



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Reporte de Experiencia Profesional

**“APLICACIÓN DE PLANTA SOLAR, SEGUNDA ETAPA EN EL
PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS”**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

PRESENTA

CÉSAR FERNANDO AMEZCUA AGUILAR

ASESOR

Ingeniero Electricista

Ignacio Franco Torres

Morelia, Michoacán. México.

FEBRERO 2021

Agradecimientos

A mis padres.

A quienes me han heredado el tesoro más valioso que pueda dársele a un hijo: Amor. A quien sin escatimar esfuerzo alguno se han sacrificado gran parte de su vida, me han formado y educado. A quienes la ilusión de su existencia ha sido verme convertido en persona de provecho. A quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni con las riquezas más grandes del mundo.

A la Universidad.

A la máxima casa de estudios en el Estado que en su oferta académica pudo enamorarme de esta carrera tan vanguardista, quien en cada esfuerzo trabajo y párrafo escrito está presente su nombre, a ti mi casa de estudios que me preparo durante varios años para poder salir y poner en alto su nombre, a cada uno de tu valioso recurso humano, profesores que durante estos años más que conocimiento académico me regalaron valores que solo aquí en esta universidad se aprenden.

Dedicatoria

A través de estos años que en mi vida he aprendido, solo sé que todas las palabras del mundo no son suficientes para agradecer, a mis padres Isabel y Alfonso por todos esos días dedicados a mí, que con defectos y virtudes supieron mantener en mí esa chispa de que algún día podría ser lo que soy y que cuando más estaba por tirar la toalla, me apoyaron incondicionalmente, dándome un consejo, sin pedir nada a cambio.

A todos mis hermanos, que son mayores a mí, que cuidaron y aconsejaron, que si bien no me ayudaban en mis tareas si me ayudaron a valerme de mí mismo enseñándome a buscar aquello que me pudiera servir para el futuro.

En especial a mi madre, que como hombre y padre de familia que ahora soy puedo sentir el apoyo que se da a los hijos, que sin importar lo mucho o poco que se tenga se da todo.

A ti hija, que eres el ser angelical que mi vida llena de alegría y que cuando a casa llego fastidiado tu sonrisa me hace olvidar; eres mi luz y mi vida, el que seas niña me hace ser sentimental, querer que el mundo sea tuyo sin que nada te afecte y sin que nada te falte. Espero que en algún momento de tu vida puedas leer esto y saber que en la vida hay caminos que elegir; sin importar sea largo o corto jamás desistir, llénate de triunfos y aprende de los errores que siempre estaré muy orgulloso de ti.

A mis amigos, por cada consejo y palabra les doy gracias por que estuvieron ahí en el mismo campo de batalla, aprendimos juntos el sentido de la amistad.

A mi compañera de vida que me impulso a cerrar este ciclo, escuchando las batallas que estuvieron en mí antes de poder concluir, que en cada palabra escrita estuvo para enseñarme la importancia de leer, escuchar y aprender.

A mi profesor Ignacio Franco Torres, que después de muchos años estuvo dispuesto a apoyarme para sacar este trabajo y poder lograr esta meta, que en mis años de estudiante tuve la dicha de ser su alumno. A ustedes maestros que me enseñaron esas herramientas les doy gracias, y espero pueda ser allá afuera un digno representante de los valores de la máxima casa de estudios que como Estado tenemos, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Gracias a todos por estar a mi lado, por creer en mí, a las empresas con las cuales aprendí y sobre todo a ERA por darme esta experiencia como profesional.

César Fernando Amezcua

Índice

Agradecimientos	ii
Dedicatoria.....	iii
Índice.....	iv
Resumen	vi
Palabras Clave	vi
Abstract.....	vii
Keywords.....	vii
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tablas.....	ix
Glosario de Términos	x
Capítulo 1 Introducción.....	1
1.1.- Resumen	1
1.2.- Antecedentes.....	2
1.3.- Objetivo	3
Capítulo 2 Legalidad del Proyecto.....	4
2.1.- Resumen	4
2.1.1.- Misión	4
2.1.2.- Visión	5
2.1.3.- Domicilio fiscal de la empresa.....	5
2.1.4.- Domicilio de la Obra.	5
2.1.5.- Representante Legal.....	5
2.1.6.- Normas Aplicables	5
Capítulo 3 Descripción general de una instalación solar fotovoltaica.....	6
3.1.- Resumen	6

