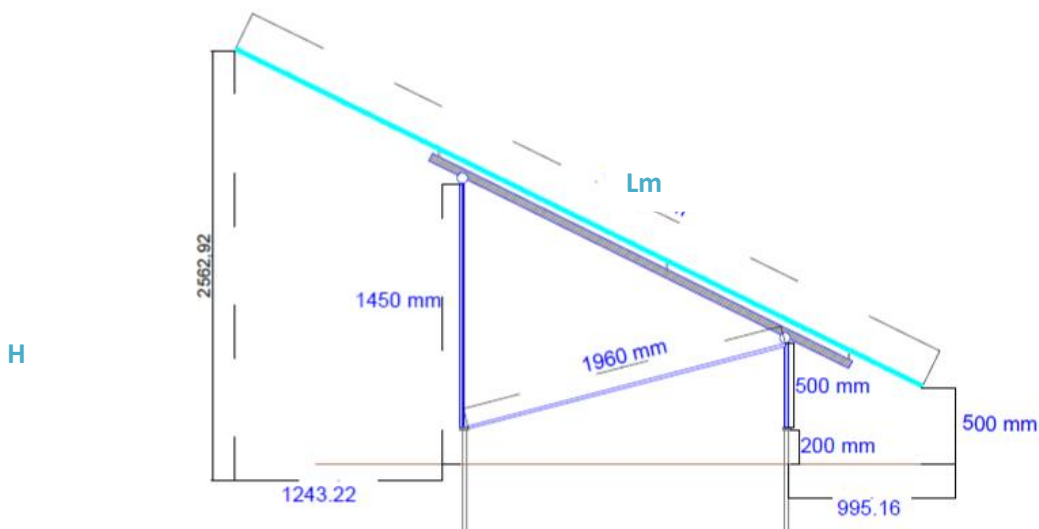


Figura 30 Estructura de los módulos.

$L_m$  Longitud del conjunto de módulos fotovoltaicos.

Beta ( $\beta$ ) Inclinación del módulo fotovoltaico con respecto al plano horizontal del montaje.

Alfa ( $\alpha$ ) Altura mínima del Sol al mediodía del solsticio de invierno (21 Dic).

H Altura o distancia vertical entre el plano horizontal de montaje y el extremo de la estructura del seguidor solar.

T Inclinación del terreno.

$D_{min}$  Distancia mínima entre panel.

$$\text{Ec 14.1 } D_{min} = L_m * \cos(\beta - \tau) + \frac{L_m \sin(\beta - \tau)}{\tan(\alpha - \tau)}$$

Se toma la medida de la punta más alta del panel hasta el suelo resultando 2.56 m y se calcula cual es el rango para no crear sombreado basándonos en los siguientes datos, el valor de la inclinación  $\beta$  que se toma, es el ideal para el mes de diciembre según los cálculos reflejados en la tabla 17 es decir  $\beta = 25^\circ$  (Ver tabla 16)

Tabla 16 Tabla datos de la estructura Grasol

Gsc	1,367.00	W/m <sup>2</sup>
Latitud $\phi$	30.62	°
Inclinación $\beta$ (°)	25	°
Inclinación Superficie $\tau$ (°)	0	°
Lm	2.56292	m
% de Seguridad Dmin	40	%

## RESULTADOS

### 15.1 CALCULO DE LA POTENCIA

Por lo tanto en la Ecuación 10.2 el mínimo número de módulos con que deberá contar nuestra instalación será el siguiente:

$$N_1 = \frac{15,200}{95} = 160$$

$$N_2 = \frac{92,800}{145} = 640$$

$$N_1 + N_2 = 800$$

Se utilizaron paneles de 80 módulos cada uno según la estructura Marca Grasol seleccionada, dando un total de 10 arreglos de paneles.

Nota: No obstante la potencia pico que nos da el fabricante del módulo solar no se alcanzará de forma habitual; esto es debido a las propias condiciones en las que se ha medido esa potencia. Otro factor que se ha de tener en cuenta en la disminución de la potencia es que el rendimiento del módulo es menor cuanto más alta es la temperatura. El aumento de temperatura en las células fotovoltaicas supone un incremento en la corriente, pero al mismo tiempo una disminución mucho mayor, en proporción, de la tensión. El efecto global es que la potencia del panel solar disminuye al aumentar la temperatura de trabajo del mismo.

#### 15.1.2 Producción anual esperada.

Se eligió los siguientes meses como punto de comparación, el mes más crítico del año vendría siendo diciembre arrojó una distancia mínima de 3.81 m como el límite para su separación y dejando un factor de seguridad del 50% la distancia de separación final será 5.50 m para no provocar pérdidas por sombreado. Se usó como referencia el día 21 de los meses de Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre. (Ver tabla 17)

Tabla 17 Resultados rango de seguridad perdidas por sombreado.

Mes	Mes	n Día del Mes	Fecha (i)	Dmin (m)	DReal (m)
3	Marzo	80	21	2.9655	4.1517
6	Junio	172	21	2.4590	3.4426
9	Septiembre	264	21	2.9379	4.1131
12	Diciembre	355	21	<b>3.8158</b>	<b>5.507</b>

### 15.1.3 Cálculo de la producción anual.

En base a la Ecuación 12.2 se obtuvieron los siguientes resultados:

$$P_n = 108 \text{ kW}_p * 365 * 0.90 * 5.61 \text{ h}$$

$$P_n = 199,031.58 \text{ kWh/Anual}$$

En la tabla 18 se hizo una comparación en base al sistema de ecuaciones del simulador de ECITEC Carrera de Ingeniería en Energías Renovables (Ver ANEXO IV) donde se puede observar dos producciones en la primera a 25° de inclinación y la segunda a 29° de inclinación que tiene por defecto Solar Electricity Handbook 2015 Edition.

Tabla 18 – Tabla comparativa de producción Eléctrica Anual del Sistema.

<b>Producción Eléctrica Anual del Sistema</b>		
<b>Producción media (kWh/Anual)</b>	<b>Solar Electricity Handbook 2015 Edition (kWh/Anual)</b>	<b>Consumo (kWh/Anual)</b>
193,662.17	197,538.02	570,887.00

Si se compara con el Simulador podremos darnos cuenta que no varía mucho el resultado de 27,816.88 donde podemos justificar que el método empleado para el dimensionamiento fue correcto.

El cálculo de un panel que contiene 160 módulos de 95 W inyecta a la red 28,011.85 kWh según la ecuación 12.2. Ver figura 15.1

$$P_n = 15.20 \text{ kW}_p * 365 * 0.90 * 5.61 \text{ h}$$

$$P_n = 28,011.85 \text{ kWh/Anual}$$

Se puede observar en la siguiente figura que el impacto de producción media vs consumo es considerablemente menor, pero se debe tomar en cuenta que solo se compara el sistema de 95 W siendo solo una parte de los 108 kW de todo el sistema de generación. Ver Figura 31 y tabla 19

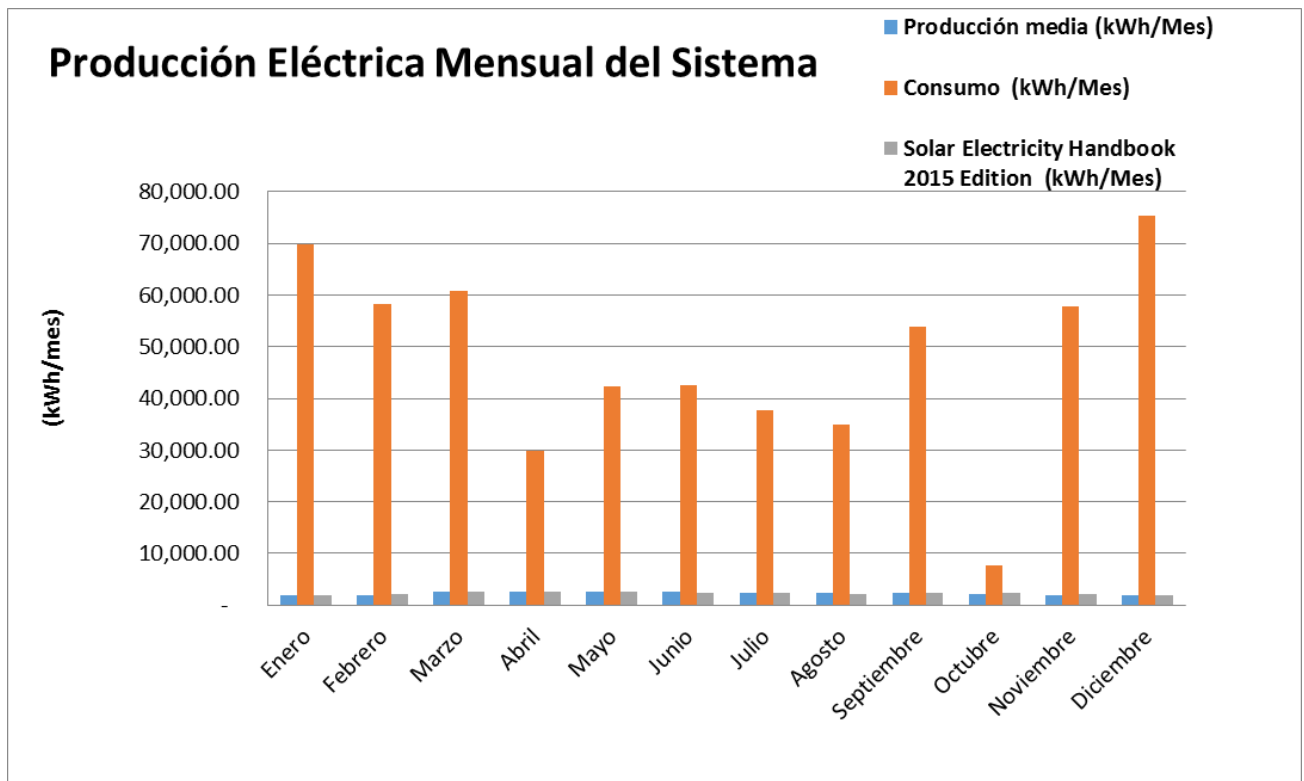


Figura 31 Grafica Producción Eléctrica Mensual del sistema de 95 W parte de la capacidad total de 108 kWp.



Tabla 19 – Producción Eléctrica Mensual del sistema Panel 95 W parte de la capacidad total de 108kWp.

<b>Módulos 95 W</b>								
Mes	Mes	Diario $G_{dm}(\alpha,\beta)$ (kWh/m <sup>2</sup> )	Solar Electricity Handbook 2015 Edition $\beta$ (°) = 29 $G_{dm}(\alpha,\beta)$ (kWh/m <sup>2</sup> )	Mensual $G_{dm}(\alpha,\beta)$ (kWh/m <sup>2</sup> )	Solar Electricity Handbook 2015 Edition $G_{dm}(\alpha,\beta)$ (kWh/m <sup>2</sup> )	Producción media (kWh/Mes)	Solar Electricity Handbook 2015 Edition (kWh/Mes)	Consumo (kWh/Mes)
1	Enero	5.00	5.27	154.94	163.37	1,918.37	2,022.78	69,847.00
2	Febrero	5.60	5.96	156.67	166.88	1,939.03	2,065.45	58,165.00
3	Marzo	6.65	7.02	206.27	217.62	2,547.12	2,687.28	60,838.00
4	Abril	7.14	7.25	214.29	217.50	2,643.11	2,682.64	29,921.00
5	Mayo	7.04	6.99	218.25	216.69	2,687.55	2,668.31	42,242.00
6	Junio	6.88	6.70	206.28	201.00	2,539.10	2,474.07	42,584.00
7	Julio	6.29	5.98	194.98	185.38	2,399.22	2,281.06	37,738.00
8	Agosto	6.17	5.86	191.23	181.66	2,352.85	2,235.11	34,947.00
9	Septiembre	6.19	6.16	185.78	184.80	2,284.72	2,272.68	53,760.00
10	Octubre	5.76	6.21	178.66	192.51	2,203.73	2,374.55	7,711.00
11	Noviembre	5.25	5.65	157.64	169.50	1,946.40	2,092.82	57,895.00
12	Diciembre	4.72	5.11	146.42	158.41	1,811.79	1,960.14	75,239.00
<b>Promedio</b>		<b>6.06</b>	<b>6.18</b>	<b>2,211.42</b>	<b>2,255.32</b>	<b>2,272.75</b>	<b>2,318.07</b>	<b>47,573.92</b>
<b>Total</b>		<b>72.70</b>	<b>74.16</b>	<b>2,211.42</b>	<b>2,255.32</b>	<b>27,272.98</b>	<b>27,816.88</b>	<b>570,887.00</b>

El cálculo de un panel que contiene 160 módulos de 145 W inyecta a la red 28,011.85 según la ecuación 12.2 obtenemos:

$$P_n = 23.20 \text{ kW}_p * 365 * 0.90 * 5.61 \text{ h}$$

$$P_n = 42,754.93 \text{ kWh/Anual}$$

$$P_n = (42,754.93) * (4 \text{ panel}) = 171,019.72 \text{ kWh/Anual}$$

Si se compara con el Simulador podremos darnos cuenta que no varía mucho el resultado de 166,389.19 (Ver Tabla 20) donde podemos justificar que el método empleado para el dimensionamiento fue correcto. (Ver figura 32)

Tabla 20 – Producción Eléctrica Mensual del sistema Panel 145 W parte de la capacidad total de 108kWp

Módulos 145 W								
Mes	Mes	Diario $G_{dm}(\alpha,\beta)$ (kWh/m <sup>2</sup> )	Solar Electricity Handbook 2015 Edition $\beta$ (°) = 29 $G_{dm}(\alpha,\beta)$ (kWh/m <sup>2</sup> )	Mensual $G_{dm}(\alpha,\beta)$ (kWh/m <sup>2</sup> )	Solar Electricity Handbook 2015 Edition $G_{dm}(\alpha,\beta)$ (kWh/m <sup>2</sup> )	Producción media (kWh/Mes)	Solar Electricity Handbook 2015 Edition (kWh/Mes)	Consumo (kWh/Mes)
1	Enero	5.00	5.27	154.94	163.37	11,745.53	12,384.84	69,847.00
2	Febrero	5.60	5.96	156.67	166.88	11,867.94	12,641.71	58,165.00
3	Marzo	6.65	7.02	206.27	217.62	15,557.57	16,413.65	60,838.00
4	Abril	7.14	7.25	214.29	217.50	16,126.72	16,367.93	29,921.00
5	Mayo	7.04	6.99	218.25	216.69	16,373.67	16,256.43	42,242.00
6	Junio	6.88	6.70	206.28	201.00	15,463.37	15,067.34	42,584.00
7	Julio	6.29	5.98	194.98	185.38	14,607.11	13,887.69	37,738.00
8	Agosto	6.17	5.86	191.23	181.66	14,323.80	13,607.06	34,947.00
9	Septiembre	6.19	6.16	185.78	184.80	13,903.10	13,829.79	53,760.00
10	Octubre	5.76	6.21	178.66	192.51	13,446.53	14,488.80	7,711.00
11	Noviembre	5.25	5.65	157.64	169.50	11,887.12	12,781.37	57,895.00
12	Diciembre	4.72	5.11	146.42	158.41	11,086.72	11,994.52	75,239.00
Promedio		6.06	6.18	2,211.42	2,255.32	13,865.77	14,143.43	47,573.92
Total		72.70	74.16	2,211.42	2,255.32	166,389.19	169,721.14	570,887.00

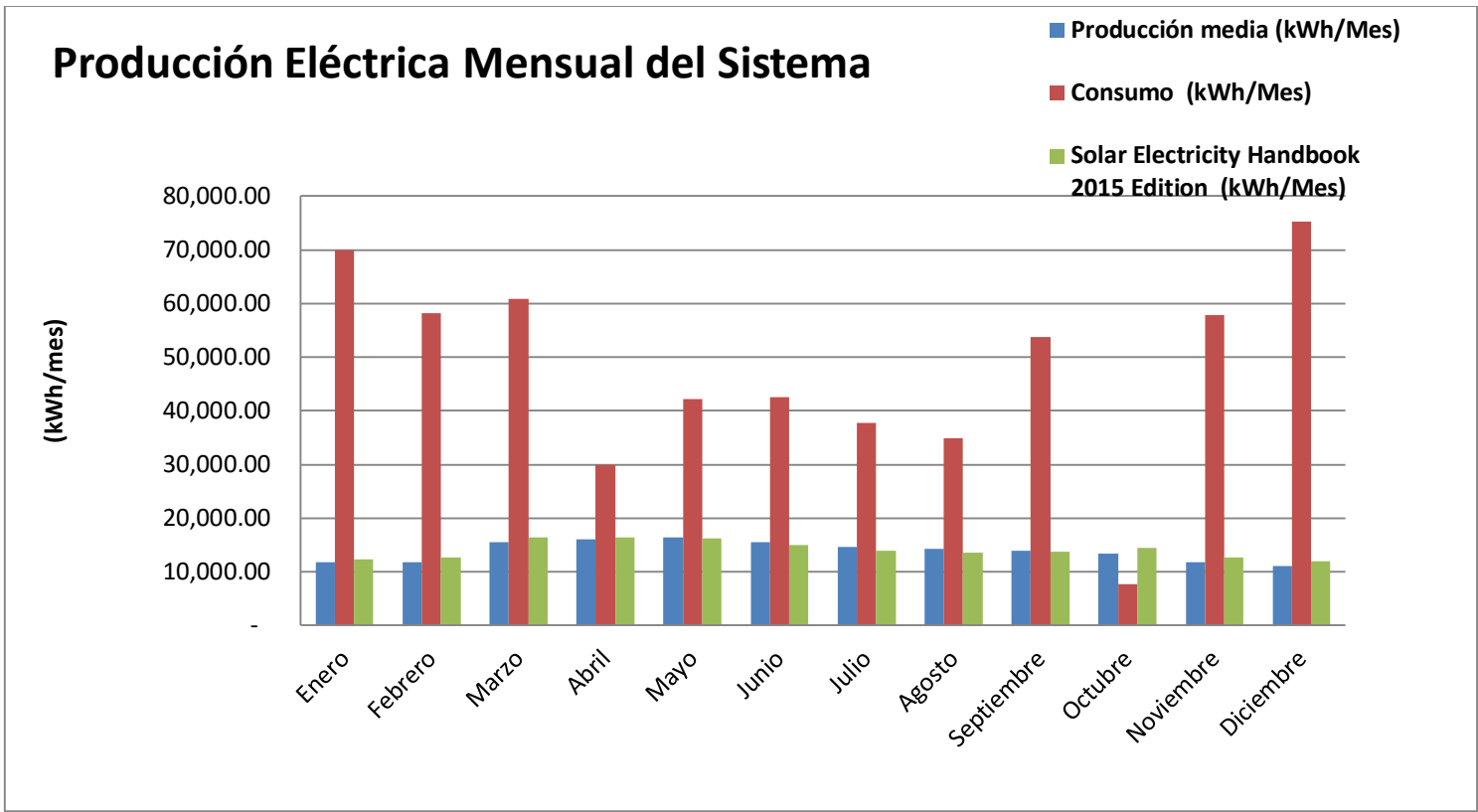


Figura 32 Grafica Producción Eléctrica Mensual del sistema de 145 W parte del sistema 108kW.

Tabla 21- Tabla del sistema completo de 95 W y 145 W en total 108kw.

<b>Módulos 95 W - Módulos 145 W</b>								
Mes	Mes	Diario $G_{dm}(\alpha,\beta)$ (kWh/m <sup>2</sup> )	Solar Electricity Handbook 2015 Edition $\beta$ (°) = 29 $G_{dm}(\alpha,\beta)$ (kWh/m <sup>2</sup> )	Mensual $G_{dm}(\alpha,\beta)$ (kWh/m <sup>2</sup> )	Solar Electricity Handbook 2015 Edition $G_{dm}(\alpha,\beta)$ (kWh/m <sup>2</sup> )	Producción media (kWh/Mes)	Solar Electricity Handbook 2015 Edition (kWh/Mes)	Consumo (kWh/Mes)
1	Enero	5.00	5.27	154.94	163.37	13,663.90	14,407.62	69,847.00
2	Febrero	5.60	5.96	156.67	166.88	13,806.97	14,707.16	58,165.00
3	Marzo	6.65	7.02	206.27	217.62	18,104.70	19,100.93	60,838.00
4	Abril	7.14	7.25	214.29	217.50	18,769.82	19,050.58	29,921.00
5	Mayo	7.04	6.99	218.25	216.69	19,061.22	18,924.74	42,242.00
6	Junio	6.88	6.70	206.28	201.00	18,002.47	17,541.41	42,584.00
7	Julio	6.29	5.98	194.98	185.38	17,006.33	16,168.75	37,738.00
8	Agosto	6.17	5.86	191.23	181.66	16,676.65	15,842.17	34,947.00
9	Septiembre	6.19	6.16	185.78	184.80	16,187.83	16,102.46	53,760.00
10	Octubre	5.76	6.21	178.66	192.51	15,650.26	16,863.35	7,711.00
11	Noviembre	5.25	5.65	157.64	169.50	13,833.52	14,874.19	57,895.00
12	Diciembre	4.72	5.11	146.42	158.41	12,898.51	13,954.66	75,239.00
Promedio		6.06	6.18	2,211.42	2,255.32	16,138.51	16,461.50	47,573.92
Total		72.70	74.16	2,211.42	2,255.32	193,662.17	197,538.02	570,887.00

$$P_{Max} = 166,389.19 + 27,272.98 = 193,662.17 \frac{\text{kWh}}{\text{anual}}$$

En base al simulador Ecitec, Ingeniería en Energías Renovables el sistema completo nos da una producción anual de 193,662 kWh/año, no tan alejado de la producción antes calculada esto quiere decir que ambos procedimientos se encuentran acertados con un porcentaje de 2.7% de error. Ver tabla 21

Como se puede observar en la figura 33 los meses de septiembre a marzo tienen un consumo significativo debido que son los meses de invierno los cerdos ocupan calefacción ya que Sonora cuenta con inviernos fríos y secos se debe mantener a los animales a una temperatura regulada, el sistema fue diseñado en base a la petición del cliente por generar 108kW donde podemos notar que no abastece 100% su consumo su objetivo es reducir una parte. Otro factor importante respecto a la tabla 15.3 es en verano cubriendo los meses de abril a julio se reduce considerablemente el consumo ya que las calefacciones se dejan de usar remplazándose por abanicos que en si no son de consumo tan elevado como el anterior.