3.2.- Equipos	8
3.2.1.- Módulos fotovoltaicos.....	8
3.2.2.- Inversores solares fotovoltaicos.....	8
3.2.3.- Fundamentos de los string	9
3.2.4.- Instalación eléctrica	9
3.2.5.- Cuarto de Maquinas	10
3.2.6.- Centro de transformación e interconexión	10
Capítulo 4 Descripción detallada	12
4.1.- Resumen	12
4.2.- Calculo de conductores en CD.....	12
4.3.- Cálculo de conductores en CA.....	13
4.4.- Calculo de fusibles	16
Capítulo 5 Instalación de sistema fotovoltaico.....	18
5.1.- Montaje solar.....	18
5.2.- Instalación de equipos electrónicos	19
5.3.- Canalizaciones	19
5.4.- Mantenimientos	21
5.5.- Producción estimada	21
Capitulo 6 Conclusiones y recomendaciones.....	23
6.1.- Conclusiones.....	23
6.2.- Recomendaciones.....	23
Bibliografía	25

Resumen

El presente reporte tiene como finalidad demostrar la instalación y puesta en marcha del proyecto titulado APLICACIÓN DE PLANTA SOLAR, SEGUNDA ETAPA EN EL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS en el servicio que suministra a la CUMAR, hecho esto, este proyecto a parte de contribuir con el ahorro de gastos en energía, contribuye al cuidado del medio ambiente, ya que es energía que no se genera en las plantas termoeléctricas del país, donde para generar energía utilizan combustibles que arrojan contaminantes a la atmosfera siendo esto un avance en el cuidado del medio ambiente.

Palabras Clave

Energía Renovable, Panel solar, Inversor, Radiación, Sistema fotovoltaico, Policristalino, Monocristalino, Normas para instalaciones eléctricas, string, conduit.

Abstract

The purpose of this report is to demonstrate the installation and start-up of the project entitled APLICACIÓN DE PLANTA SOLAR, SEGUNDA ETAPA EN EL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS in the service provided to CUMAR, this being done, this project apart from contributing to savings of energy expenditure, contributes to caring for the environment, since it is energy that is not generated in the country's thermoelectric plants, where to generate energy they use fuels that release pollutants into the atmosphere, this being an advance in caring for the environment.

Keywords

Renewable Energy, Solar panel, Inverter, Radiation, Photovoltaic system, Polycrystalline, Monocrystalline, Standards for electrical installations, string, conduit.

Lista de Figuras

Figura 1-1.- Referencia de radiación solar efectiva presente en cada país [2]	1
Figura 1-2.- Instalación de 1044 paneles [4].....	3
Figura 3-1.- Sistema interconectado a la red eléctrica [5]	7
Figura 4-1.- Tablero I LINE [4]	17
Figura 5-1.- Diagrama esquemático de instalación de segunda etapa [8]	18
Figura 5-2.- Diagrama esquemático del cuarto de inversores [8]	19
Figura 5-3.- Ductería para el recorrido de alterna [8]	20
Figura 5-4.- Cableado de UTP [8]	20
Figura 5-5.- Distribución de string y ductería por panel [8]	21
Figura 5-6.- Recibos de antes y después del sistema [6]	22

Lista de Tablas

Tabla 1.- Datos de la nasa de Horas Radiación Solar Efectiva [3].....	2
Tabla 2.- Historial de consumo de un recibo [6].....	12
Tabla 3.- Calibres de cable y corriente que soportan [7].....	15
Tabla 4.- Tamaño nominal de calibres para puesta a tierra [4].....	16