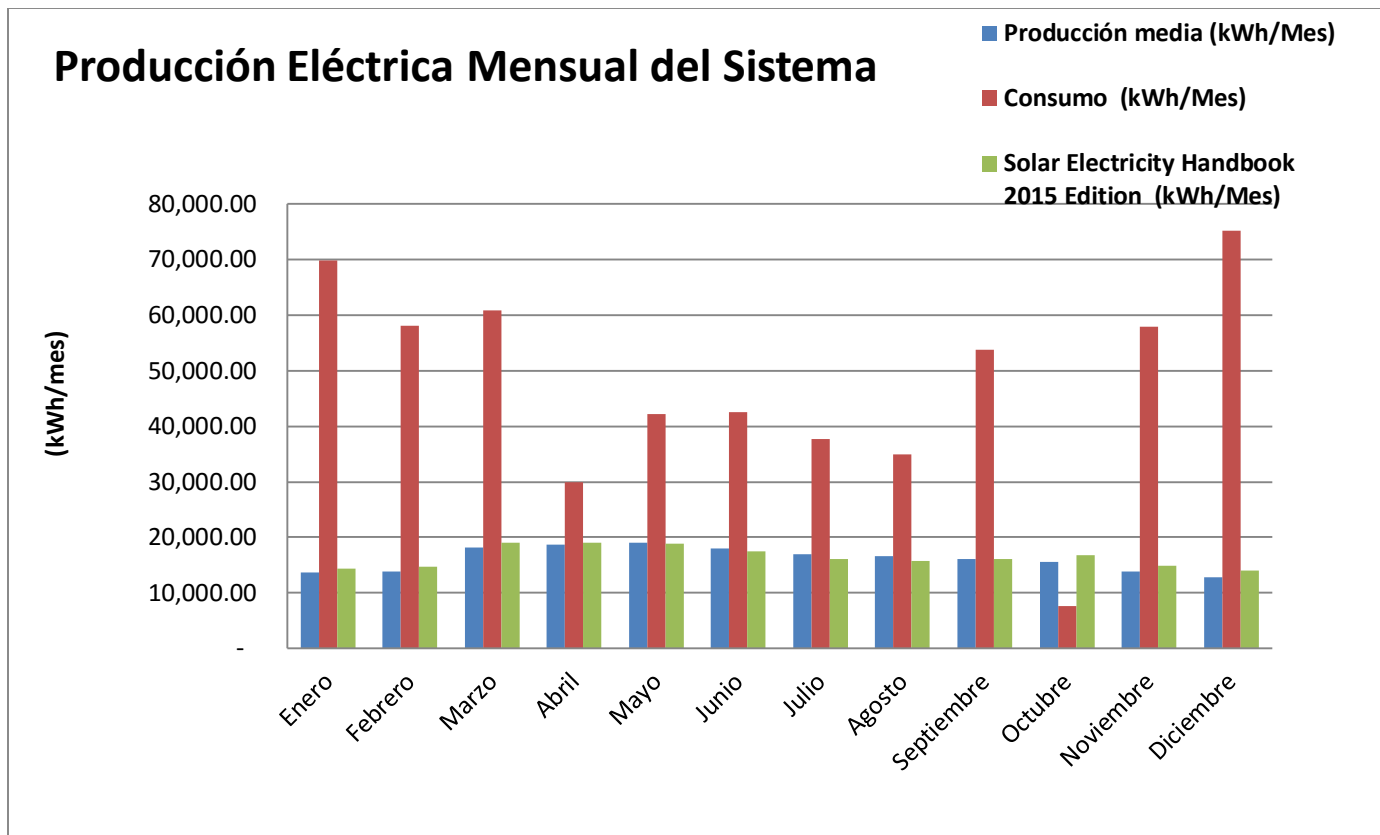


Figura 33 Grafica Producción Eléctrica Mensual del sistema de 145 W y 95 W.

La producción anual del sistema solo satisface un 33.92 % del consumo (Ver figura 34)

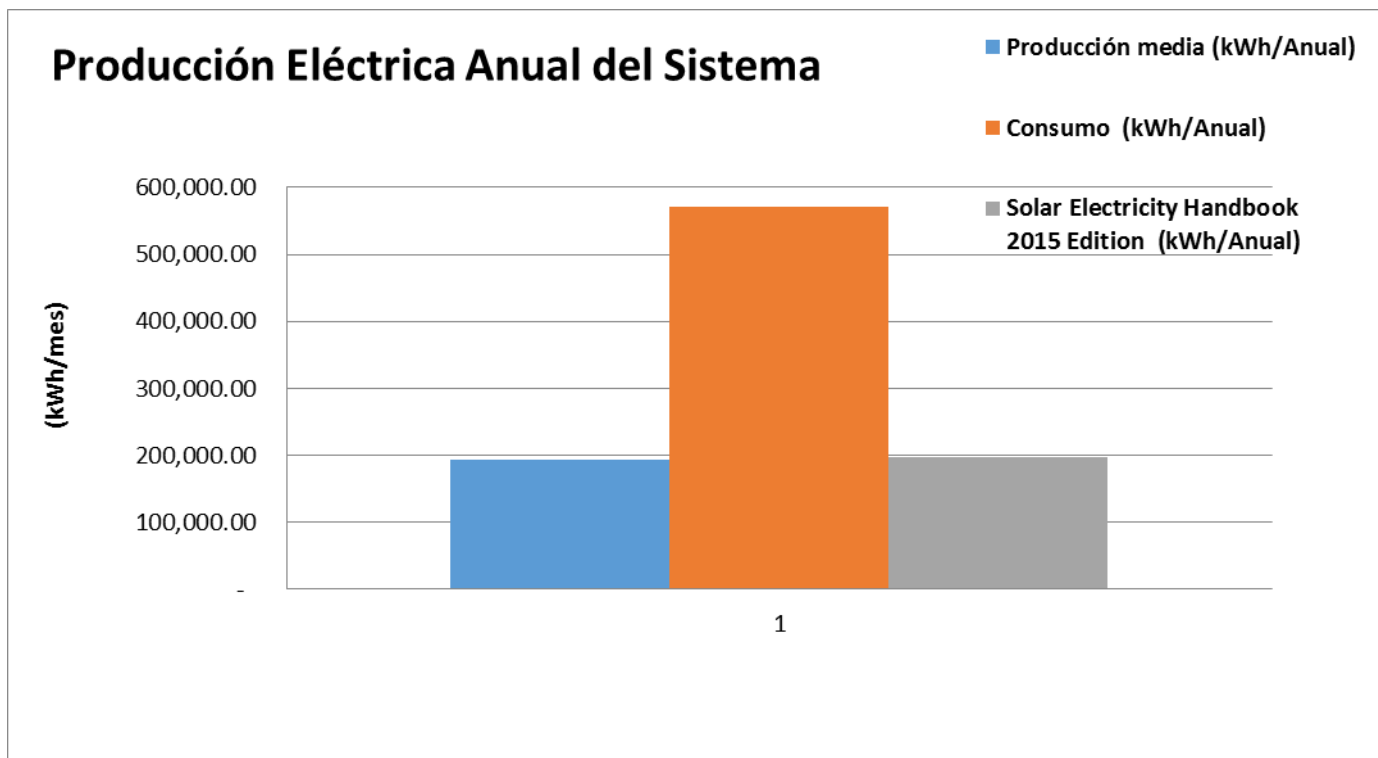


Figura 34 Grafica Producción Eléctrica Anual del Sistema 108 kW.

Los siguientes cálculos (Ver tabla 22) se realizaron siguiendo el método tradicional en base al consumo, haciendo una comparación con el método de potencia solicitada por el cliente podemos ver que no hay mucha diferencia en los resultados, se usó un programa en Excel donde se calculó con las ecuaciones tradicionales el dimensionamiento arrojando el dato de 4 - 5 módulos en serie por string siendo entonces 162 módulos, la razón del por qué no se eligió en base al programa fue estético ya que la estructura era para 80 módulos para a completar los 81 módulos quedaría un hueco ( Ver figura 35)

Tabla 22- Calculo de dimensionamiento panel con módulos de 95 W.

<b>Módulos 95 W</b>			
Instalación Fotovoltaica (Potencia Nominal)	13.819	kW	
Potencia Extra	10	%	
Instalación Fotovoltaica (Potencia Pico)	15.2009	kW	
Número de Módulos	160.0	Módulos	
<b>Número de Módulos (Final)</b>	<b>162</b>	<b>Módulos</b>	
Tensión Máxima VOC(T Max)	112.80	V	
Tensión Mínima VMPP (T Min)	62.49	V	
Número Máximo por Strings	5.32	6.00	
Número Mínimo por Strings	4.00	4.00	
<b>Número Promedio por Strings</b>	<b>4.66</b>	<b>5</b>	<b>5.00</b>
<b>Número Final por Strings</b>	<b>5.00</b>		
Número de Strings Máximo	27.00		
Número de Strings Mínimo	40.5		
<b>Número de Strings Promedio</b>	<b>32.40</b>	<b>32.00</b>	<b>32.00</b>
<b>Número Final Strings</b>	<b>32.00</b>		
Corriente Máxima (Corriente de Cortocircuito)	12.96	A	Cumple
<b>Instalación Fotovoltaica (Potencia Pico Final)</b>	<b>15.2</b>	<b>kW</b>	
<b>Costo W Instalado Fotovoltaico (3 Dlls -4 Dlls)</b>	<b>2.14</b>	<b>Dlls</b>	
<b>Costo W Instalado Fotovoltaico (Pesos)</b>	<b>31.45</b>	<b>Pesos</b>	
<b>Costo Total de la Instalación</b>	<b>32,519.73</b>	<b>Dlls</b>	
<b>Tipo de Cambio</b>	<b>14.7</b>	<b>Pesos</b>	
<b>Costo Total de la Instalación</b>	<b>478,040.00</b>	<b>Pesos</b>	
<b>Número de Panel</b>	<b>1</b>		
<b>Costo Total de la Instalación</b>	<b>478,040.00</b>	<b>Pesos</b>	



Figura 35.- Huevo en estructura para a completar panel.

### Inversor 2 para panel de 145 W

160 módulos por panel, 32 string de 5 módulos en serie terminando en 8 paralelos por cada MPPT dando los siguientes parámetros:

$$Imp\ Total = (2.26\ A)(8) = 18.08\ A$$

$$Isc = (2.51\ A)(8) = 20.08\ A$$

$$Vmp = (64.2\ V)(5) = 321\ Vcd$$

$$Voc = (85.5\ V)(5) = 427.5\ Vcd$$

Todos los gabinetes de la instalación se separa en 80 módulos en una caja combinadora cada uno, quedando de igual manera 16 fusibles de 4 A. Por lo que cada string trae 2.51 A. Y de este gabinete se conectaron 4 juegos en paralelo como podemos observar en la figura 36 por lo que obtenemos 10.04 I<sub>dc</sub>, y 11,600 W.



Figura 36 Gabinete panel de 145 W fotografía original del sistema.

Tabla 23 Calculo de dimensionamiento panel con módulos de 145 W.

<b>Módulos 145 W</b>			
Instalación Fotovoltaica (Potencia Nominal)	21.091	kW	
Potencia Extra	10	%	
Instalación Fotovoltaica (Potencia Pico)	23.2001	kW	
Número de Módulos	160.0	Módulos	
<b>Número de Módulos (Final)</b>	<b>162</b>	<b>Módulos</b>	
Tensión Máxima $V_{OC(T Max)}$	96.44	V	
Tensión Mínima $V_{MPP(T Min)}$	54.96	V	
Número Máximo por Strings	6.22	7.00	
Número Mínimo por Strings	4.55	4.00	
<b>Número Promedio por Strings</b>	<b>5.39</b>	<b>5.5</b>	<b>6.00</b>
<b>Número Final por Strings</b>	<b>5.00</b>		
Número de Strings Máximo	23.14		
Número de Strings Mínimo	40.5		
<b>Número de Strings Promedio</b>	<b>29.45</b>	<b>29.00</b>	<b>29.00</b>
<b>Número Final Strings</b>	<b>32.00</b>		
Corriente Máxima (Corriente de Cortocircuito)	10.04	A	Cumple
<b>Instalación Fotovoltaica (Potencia Pico Final)</b>	<b>23.2</b>	<b>kW</b>	
<b>Costo W Instalado Fotovoltaico (3 Dlls -4 Dlls)</b>	<b>2.14</b>	<b>Dlls</b>	
<b>Costo W Instalado Fotovoltaico (Pesos)</b>	<b>31.45</b>	<b>Pesos</b>	
<b>Costo Total de la Instalación</b>	<b>49,635.37</b>	<b>Dlls</b>	
<b>Tipo de Cambio</b>	<b>14.7</b>	<b>Pesos</b>	
<b>Costo Total de la Instalación</b>	<b>729,640.00</b>	<b>Pesos</b>	
<b>Número de Panel</b>	<b>4</b>		
<b>Costo Total de la Instalación</b>	<b>2,918,560.00</b>	<b>Pesos</b>	

Nuevamente se utiliza la plantilla en Excel donde se calculó con las ecuaciones tradicionales el dimensionamiento arrojando el dato de 5 - 6 módulos en serie por string, en esta caso se puede elegir 5 módulos por string dando como resultado 160 módulos, conservando la estética de la instalación ya que la estructura está diseñada con una capacidad de instalación de 80 módulos. (Ver tabla 23)

El diseño óptimo del sistema en base a las ecuaciones y programas es el siguiente (Ver Tabla 24)

Tabla 24 Relación de cargas Fotovoltaica 108kW

RELACIÓN DE CARGAS FOTOVOLTAICA USPR AGROINDUSTRIAS DE CABORCA					
ARREGLO 1	No	STRING	PANEL	MODULO W	TOTAL W
	16	5	80	95	7600
ARREGLO 2	16	5	80	95	7600
ARREGLO 3	16	5	80	145	11600
ARREGLO 4	16	5	80	145	11600
ARREGLO 5	16	5	80	145	11600
ARREGLO 6	16	5	80	145	11600
ARREGLO 7	16	5	80	145	11600
ARREGLO 8	16	5	80	145	11600
ARREGLO 9	16	5	80	145	11600
ARREGLO 10	16	5	80	145	11600
				total	108,000

## 16.1 CÁLCULO DE GABINETE DE COMBINACIÓN PARA ENTRADA AL INVERSOR DE 80 MÓDULOS.

Características Eléctricas del módulo Nexpower 95 W:

$$I_{mp} = 1.30 \text{ A}$$

$$I_{sc} = 1.62 \text{ A}$$

$$V_{mp} = 73 \text{ V}$$

$$V_{oc} = 100 \text{ V}$$

Características Eléctricas del módulo Nexpower 145 W:

$$I_{mp} = 2.26 \text{ A}$$

$$I_{sc} = 2.51 \text{ A}$$

$$V_{mp} = 64.2 \text{ V}$$

$$V_{oc} = 85.5 \text{ V}$$

### Inversor 1 panel de 95 W

160 módulos por panel, 32 string de 5 módulos en serie terminando en 8 paralelos por cada MPPT dando los siguientes parámetros:

$$I_{mp \text{ Total}} = (1.30 \text{ A})(8) = 10.4 \text{ A}$$

$$I_{sc} = (1.62 \text{ A})(8) = 12.96 \text{ A}$$

$$V_{mp} = (73 \text{ V})(5) = 365 \text{ Vcd}$$

$$V_{oc} = (100 \text{ V})(5) = 500 \text{ Vcd}$$



Figura 37 Gabinete No 1 panel de 95 W.

Cada panel se compone en 80 módulos en una caja combinadora cada uno, quedando en 16 fusibles de 4 A. Por lo que cada string trae 0.82 A. Y de este gabinete se conectaron 4 juegos en paralelo como podemos observar en la figura 5.2 por lo que nos da 3.28 Idc, y 7,600 W.

### 16.1.1 Caída de tensión para conexión a inversor corriente continuo.

Del cual se obtuvo mediante la ecuación 11.1 y 11.2 un conductor adecuado, muy importante para estos factores cuando esta de promedio largas distancias. Por lo cual se obtuvo un conductor para una distancia de 100m con los siguientes factores.

- 365 VDC.
- 8.31 A de paralelos.
- 100 m de distancia.
- Resistencia del conductor de cobre de 0.018 ohm x mm<sup>2</sup>/m
- Calibre del cableado del # 8 AWG, THW-SL.
- % CT: del 0.03%, dado un resultado de 364.88 V.

Dando como resultado lejos de cualquier anomalía por lo descrito en la normatividad del 1% por parte de ANCE, también cumpliendo con lo especificado en la norma NOM-001-SEDE-2012 en el artículo de 690 de sistemas fotovoltaico al igual que sus apéndices.

### 16.1.2 Calculo de las especificaciones del inversor lado de la corriente alterna.

Calculando con la ecuacion 12.1 especificado en la norma, NOM-001-SEDE-2012, x el 1.25 se obtuvo lo siguiente de 30 A. Para sacar el calibre a utilizar al igual que la protección que deba de tener en un sistema trifásico.

$$I = \frac{20000}{(1.734 * 480 * 0.9)}$$

$$I = \frac{20000}{749}$$

$$I = 26.70 A \approx 27A$$

$$I = (27 A)(1.25)$$

$$I = 33.75 A$$



Figura 38.- Fotografía Tomada instalaciones USPR AGROINDUSTRIAS DE CABORCA.

## 17.1 ESTIMACIÓN DE FUERZA DE SOPORTE DE LA ESTRUCTURA

Aplicando los datos anteriores en la Ecuación 7.4 al caso propuesto (teniendo en cuenta que  $200 \text{ km/h} = 55.5 \text{ m/s}$ ) obtendremos:

$$F = 0.11 * (55.5)^2 * 1 = 338.8 \text{ kPa}$$

Demostrando de tal forma el efecto que puede hacer el viento sobre un grupo de módulos solares, y concluyendo en las graves consecuencias de un mal anclaje o un erróneo diseño de la estructura que soporta el conjunto.

## 18.1 CABLEADO

El cableado a utilizar en la conexión de los string partimos por meter los especificados por fabricante u cableado tipo fotovoltaico calibre  $2.5 \text{ mm}^2$  con una capacidad de  $21 \text{ A}$ . Datos de fabricante y especificaciones son:

- Voltaje nominal:  $600/1000 \text{ AC}$ ,  $1800 \text{ DC}$ .
- Conductor de resistencia:  $\text{DC}$ ,  $20^\circ\text{C}$  es  $3.39 \text{ ohm/km}$ .
- Máxima temperatura de conducción es de  $+120^\circ\text{C}$ .
- Temperatura Ambiente a 25 años es  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$   $+90^\circ\text{C}$

- Resistente a UV. 720 h.
- Aprobado XLPE cable solar al cable # 10 AWG.

Por lo cual de ahí se opta en calcular el calibre, se necesita tomar de este arreglo de 80 módulos de 95w. para conectar una parte del inversor quedaría según la tabla de norma NOM-001-SEDE-2012, el calibre # 8 AWG, THW-SL, quedando muy sobrado por su capacidad de 45 A a 75 °C de las tablas de la norma con cables THW-SL, por lo cual junto con los negativos y positivos se obtuvieron una cantidad de 8 conductores del calibre # 8 AWG, THW-SL que tendrían que llegar hacia el inversor por lo que se optaría en llevarlo por medio de tubería enterrada de PVC de calibre 1 ¼" de tubería PVC eléctrica gris pesado dictado por la norma NOM-001-SEDE-2012, y sus tablas de la máxima ocupación de conductores por tuberías y al igual con el cálculo de su factor de agrupación quedando adecuadamente a su temperatura ambiente de la región noroeste de 30 – 40 °C máximo. Se usó de referencia (Ver tabla 25)

Tabla 25- Capacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60 °C a 90 °C.

NOM-001-SEDE-012

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la tabla 310-104(a)]					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW- LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW- 2, ZW-2	TIPOS UF	TIPOS RHW, XHHW, USE	TIPOS SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
		COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.824	18 <sup>~</sup>	—	—	14	—	—	—
1.31	16 <sup>~</sup>	—	—	18	—	—	—
2.08	14 <sup>~</sup>	15	20	25	—	—	—
3.31	12 <sup>~</sup>	20	25	30	—	—	—
5.26	10 <sup>~</sup>	30	35	40	—	—	—
8.37	8 <sup>~</sup>	40	50	55	—	—	—
13.3	6 <sup>~</sup>	55	65	75	40	50	55
21.2	4 <sup>~</sup>	70	85	95	55	65	75
26.7	3 <sup>~</sup>	85	100	115	65	75	85
33.6	2 <sup>~</sup>	95	115	130	75	90	100
42.4	1 <sup>~</sup>	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	350	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480
507	1000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	525	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1013	2000	555	665	750	470	560	630

## 19.1 PUESTA A TIERRA DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Para obtener la protección para el sistema de puesta a tierra se basó en la NOM-001-SEDE-2012 en el artículo 250.

La puesta a tierra de instalaciones fotovoltaicas interconectadas se deberá hacer siempre de forma que no altere las condiciones de puesta a tierra de la red de la empresa distribuidora en este caso Comisión Federal de Electricidad.

La instalación cuenta con la estructura de los módulos al igual que las estructuras que los soportan debidamente aterrizados y con calibre # 12 THW-SL desnudo llegando a una caja combinadora donde se encuentra aterrizada por un electrodo de tierra con un conductor del calibre mínimo para que se hiciera una soldadura exotérmica por el tipo de molde y apto para su instalación de acuerdo a las normas por parte de ANCE y la NOM-001-SEDE-2012.

Este conductor es del calibre del # 4 según la norma es para 400 A. El de cobre cumple bastante bien y esto se instaló en cada uno de las cajas de desconexión y combinadora, y al igual que las subestaciones tienen independientes sus sistemas de tierra física.

Por lo que las cajas combinadora tienen datos específicos:

Marca	Anclo.
Gabinete alta especificaciones	NEMA 4 / IP65 con platina.



Figura 39.- Caja Combinadora del sistema, dentro barra o bus de paralelismo de tierras físicas.

## 20.1 ORIENTACIÓN DE EQUIPO.

El objetivo de este punto es determinar la orientación adecuada de los módulos para el mayor aprovechamiento de la radiación y disminuir las pérdidas.

Las pérdidas de este concepto se calcularán en función del ángulo de inclinación  $\beta$  definiendo el ángulo que forma la superficie de los módulos con el ángulo horizontal, su valor es  $0^\circ$  para módulos horizontales y  $90^\circ$  para verticales.

Otro factor que se tomara en cuenta siendo también de importancia es el ángulo de azimut,  $\alpha$  definiéndose como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. En base al ANEXO VIII "Sistemas de energía solar fotovoltaica en cumplimiento con especificaciones FIRCO y la NOM-001-SEDE-2012." No dice que el ángulo de inclinación óptimo es de  $\pm 5$  la latitud del lugar donde se instalara, en este caso se encuentra el parque de USPR DE AGROINDUSTRIAS DE CABORCA a  $30^\circ 38' 58''$  siendo a si la estructura se instaló a  $25^\circ$  de inclinación.

### 20.1.2 Ángulo de azimut.

Los módulos se encuentran orientados hacia el sur verdadero y no el magnético, medido respecto al norte verdadero señalando por la estrella polar ( $+180^\circ$ ). Por lo tanto el valor del ángulo de azimut ( $\alpha$ ) será de  $0^\circ$ . (Ver figura 40)

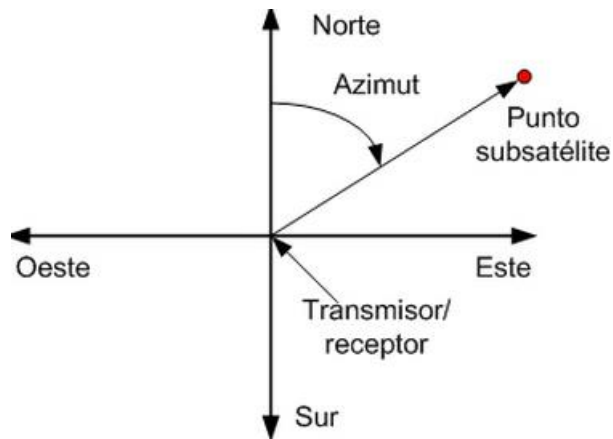


Figura 40- Angulo de Azimut.

<http://balancedeenlace.galeon.com/azimut.jpg>

### 20.1.3 Ángulo de inclinación

El ángulo óptimo de inclinación ( $\beta$ ) vendrá condicionado por la latitud del lugar, como se ha mencionado anteriormente, estando directamente relacionado con la irradiación solar incidente.

Tabla 26 Producción Anual un panel de 160 módulos de 95 W a 25°

			ED (kWh/Mes)
Mes	Mes	Días	Producción media ED (kWh/Mes)
1	Enero	31	1918.36
2	Febrero	28	1939.02
3	Marzo	31	2547.12
4	Abril	30	2643.10
5	Mayo	31	2687.55
6	Junio	30	2539.09
7	Julio	31	2399.22
8	Agosto	31	2352.84
9	Septiembre	30	2284.72
10	Octubre	31	2203.72
11	Noviembre	30	1946.39
12	Diciembre	31	1811.78
Producción anual			27,272.98

En la tabla 26 se ve la producción anual de 160 módulos de 95 W con una inclinación de 25° según la Nom-001-Sede 2012, nos arrojó 27,272 kWh los cálculos fueron en base al programa de dimensionamiento de ECITEC carrera de Ingeniería en energías renovables.

En la figura 41 se muestra la radiación global según el ángulo seleccionado según la Nom-001-Sede-2012 y se compara con otras inclinaciones para respaldar cual sería la óptima.

Inclinación 25°

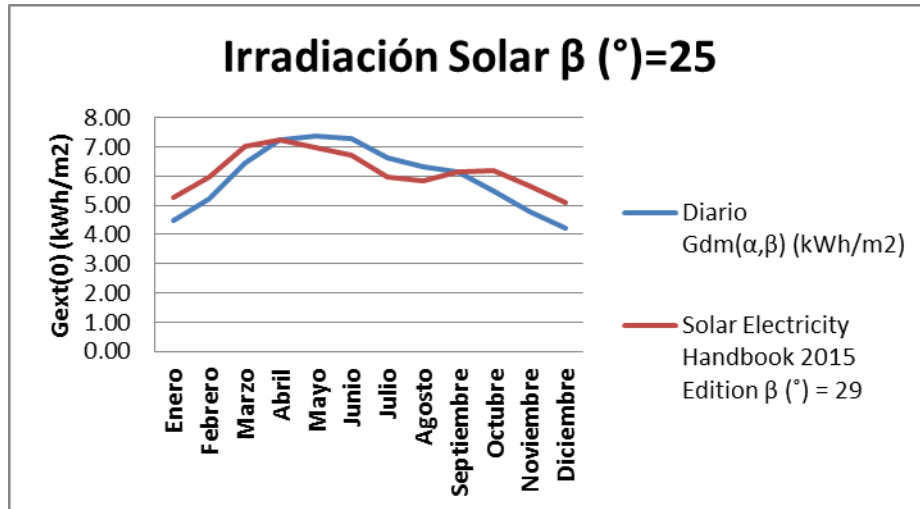


Figura 41 Grafico de Irradiación mensual con  $\beta=0$ .

Elaboración propia.

#### 20.1.4 Tablas comparativas de variación de producción entre varias inclinaciones.

Las perdidas debidas a orientación e inclinación se determinan con una inclinación diferente a nuestro sistema para estudio de pérdidas por mala orientación e inclinación.

- Inclinación  $50^{\circ}$

Tabla 27 Producción Anual un panel de 160 módulos de 95 W a 50°

			ED (kWh/Mes)
Mes	Mes	Días	Producción media ED
1	Enero	31	2186.02
2	Febrero	28	2045.98
3	Marzo	31	2469.93
4	Abril	30	2301.85
5	Mayo	31	2156.87
6	Junio	30	1960.24
7	Julio	31	1902.59
8	Agosto	31	1985.78
9	Septiembre	30	2112.54
10	Octubre	31	2248.93
11	Noviembre	30	2173.91
12	Diciembre	31	2100.24
Producción anual			25,644.95

En la tabla 27 se ve la producción anual de 160 módulos de 95 W con una inclinación de 50° la inclinación es hipotética, sirve para comprar las diferentes inclinaciones y saber cual nos conviene más en este caso nos arrojó 25,664.95 kWh los cálculos fueron en base al programa de dimensionamiento de ECITEC carrera de Ingeniera en energías renovables. (Ver figura 42)

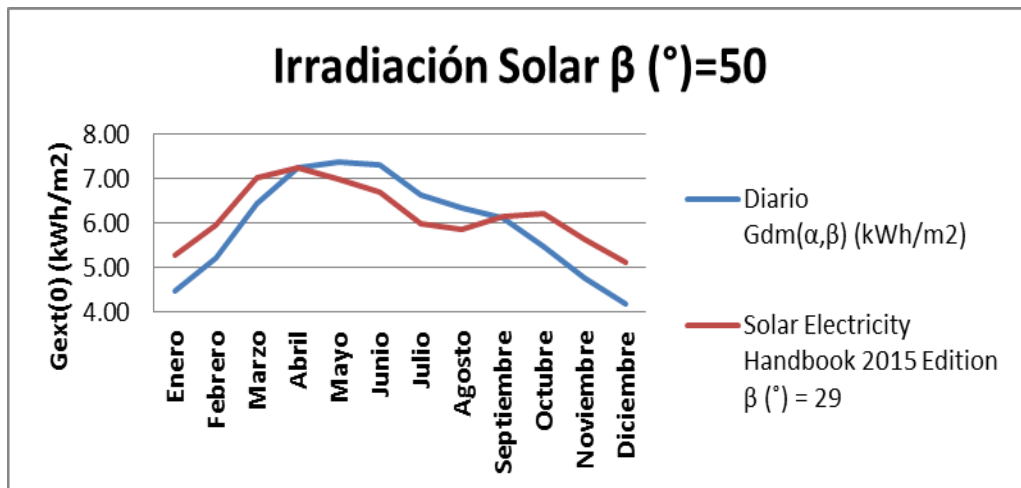


Figura 42 Grafico de Irradiación mensual con  $\beta=0^\circ$

- Inclinación 15°

Tabla 28 Producción Anual un panel de 160 módulos de 95 W a 15°

			ED (kWh/Mes)
Mes	Mes	Días	Producción media ED
1	Enero	31	1723.52
2	Febrero	28	1812.93
3	Marzo	31	2471.53
4	Abril	30	2677.46
5	Mayo	31	2809.77
6	Junio	30	2694.06
7	Julio	31	2524.50
8	Agosto	31	2417.81
9	Septiembre	30	2263.40
10	Octubre	31	2092.96
11	Noviembre	30	1767.14
12	Diciembre	31	1612.86
Producción anual			26,868.01

En la tabla 28 se ve la producción anual de 160 módulos de 95 W con una inclinación de 15° la inclinación es hipotética, sirve para comprar las diferentes inclinaciones y saber cual nos conviene más en este caso nos arrojó 26,868.01 kWh los cálculos fueron en base al programa de dimensionamiento de ECITEC carrera de Ingeniera en energías renovables. ( Ver figura 43)

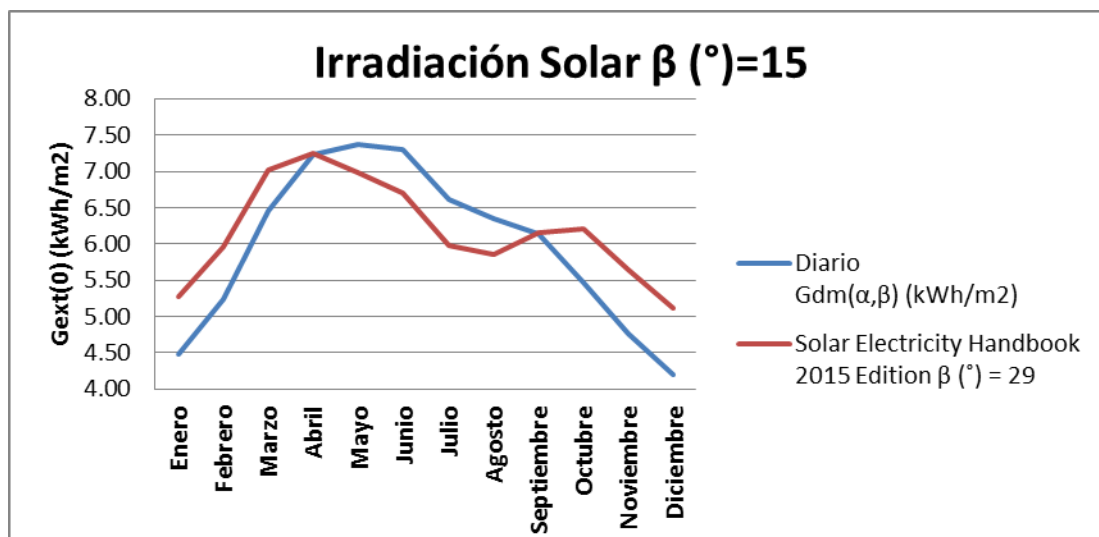


Figura - 43 Grafico de Irradiación mensual con  $\beta=0^\circ$

Podemos concluir que la inclinación que se eligió fue la de 25° siendo la más óptima aparte de ser la que está basada sobre la NOM-001-SEDE 2012, otra ventaja a nuestro favor es la estructura que se eligió para el proyecto ya que son prefabricadas solo para su ensamblado a 25°.

## 21.1 ANÁLISIS FINANCIERO.

- DEMANDA DE ENERGÍA (kWh/año)  
570,887 kWh/Anuales
- ENERGÍA RENOVABLE GENERADA (kWh/Anuales)  
199,031.58 kWh/Anuales
- INVERSIÓN TOTAL  
\$ 3,396,600 pesos.

COSTO POR WATT 31.45 PESOS

El costo de producción real se calcula la inversión y gastos entre producción estimada durante el tiempo de vida del sistema, resultando 1.57 pesos por watt si se considera 20 años de vida del sistema. El costo de watt instalado, es la inversión realizada entre capacidad instalada nos arroja 59 pesos.

### 21.1.1 Estudio de factibilidad del proyecto.

Se presenta un estudio que dio como resultado la factibilidad económica de la implementación de energía solar fotovoltaica interconectada a la red. Se determinaron los recursos para desarrollar, implantar, y mantener en operación el sistema fotovoltaico, haciendo una evaluación donde se puso de manifiesto el equilibrio existente entre los costos intrínsecos del sistema y los beneficios que se derivaron de este, permitiendo observar de una manera precisa las retribuciones del sistema fotovoltaico. (Ver figura 44 y 45)

Tabla 29 Estudio de factibilidad del proyecto.

<b>ENERGIA ELECTRICA PRODUCIDA POR EL PROYECTO SFVCR</b>							
	UNIDAD	2014	2015	2016	2017	2018	2019
GENERACIÓN	KWh	186,688.00	182,954.24	179,295.16	175,709.25	172,195.07	168,751.17
AHORRO	PESOS	\$ 306,283.38	\$ 300,157.71	\$ 294,154.55	\$ 288,271.46	\$ 282,506.03	\$ 276,855.91
TOTAL							
							<b>(AHORRO DEL 33%)</b>
<b>COSTOS ENERGIA ELECTRICA CON PROYECTO</b>							
	UNIDAD	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DEMANDA TOTAL	KWh/AÑO	570,887	570,887	570,887	570,887	570,887	570,887
CFE	KWh	384,199	387,933	391,592	395,178	398,692	402,136
PROYECTO	KWh	186,688	182,954	179,295	175,709	172,195	168,751
COSTO	PESOS	630,323	655,181	680,291	705,663	731,307	757,233
TOTAL	PESOS	\$ 630,323.14	\$ 655,180.94	\$ 680,290.87	\$ 705,662.87	\$ 731,306.98	\$ 757,233.37

El costo de producción de la energía es la inversión realizada del proyecto entre la cantidad de kWh producido durante el tiempo de vida del proyecto fotovoltaico, en este caso a 20 años

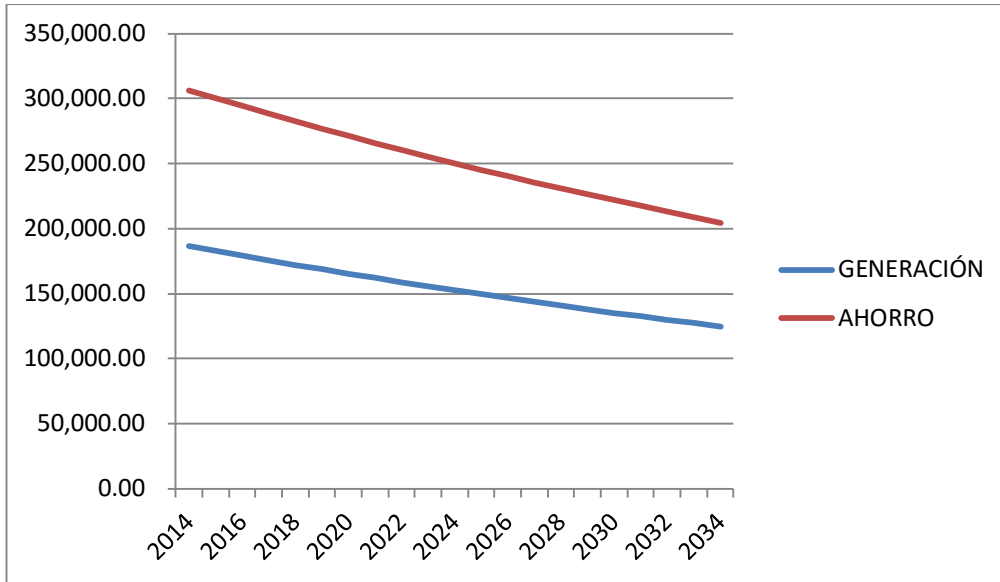


Figura 44 Grafico de generación vs ahorro.

[SCAEE :: Sistemas de Control, Automatización y Eficiencia](#)

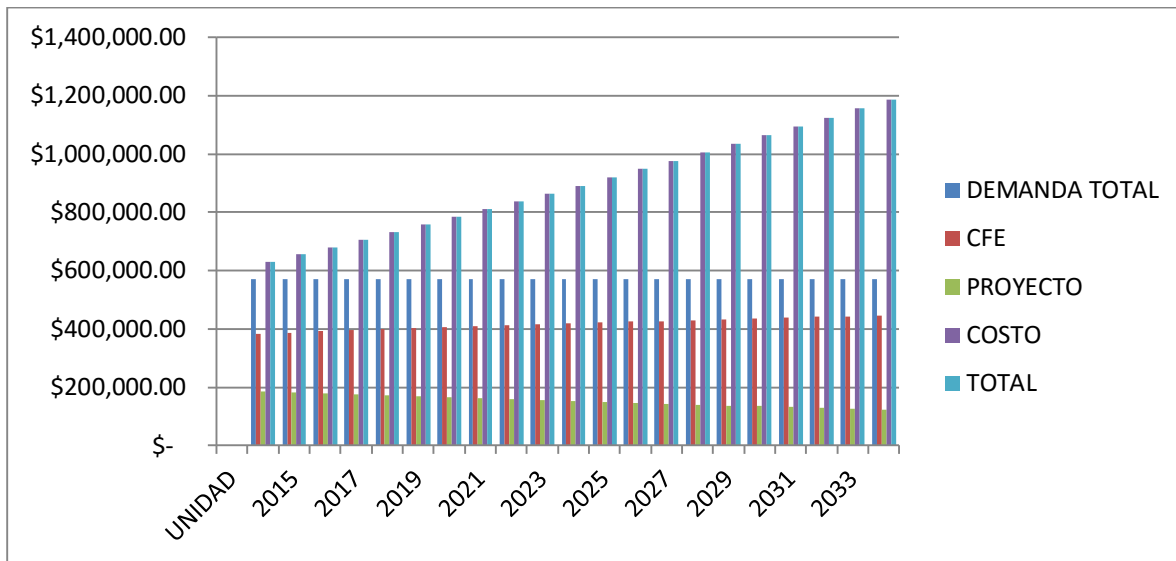


Figura 45 Grafico de costo de energía eléctrica

[SCAEE :: Sistemas de Control, Automatización y Eficiencia](#)

Permitiendo hacer una comparación entre la relación costos del sistema actual, y los costos que tiene el nuevo sistema de energía solar, conociendo de antemano los beneficios que estos ofrece.

**22.1 EMISIONES DE CO<sub>2</sub>**

La instalación del sistema solar fotovoltaico aportará a la red 199,031.58 kWh anuales que, en teoría, podrían dejar de ser generados por la Central Termoeléctrica Puerto Libertad siendo una de las principales fuentes de generación eléctrica de la región Nor-Pacífico. Su generación se distribuye a través de 5 líneas de 230 kV dos a la Subestación 6 de Abril en Caborca, dos a Santa Ana y una más a la Subestación Hermosillo IV apoyando así a la creciente demanda en energía desarrollada por los emporios industriales, agrícolas y ganaderos de la región de Hermosillo, Caborca y el complejo minero Nacozari y Cananea: aportando el 30% del total de la capacidad instalada de la región. La Central cuenta actualmente con cuatro unidades de 158,000 kWh cada una. Lo cual da una capacidad total instalada de 632,000 kW. El sistema fotovoltaico ayudaría a reducir las emisiones de gases CO<sub>2</sub> en la siguiente tabla 30 se muestran equivalencias de reducción de emisiones emitidas al medio ambiente.

Tabla 30 – Valor de Emisiones de CO<sup>2</sup>

Sánchez, D. R (2014) Climate Change, Community Vulnerability obtenido de Harvard University First Session Applied Leadership in Renewable Energies and Energy Efficiency

Impact category	Unit	Coal Electricity 1 KWh	Natural Gas Electricity 1 KWh	Nuclear Electricit y 1 KWh	Oil Electricit y 1 KWh	Biomass Electricity 1 KWh	Hydro Electricity 1 KWh	Photovoltaic Electricity 1 KWh
Climate change	kg CO2 eq	1.079417	0.683746	0.012796	0.934932	0.045765	0.0037022	0.04735481
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	8.21E-12	4.26E-10	6.84E-08	3.69E-11	9.5E-14	2.341E-10	9.4111E-09
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	0.047557	0.124478	0.046705	0.506636	0.001295	0.0011645	0.06363289
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	0.003701	0.001182	5.75E-05	0.002734	0.040264	1.709E-05	0.00017294
Particulate matter formation	kg PM10 eq	0.002105	0.001253	7.63E-05	0.000958	0.000221	2.057E-05	7.933E-05
Ionising radiation	kg U235 eq	0	0.00318	1.072628	0	0	0.0005989	0.01431598
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.00862	0.006003	8.2E-05	0.003436	0.000765	1.326E-05	0.000206
Freshwater eutrophication	kg P eq	0	5.89E-06	5.76E-06	0	0	1.035E-06	3.9812E-05
Marine eutrophication	kg N eq	0.00012	2.52E-05	6.4E-06	8.61E-05	3.59E-05	7.387E-07	1.8172E-05
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.07E-05	0.000123	5.82E-06	1.81E-05	8.04E-09	2.742E-07	9.3527E-05
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.000117	0.008637	0.000426	0.003238	8.31E-06	4.064E-05	0.00083077
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.000149	0.002503	0.000543	0.003573	8.57E-06	4.199E-05	0.00102911
Agricultural land occupation	m2a	0	0.000153	0.000488	0	0	4.468E-05	0.00187609
Urban land occupation	m2a	0	0.00014	0.000277	0	0	4.27E-05	0.00035624
Natural land transformation	m2	0	3.33E-06	2.33E-06	0	0	-1.05E-07	8.9894E-06
Water depletion	m3	0	4.2E-05	0.003253	0	0	4.627E-05	0.00048985
Metal depletion	kg Fe eq	0	0.000659	0.006596	0	0	0.001868	0.01685843
Fossil depletion	kg oil eq	0.336222	0.279696	0.00361	0.317031	0.000816	0.0008846	0.01435475

Basándonos en la siguiente tabla 31 podemos observar una comparación de cifras que representan los resultados de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por diferentes tipos de generadores de energía en este caso la Termoeléctrica de Puerto libertad es de ciclo combinado utilizando gas natural para su generación de energía, por lo tanto con el proyecto se disminuyó la siguiente cifra:

Tabla 31 – Calculo de Reducción de Emisiones de CO<sup>2</sup> al ambiente con la planta de 108kWp.

<b>Produccion anual 108kw</b>	199,031.58	
Produccion Natural gas	136,087.12	kg CO2 eq
Produccion Photovoltaico	9,425.10	kg CO2 eq
reduccion kg CO2 emitidos	126,662.02	

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 23.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

USPR AGROINDUSTRIAS DE CABORCA DE RI una empresa con alta facturación de consumos de energía eléctrica dedicada a la cría y engorda de cerdos, decidió implementar nuevas tecnologías de energías renovables, entre las que destacan producción de biogás, utilización de biodiesel y energía solar fotovoltaica. Adicionando una nueva sección de energía solar fotovoltaica para reducir su alto consumo de energía. Se dimensionó un proyecto en el cual se reduciría un porcentaje de su facturación, con una capacidad de 108 kW de potencia nominal restricción del cliente, instalado en Caborca Sonora México.

Esta instalación no fue calculada en base a un consumo de energía eléctrica, más bien especificado por el cliente, así el dimensionamiento fue un poco más simplificado. Sin embargo se comparó el sistema de selección de componentes con un programa en Excel de la Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología del programa educativo de Ingeniería en Energías Renovables de Tijuana, Baja California, basado en las ecuaciones del libro Solar Engineering of Thermal Processes de los autores John A. Duffie y William A. Beckman, y Huerta fotovoltaica de 1.2 MW, con seguimiento solar y conexión a red en Sevilla. (Ver Anexo IV) en donde se obtuvieron resultados coherentes y válidos para su diseño.

Los resultados de dicha comparación tuvo una variación de 6 kW uno de la otra, por lo que el diseño de la instalación utilizó una forma más sencilla pero correcta. Se le dio una gran importancia a la estética de la instalación restricción del cliente y un gran campo de seguridad tanto en el cableado, protecciones, estructura y rango en el sombreado de los módulos facilitando la gran extensión asignada a la instalación.

Durante el proceso se mantuvo en cuenta el pliego de condiciones actualmente en vigor basándose en su totalidad en la normatividad Mexicana, por lo que se obtuvo la certificación de ANCE en Sistemas de energía solar fotovoltaica en cumplimiento con especificaciones FIRCO y la NOM-001-SEDE-2012.” Completando lo siguientes puntos:

- Diseño del generador fotovoltaico: se han empleado 800 módulos distribuidos en serie y paralelo obteniendo 108 kWp nominales.
- Estructura de módulos fija: Se instaló en campo estructura de aluminio galvanizado, homologadas con capacidad de 80 módulos cada uno, dando un total de 10 paneles. Con una distancia de separación de 5.5 para no producir zonas de sombreado. Las bases de la estructura

están ancladas o embebidas con tornillos de profundidad de 1.6m lo que resulta imposible sacar de su lugar cualquier tornillo anclado al suelo.

- Orientación de los módulos: se calculó la inclinación óptima en base a la Nom-001-Sede-2012 donde establece que debe ser  $\pm 5^\circ$  la latitud del lugar. Dando como resultado un Azimut de  $0^\circ$  y  $25^\circ$  de inclinación orientado al sur verdadero.
- Perdidas: se ha tenido en cuenta en el diseño las perdidas por orientación e inclinación, y las perdidas por sombras para que estas sean nulas.

Con un presupuesto de 3, 396,600 \$ (IVA incluido) obteniendo una producción anual de 199,031.58 kWh y se estima un ahorro del 33% de energía eléctrica consumida en base a la Corrida Financiera AIPSON SC Asesoría Integral y Proyectos en Sonora.

Se logró una reducción de 126,662.02 kg CO<sup>2</sup> emitidos al ambiente

## CONCLUSIONES

A lo largo de este proyecto se ha podido obtener una visión completa de la estructura técnica de un generador fotovoltaico con conexión a red, su proceso de instalación, la generación de energía disponible y su viabilidad económica. El generador fotovoltaico de 108 kW de potencia nominal para U.S.P.R. AGROINDUSTRIAS DE CABORCA DE R.I., ubicado en Caborca, Sonora, México.

Se ha puesto especial énfasis en los elementos más importantes del generador fotovoltaico como son el tipo de modulo fotovoltaico, inversor, estructura de montaje y protecciones a elegir por sus características técnicas y adaptables a la dimensión de la instalación, satisfaciendo los requerimientos del cliente y la NOM-001-SEDE\*2012

Tiene especial importancia el dimensionamiento y estructuración de los módulos fotovoltaicos, no sólo a nivel técnico para determinar los datos máximos de entrada en el inversor, sino también a nivel económico, ya que representa alrededor del 60% del coste total de la instalación.

- Generador fotovoltaico: 160 módulos de 95 W (BT-095RS) y 640 módulos de 145 W (NT-145AX) de la marca Nexpower, con una producción diaria promedio estimada de la planta de generación de 605.88 kW/h.
- Estructura de módulos fija: 10 estructuras de la marca GRASOL con capacidad de 80 módulos cada uno.
- Orientación de los módulos: Azimut de 0° y 25° de inclinación orientado al sur verdadero.
- Perdidas: Perdidas por orientación e inclinación, y las perdidas por sombras para que estas sean nulas.
- Instalación eléctrica: Las corrientes y voltajes a la salida de los paneles llegan al inversor dentro del rango de operación del mismo.

La viabilidad económica del proyecto arroja como resultado una tasa interna de retorno del 24.5% y 20 años, amortización de la inversión en 7 años y a fondo perdido el 50 % del costo de la instalación. La tecnología fotovoltaica utilizada permite alternativa de un análisis financiero a 25 años, mejorando el análisis económico y haciendo más atractivo el proyecto para el cliente.

En el propio desarrollo del proyecto no se ha buscado exclusivamente la producción energética para bajar los costos de producción, además se ha tenido en cuenta la situación actual del cuidado del medio ambiente, el conseguir una disminución de los gases contaminantes al ambiente debida a la generación convencional de energía eléctrica de las centrales generadoras de la región. Con este proyecto se logró una reducción de 126,662.02 kg CO<sub>2</sub> emitidos al ambiente.

## RECOMENDACIONES Y MANTENIMIENTO

### 24.1 MANTENIMIENTO.

El mantenimiento preventivo que demanda un sistema FV es relativamente reducido. Sin embargo, es conveniente dedicar tiempo para conservar el sistema en óptimas condiciones y garantizar con esto además de su correcta operación, un rendimiento energético óptimo durante toda la vida útil.

El alcance y periodicidad del mantenimiento preventivo necesario, depende de las condiciones ambientales específicas en la zona (para el caso de cables y gabinetes no metálicos). A largo plazo, el tiempo invertido en las labores de mantenimiento preventivo es compensado con una operación del sistema más prolongada y sin contratiempos, evita reparaciones y/o daños mayores al equipo al detectar y corregir potenciales causas de falla desde su origen, y alarga la vida útil del sistema.

- El mantenimiento correctivo del sistema FV cuando se presenta una falla es labor de personal técnico especializado.
- Recurrir al personal técnico especializado para la reparación requerida ante la presencia de una falla que deshabilite la operación normal del sistema FV.

#### 24.1.1 Mantenimiento de los módulos fotovoltaicos (Basados en el manual de ANCE).

Pese a la relativa sencillez del mantenimiento preventivo requerido en el arreglo FV (limpieza), ésta es quizá la labor que demanda el mayor tiempo. Sin embargo, para el óptimo desempeño del sistema FV es necesario conservar siempre libre de polvo y/o suciedad la superficie de los módulos FV. Por lo tanto, se recomienda:

- Limpiar la superficie de vidrio según sea necesario. Siempre utilice agua y una esponja o paño suave para la limpieza. Puede emplearse un agente de limpieza suave y no abrasivo para quitar suciedad resistente.
- Verificar conexiones eléctricas y mecánicas cada 6 meses para asegurar que se encuentren limpias, seguras y libres de daño.
- La periodicidad es función de la cantidad de polvo acumulada. Sin embargo, se recomienda realizar esta limpieza al menos 4 veces al año.

#### 24.1.2 Mantenimiento del inversor.

- Mensualmente

Se recomienda que al menos cada mes (o según se requiera) se dé mantenimiento preventivo a lo siguiente:

- Disipador de calor.
- La acumulación de polvo y suciedad en el disipador de calor, y en el cuerpo y las rejillas de protección del ventilador (en su caso) decrece la capacidad de transferencia de calor y puede sacar de operación al inversor por sobre temperatura.
- Inspeccionar la acumulación de suciedad en las aletas del disipador de calor y en la rejilla de protección del ventilador.

- Se recomienda que al menos cada mes (o según se requiera) dar mantenimiento preventivo a: Operación del ventilador (en su caso). Verificar la adecuada operación del ventilador del disipador de calor. Normalmente el ventilador opera a través del cierre de contactos de un relevador. Retirar el polvo y/o suciedad acumulada en el ventilador y en la guarda de protección.
- Semestralmente
  - Remover el gabinete y remueva el polvo o suciedad acumulada en el interior.

El gabinete debe quedar perfectamente hermético para evitar la entrada de agua, polvo y/o tierra al interior.

### **25.1 MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN EN GENERAL basado en el manual mantenimiento de ENILSO S DE RL DE CV**

- Verificar anualmente el estado que guarda el aislamiento de los conductores expuestos a la intemperie (no canalizados), buscando básicamente evidencia de resquebrajamiento del aislamiento o de daño físico.
- Verificar que todas las canalizaciones se mantienen en buen estado y se encuentran debidamente soportadas.
- En relación a las conexiones eléctricas en el circuito, la inspección cuidadosa de que éstas se conservan firmemente sujetas en los puntos de conexión solamente se requiere cuando hay evidencia de que el conductor, la tubería conduit o el gabinete presenta un daño físico visible. La causa más común es la tensión de los cables originada por soportes sueltos o por su ausencia.
- Verificar que la conexión a tierra del sistema, y la de cada uno de los equipos, se mantiene firme y sin corrosión.

### **26.1 MANTENIMIENTO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE.**

- Para proteger adecuadamente contra corrosión la estructura metálica del arreglo FV se recomienda retocar la pintura de ésta al menos una vez cada 2 años. Preferentemente en zonas donde la oxidación es visible.
- Verificar que los elementos de anclaje y la rigidez de la estructura en su conjunto conservan sus características originales.

## 9. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES.

- Abeinsa. (2014). *Abengoa APS entra en el mercado de las estructuras fotovoltaicas*. Obtenido de [http://www.abeinsa.com/web/es/noticias\\_y\\_publicaciones/noticias/historico\\_noticias/2014/abe\\_20131230\\_1.html](http://www.abeinsa.com/web/es/noticias_y_publicaciones/noticias/historico_noticias/2014/abe_20131230_1.html)
- Alonso, D. I. (s.f.). Obtenido de <http://www.unioviedo.es/catedrahunosa/archivos/Isaac%20Pola.pdf>
- Alvares, D. R. (junui de 2012). *climatizacion de un edificio de oficinas mediante energia geotermica*. Madrid, España.
- Ambiente, M. I. (2001). *miliarium.com* . Obtenido de Naciones 9: <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Energia/EnergiasRenovables/EnergiaSolarFotovoltaica.asp>
- Balizamientos, A. (. (2013). *Estructuras Asebal para Instalaciones Fotovoltaicas*. Obtenido de <http://www.asebal.com/auxiliar-balizamiento/esp/energia-solar/estructuras-asebal-instalaciones-fotovoltaicas>
- Brown., R. B. (2012). *Potencial de la Energía Solar Térmica de Baja y Media Temperatura*. Obtenido de Centro de Investigación en Energía de la UNAM Mesa de trabajo 8: Fuentes alternas de energía - III: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/277/A5.pdf?sequence=5>
- CHÁVEZ, D. H. ( MAYO de 2012). *UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR*. Recuperado el 15 de MAYO de 2015, de FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA, ESCUELA DE ENERGIA ELECTRICA : [http://ri.ues.edu.sv/2045/1/Implementaci%C3%B3n\\_de\\_seguidor\\_solar\\_en\\_dos\\_ejes\\_para\\_el\\_Sistema\\_Fotovoltaico\\_de\\_la\\_Escuela\\_de\\_Ingenier%C3%ADa\\_El%C3%A9ctrica\\_de\\_la\\_UES.pdf](http://ri.ues.edu.sv/2045/1/Implementaci%C3%B3n_de_seguidor_solar_en_dos_ejes_para_el_Sistema_Fotovoltaico_de_la_Escuela_de_Ingenier%C3%ADa_El%C3%A9ctrica_de_la_UES.pdf)
- Cintac. (2015). Obtenido de <http://www.cintac.cl/estructuras-fijas/>
- CONSEJERIA DE INDUSTRIA, C. Y. (2002). *GUIA TÉCNICA DE APLICACIÓN PARA INSTALACIONES DE ENERGÍAS RENOVABLES* . Obtenido de INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS: [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf)
- Electricidad, C. F. (2008). *Manual de Obras Civiles, Diseño por Viento*. . MEXICO .
- Elirmex, S. D. (2007). *Elirmex, S.A. De C.V. Energia Limpia y Renovable en Mexico*. . Obtenido de Como parte de la integración de los sistemas fotovoltaicos solares con interconexión a la red de CFE, Elirmex suministra el medidor bidireccional digital aprobado por CFE para su reemplazo por personal de CFE (Comision Federal de Electricidad): <http://www.elirmex.com.mx/medidor-bidireccional.html>
- ERENOVABLE.COM. (2015). *ERENOVABLE.COM*. Obtenido de ENERGÍA SOLAR VENTAJAS Y DESVENTAJAS: <http://erenovable.com/energia-solar-ventajas-y-desventajas/>

- GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY Co., L. (2014). Obtenido de <http://www.growatt.com/UploadFiles/20140114/2014011410220018.pdf>
- Kusterer, J. M. (27 de Marzo de 2014). *NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables*. Obtenido de Informacion Geografica.: [http://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/cgiwrap/solar/grid.cgi?&p=grid\\_id&num=069120&lat=29.175&veg=17&hgt=100&submit=Submit&email=grid@larc.nasa.gov&lon=-111.358&step=2&sitelev=](http://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/cgiwrap/solar/grid.cgi?&p=grid_id&num=069120&lat=29.175&veg=17&hgt=100&submit=Submit&email=grid@larc.nasa.gov&lon=-111.358&step=2&sitelev=)
- LINAK. (2005). *LINAK*. Recuperado el 15 de mayo de 2015, de <http://www.solar-tracking.es/>
- Lorenzo, J. A. (2014). *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*. Recuperado el 13 de mayo de 2015, de <http://ingemecanica.com/ingenieria/proyectos/proyecto106.pdf>
- LTD, G. N. (2014). Obtenido de <http://www.ginverter.com/UploadFiles/20140114/2014011410494095.pdf>
- M.Green. (2011). *Solar Generation 6*. Obtenido de tabla resume las principales características de las tecnologías fotovoltaicas : <http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/tecnologia-de-celulas-y-modulos-fotovoltaicos/Materiales/ud2/unidad-2.-tecnologias-fotovoltaicas>
- MANZANARES, J. L. ( 2007). *Tecnologías Fotovoltaicas*. Obtenido de Master en Energías Renovables y Mercado Energético : [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45348/componente45346.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45348/componente45346.pdf)
- MARINO, M. D. (2005). *Agencia Estatal de Meteorología*. Obtenido de [http://www.aemet.es/documentos/es/el tiempo/observacion/radiacion/Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/el tiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf).
- Moya, R. S. (2010). *DISEÑO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA DE 100 kWp DE POTENCIA NOMINAL*. MADRID : UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.
- Mtr00004. (2011 de marzo de 29). *wikimedia commons*. Obtenido de <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Esquemaunif.png>
- MyMadrid.me. (s.f.). Obtenido de <http://balancedeenlace.galeon.com/azimut.jpg>
- NexPower. (2014). *Lucid+ BIPV Module*. Recuperado el <http://www.nexpw.com/Product/see-through-solar/Lucid#Lucid+2000>
- Quintana, A. O. (noviembre de 2012). *CONUUE*. Recuperado el 14 de mayo de 2015, de Guia practica de tramites y permisos para proyectos de cogeneracion de energia electrica en mexico: <http://conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7665/1/cogeneracion.pdf>
- Raúl González Galarza, H. R. (diciembre de 2003). *Boletín IIE*. Obtenido de Sistemas fotovoltaicos Sistemas fotovoltaicos: <http://www.iie.org.mx/boletin042003/art2.pdf>
- riosolar. (s.f.). Obtenido de [http://www.riosolar.com/img/FV\\_MPPT\\_Bateria\\_Inversor.gif](http://www.riosolar.com/img/FV_MPPT_Bateria_Inversor.gif)
- Sanchez, D. R. (2014). *Climate Change, Community Vulnerability*. Obtenido de Harvard University First Session Applied Leadership in Renewable Energies and Energy Efficiency: Applied Leadership in Renewable Energies and Energy Efficiency
- Sánchez, R. A. (2005). *Cálculo técnico, energético y de viabilidad económica de instalación fotovoltaica de 100 kW*. Leganés.

Sánchez-Friera, P. (06 de junio de 2011). *UNIA OpenCourseWare*. Recuperado el 2015 de 05 de 18, de Unidad 3- Materiales y procesos de fabricación de células fotovoltaicas.: <http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/tecnologia-de-celulas-y-modulos-fotovoltaicos/Materiales/unidad-3/unidad-3#f>

SENER, G. F. (2013). *Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México*. Obtenido de [energia.gob: http://www.energia.gob.mx/webSener/res/0/D121122%20Iniciativa%20Renovable%20SENER\\_Geotermia.pdf](http://www.energia.gob.mx/webSener/res/0/D121122%20Iniciativa%20Renovable%20SENER_Geotermia.pdf)

sflex. (2014). *FLEX GmbH – Estructuras FV*. Obtenido de <http://www.sflex.com/htdocs/index.php/es/estructuras/tejado-inclinado>

Sitiosolar.com. (2003). *La normativa de net metering en México*. Obtenido de <http://www.sitiosolar.com/la-normativa-de-net-metering-en-mexico/>

Solar, E. (2005). Obtenido de <http://www.ensolar.com/pv/panel-datasheet/Thin-film/301>

Solar., A. E. (2009). *Calentador Solar*. Obtenido de <http://www.alternativaenergetica.com.mx/calentador/analisiswh.html>

sustentable., L. c. (s.f.). *la casa sustentable*. . Obtenido de <http://www.lacasasostenible.com/climatizacion-geotermica.html>

## ANEXO I. NORMATIVIDAD APLICABLE AL PROYECTO.

### NOM 001-SEDE-2012.- ARTICULO 690 SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS A.

#### Disposiciones generales

690-1. Alcance. Lo dispuesto en este Artículo se aplica a sistemas eléctricos de energía solar fotovoltaica (FV), incluidos los arreglos de circuitos, inversores y controladores de dichos sistemas [Ver las Figuras 690- 1(a) y (b)]. Los sistemas solares fotovoltaicos cubiertos por este Artículo pueden ser interactivos con otras fuentes de producción de energía eléctrica o autónomos, con o sin almacenamiento de energía eléctrica, como baterías. Estos sistemas pueden tener salidas de utilización de corriente alterna o de corriente continua.

690-5. Protección contra fallas a tierra. Los arreglos fotovoltaicos de corriente continua puestos a tierra deben tener protección contra fallas a tierra de corriente continua, que cumpla con los requisitos de (a) hasta (c) siguientes para reducir los peligros de incendio. Los arreglos fotovoltaicos de corriente continua no puestos a tierra deben cumplir lo establecido en 690-35.

690-18. Instalación y mantenimiento de un arreglo fotovoltaico. Se debe emplear un medio de apertura o de puesta en corto circuito o un recubrimiento opaco, que permita desactivar un arreglo fotovoltaico o partes de un arreglo fotovoltaico para instalación y mantenimiento.

690-31. Métodos permitidos. a) Sistemas de alambrado. Se permitirá utilizar todos los métodos de alambrado con canalizaciones y cables incluidos en esta NOM, y otros sistemas de alambrado y accesorios proyectados específicamente e identificados para uso en arreglos fotovoltaicos. Cuando se utilicen dispositivos alambrados con envoltentes integrales, se debe suministrar una longitud suficiente del cable para que se puedan reemplazar fácilmente. Cuando se instalan en lugares fácilmente accesibles, los circuitos de fuente y de salida fotovoltaicos, funcionando a tensiones máximas del sistema mayores a 30 volts, se deben instalar en una canalización.

Tabla 5.1.- Factores de corrección 690-31(c).

Temperatura ambiente °C	Temperatura máxima de operación del conductor			
	60 °C	75 °C	90 °C	105 °C
30	1.00	1.00	1.00	1.00
31-35	0.91	0.94	0.96	0.97
36-40	0.82	0.88	0.91	0.93
41-45	0.71	0.82	0.87	0.89
46-50	0.58	0.75	0.82	0.86
51-55	0.41	0.67	0.76	0.82
56-60		0.58	0.71	0.77
61-70		0.33	0.58	0.68
71-80			0.41	0.58

690-32. Conexión de componentes. Para la interconexión en el sitio, de módulos u otros componentes del arreglo, se permitirá usar accesorios y conectores proyectados para quedar ocultos en el momento del ensamble en el sitio, si están aprobados para ese uso. Dichos accesorios y conectores deben ser iguales al método de alambrado empleado en: el aislamiento, aumento de temperatura y resistencia a las corrientes de falla y deben ser capaces de resistir las condiciones ambientales en las cuales se vayan a usar.

690-41. Puesta a tierra del sistema. Para una fuente de potencia fotovoltaica, un conductor de un sistema de 2 hilos con una tensión del sistema fotovoltaico de más de 50 volts y el conductor de referencia (derivación central) de un sistema bipolar, debe estar sólidamente puesto a tierra o debe utilizar otros métodos que logren una protección equivalente del sistema de acuerdo con 250-4(a) y que utilicen equipo aprobado para ese uso.

Art 310.14 de la NOM 001 SEDE 2012, siempre que los conectores para la interconexión de los circuitos eléctricos sean del tipo CO/ALR; o bien, que tengan un recubierto metálico que permita la compatibilidad con conectores tradicionales de cobre tipo tornillo. Deben ser del tipo USE-2, RHH.RHHW-2 con aislamiento XLPE para intemperie.

310-15. Capacidad para conductores con tensión de 0-2000 volts. a) Generalidades 1) Tablas o supervisión de ingeniería. Se permitirá determinar la capacidad de los conductores mediante Tablas, como se establece en 310-15 (b) o bajo la supervisión de ingeniería, como se establece en 310-15(c).

Tabla .- 310-15(b)(2)(a).- Factores de Corrección basados en una temperatura ambiente de 30 °C.

Para temperaturas ambiente distintas de 30 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:			
Temperatura ambiente (°C)	Rango de temperatura del conductor		
	60 °C	75 °C	90 °C
10 o menos	1.29	1.20	1.15
11-15	1.22	1.15	1.12
16-20	1.15	1.11	1.08
21-25	1.08	1.05	1.04
26-30	1.00	1.00	1.00
31-35	0.91	0.94	0.96
36-40	0.82	0.88	0.91
41-45	0.71	0.82	0.87
46-50	0.58	0.75	0.82
51-55	0.41	0.67	0.76
56-60	-	0.58	0.71
61-65	-	0.47	0.65
66-70	-	0.33	0.58
91-75	-	-	0.50
76-80	-	-	0.41
81-85	-	-	0.29

Canalizaciones circulares expuestas a la luz solar en azoteas. Cuando los conductores o cables se instalan en canalizaciones circulares expuestas a la luz solar directa en o por encima de azoteas, los valores que se indican en la Tabla 310-15(b)(3)(c) se deben agregar a la temperatura exterior para determinar la temperatura ambiente correspondiente para la aplicación de los factores de corrección de las Tablas 310-15(b)(2)(a) ó 310-15(b)(2)(b).

Tabla 310-15(b)(3)(c).- Ajustes a la temperatura ambiente para canalizaciones circulares expuestas a la luz solar en o por encima de azoteas.

Distancia por encima del techo hasta la base del tubo conduit milímetros	Sumador de temperatura °C
De 0 hasta 13	33
Más de 13 hasta 90	22
Más de 90 hasta 300	17
Más de 300 hasta 900	14

310-106. Conductores a) Tamaño mínimo de los conductores. El tamaño mínimo de los conductores debe ser como se presenta en la Tabla 310-106(a), excepto lo que se permita en otras partes de esta NOM.

Tabla 5.4.- Tamaño o designación mínimo de los conductores.

Tensión nominal del conductor (volts)	Cobre		Aluminio o aluminio recubierto de cobre	
	Tamaño o designación			
	mm <sup>2</sup>	AWG	mm <sup>2</sup>	AWG
0-2 000	2.08	14	13.3	6
2 001-5 000	8.37	8	13.3	6
5 001-8 000	13.3	6	13.3	6
8 001-15 000	33.6	2	33.6	2
15 001-28 000	42.4	1	42.4	1
28 001-35 000	53.5	1/0	53.5	1/0

200-1. Alcance. Este Artículo establece los requisitos para: (1) Identificación de las terminales; (2) Conductores puestos a tierra en el sistema de alambrado de las edificaciones; y (3) Identificación de los conductores puestos a tierra.

Corriente directa: negro o rojo para el positivo; blanco para el negativo. Corriente alterna: para la fase, cualquier color excepto blanco, gris claro, o verde; para el neutro, blanco o gris claro.

Para el conductor de puesta a tierra: se permite el uso de conductores sin aislamiento, o con aislamiento color verde o verde con franja amarilla. Se debe respetar código de colores para los cables a usar entre MFV, controlador, inversor, caja de desconexión y puesta a tierra. En el caso de conexión de módulos en serie, el cable entre módulos puede ser del mismo color que no sea rojo, verde o blanco.

225-31. Medio de desconexión. Se deben instalar medios para desconectar todos los conductores de fase que alimentan o pasan a través del edificio o estructura.

225-32. Ubicación. Los medios de desconexión se deben instalar ya sea en la parte interior o exterior del edificio o estructura alimentada, o donde los conductores pasan a través del edificio o estructura.

Los medios de desconexión deben estar en un lugar fácilmente accesible y lo más cercano posible del punto de entrada de los conductores. Para los propósitos de esta sección, se deben utilizar los requerimientos de 230-6. Los medios de desconexión deben cumplir con certificación NOM-003-SCFI-vigente.

250-50. Sistema de electrodos de puesta a tierra. Todos los electrodos de puesta a tierra que se describen en 250-52(a)(1) hasta (a)(7), que estén presentes en cada edificio o estructura alimentada, se deben unir entre sí para formar el sistema de electrodos de puesta a tierra. Cuando no existe ninguno de estos electrodos de puesta a tierra, se debe instalar y usar uno o más de los electrodos de puesta a tierra especificados en 250-52(a)(4) hasta (a)(8). En ningún caso, el valor de resistencia a tierra del sistema de electrodos de puesta a tierra puede ser mayor que 25 ohm.

Art.250-83-3 Una varilla de acero cobriza del tipo Copper Weldde 5/8" de diámetro y 3m de longitud enterrada de manera vertical por lo menos 2.4m, si no se puede enterrar por ser el terreno material rocoso, se ° debe clavar a un ángulo oblicuo que no forme más de 45 con la vertical; o bien, enterrar la en una zanja que tenga como mínimo 80.0 cm de profundidad.

250-106. Sistemas de protección contra descargas atmosféricas. Los electrodos de puesta a tierra del sistema de protección contra descargas atmosféricas se deben unir al sistema del electrodo de puesta a tierra del edificio o estructura.

NOM-008-SCFI-2002, Sistema general de unidades de medida.

NMX-J-618/1-ANCE-2010(IEC61730-1)–Evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (FV)-Parte1:Requisitos generales para construcción y toda la serie.

NMX-J-643/1-ANCE-2011(IEC60904-1)-Dispositivos fotovoltaicos –Parte 1: Medición de la característica corriente- tensión de los dispositivos fotovoltaicos.... Y toda la serie.

NMX-J-655/1-ANCE-2012(IEC61853-1)–Desempeño y eficiencia en sistemas fotovoltaicos (FV)-Parte1:Mediciones de desempeño para irradiación, temperatura y energía en módulos fotovoltaicos.

Resolución núm. RES/054/2010: Resolución por la que la Comisión Reguladora de Energía expide el Modelo de Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Renovable o Sistema de Cogeneración en Mediana Escala, etc.

NOM-063-SCFI-2001, Productos eléctricos-Conductores-Requisitos de seguridad.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Economía.

Norma internacional IEC62109 Part1 y Part2, o alternativamente, de la Norma UL1741 basada en la Norma IEEE 1547. Norma IEC62116: 2008 Ed1, o la Norma UL1741.

# ANEXO II MECÁNICA DE SUELOS GEOTECNIA DEL NOROESTE S.A DE C.V

# ANEXO III FICHAS TÉCNICAS Y CERTIFICADOS.

# ANEXO IV HUERTA FOTOVOLTAICA 1.2 MW CON SEGUIMIENTO SOLAR EN SEVILLA.

ANEXO V DIAGRAMA UNIFILAR CENTRAL  
FOTOVOLTAICA 108KW USPR  
AGROINDUSTRIAS.

ANEXO VI CONTRATO DE INTERCONEXIÓN A  
MEDIANA ESCALA.

ANEXO VII CONTRATO DE INTERCONEXIÓN A  
PEQUEÑA ESCALA.

**ANEXO VII CUMPLIMIENTO CON  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS FIRCO Y  
NOM-001-SEDE-2012**