Glosario de Términos

A	Ampere
AWG	Calibre de alambre americano
CA	Corriente alterna
CD	Corriente directa
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CUMAR	Centro unificado para la protección marítima y portuaria
DOF	Diario oficial de la federación
ERA	Energía Renovable de América
I	Corriente
I-LINE	Tableros de distribución tipo panel
IP65	Protección contra polvo y chorros de agua
ITM	Interruptor termo magnético
KCM	Medida de área transversal de los conductores eléctricos.
KW	Kilo Watt
KWH	Kilo Watt Hora
KWP	Kilo Watt pico
LZC	Ciudad de Lázaro Cárdenas
MC4	Conector para panel solar
MW	Mega Watt
PAD	Poliducto de alta densidad
STRING	Cadena de paneles fotovoltaicos conectados en serie
UI	Unidad de inspección de la industria eléctrica
UL1741	Certificado de normas para los inversores de interconexión
UV	Rayos ultra violeta
UVIE	Unidad de verificación de instalaciones eléctricas
VFF	Voltaje de fase a fase
VFN	Voltaje de fase a neutro
W	Watts

Capítulo 1 Introducción

1.1.- Resumen

Las energías renovables se producen de manera continua y son consideradas amigables con el medio ambiente, como la energía solar térmica, energía solar fotovoltaica, eólica y geotérmica.

Hasta finales del año 2014 México contaba con 4 mil megawatts (MW) de capacidad de generación de energía eólica, solar y geotérmica. El compromiso del gobierno es crecer la generación de energías renovables para que en el año 2024 el 35% de la demanda energética del país se cubra con energías renovables. [1]

La energía solar fotovoltaica, es una de las energías renovables más importantes que tenemos actualmente en nuestro planeta; en México estamos en una posición geográfica que nos beneficia para la producción de energía, gracias a la radiación solar que a diferencia de otros países como lo son los Europeos, donde cuentan con 3 horas al día de radiación solar efectiva, en México tenemos en algunas zonas hasta 7 horas de radiación solar efectiva, lo cual nos hace un país altamente productivo en energía solar, gracias a estas condiciones que nos permiten generar más energía con los paneles solares.

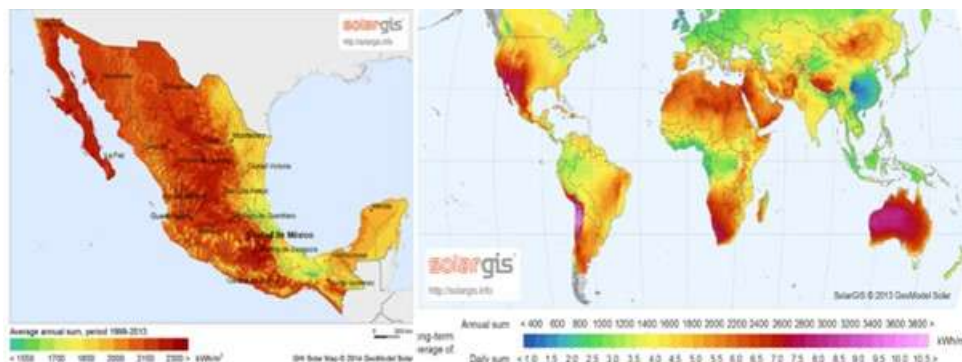


Figura 1-1.- Referencia de radiación solar efectiva presente en cada país [2]

A demás de ser una energía limpia, es una energía que en todo el planeta se tiene gracias al sol, debemos considerar que la energía se genera a través de los rayos solares (fotones) que inciden en la fotocelda, material del que se compone un panel solar, y que a su vez esta se compone de materiales semiconductores, como lo es el silicio, que reacciona a los

fotones que irradia el sol, generando a través de la excitación el flujo de electrones, que conforman lo que conocemos como energía eléctrica.

Nuestro país, México, se encuentra geográficamente en una posición privilegiada ya que tenemos bastante recurso solar durante todo el año, como en la Figura 1.1 que a continuación se muestra.

En México, en algunas regiones del país, se registran hasta 7 horas en la parte del norte y desierto de Sonora. En la tabla 1, se muestran los datos obtenidos de radiación solar efectiva por mes y la radiación promedio anual, específicamente en la ciudad de Lázaro Cárdenas al sureste del estado de Michoacán donde se encuentra nuestra planta solar.

Tabla 1.- Datos de la NASA de Horas Radiación Solar Efectiva [3].

Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface (kWh/m ² /day)													
Lat 17.957 Lon -102.197	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
HSE HRZ	5.25	6.24	7.10	7.54	7.09	6.23	6.06	5.88	5.25	5.57	5.38	4.95	6.02
PK	0.66	0.70	0.71	0.69	0.65	0.57	0.56	0.55	0.52	0.60	0.66	0.65	0.63
Diffuse	1.11	1.14	1.30	1.63	1.92	2.19	2.22	2.19	2.08	1.59	1.16	1.09	1.64
Direct	7.44	8.35	8.73	8.20	7.38	5.80	5.49	5.26	4.65	6.31	7.37	7.10	6.85
Tilt 0	5.21	6.19	7.02	7.21	6.93	6.20	6.03	5.76	5.18	5.52	5.34	4.89	5.95
Tilt 2	5.35	6.31	7.09	7.25	6.94	6.25	6.05	5.76	5.20	5.60	5.47	5.04	6.02
Tilt 17	6.25	7.02	7.42	7.11	6.87	6.28	6.06	5.38	5.26	6.02	6.29	5.95	6.34
Tilt 32	6.79	7.33	7.34	6.61	6.44	6.03	5.78	5.14	5.07	6.13	6.75	6.54	6.32
Tilt 90	5.23	4.77	3.57	2.11	2.24	2.68	2.48	1.80	2.38	3.69	5.00	5.24	3.43
OPT	6.94	7.34	7.44	7.24	6.96	6.30	6.10	5.76	5.27	6.13	6.85	6.74	6.59
OPT ANG	35.0	36.0	21.0	5.00	7.00	12.0	10.0	0.00	13.0	29.0	43.0	47.0	22.2

NOTE: Diffuse radiation, direct normal radiation and tilted surface radiation are not calculated when the clearness index (K_t) is below 0.3 or above 0.8.

En el puerto de LZC se tiene una radiación promedio anual de 6.34 h, dato que se utiliza en el cálculo para determinar la cantidad de módulos que se requieren para satisfacer la demanda de energía.

En el puerto de Lázaro Cárdenas existe la necesidad de energizar las instalaciones del Centro Unificado para la Protección Marítima y Portuaria (CUMAR), que dentro del proyecto llamado "CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA TORRE DE CONTROL SEGUNDA ETAPA EN EL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS, MICH." Dividido en tres etapas, esta será la segunda etapa, desarrollada en el año 2018, dentro del puerto.

1.2.- Antecedentes

Cabe señalar que en el presente proyecto existe una etapa anterior, etapa 1, que consistió en colocar 1044 módulos de 325 W cada uno, destinados a generar energía para el puente

Albatros y torre de control, la segunda etapa consiste en generar energía para la CUMAR que pertenece a la MARINA ARMADA DE MÉXICO.

En la Figura 1.2 se muestra la instalación finalizada de la primera etapa.

En la segunda parte se realiza una propuesta para abatir el consumo eléctrico que existe en el punto de medición llamado CUMAR, para ello es necesario hacer un estudio de consumos eléctricos al menos por un año, estudiando el comportamiento que existe en las variaciones de consumos, obteniendo un promedio, que con ayuda de la NASA obtenemos la radiación solar en el punto geográfico donde se encontrara nuestra planta solar, que es el puerto de Lázaro Cárdenas.



Figura 1-2.- Instalación de 1044 paneles [4]

1.3.- Objetivo

Desarrollar el proyecto fotovoltaico para las instalaciones de la CUMAR, que en resumen, es la segunda etapa de un proyecto establecido, este se desarrolla con base a una necesidad energética que a través de un recibo de energía eléctrica con lecturas de consumo de kWh mensuales y un historial de un año completo, se realiza el diseño y dimensionamiento para poder calcular el número de paneles necesarios en una planta y así abatir la energía o requerimiento que exista en el sitio consumidor, así como también el proyecto de instalación, cálculos de conducción y viabilidades del proyecto.

Capítulo 2 Legalidad del Proyecto

2.1.- Resumen

Energía Renovable de América de las siglas ERA, es una empresa mexicana fundada en 2005, tiene como objetivo ser la número uno de sistemas de energía renovable en Latinoamérica, buscando la satisfacción total del cliente. ERA comercializa, distribuye y da mantenimiento a sus sistemas para la mejora optimización del aprovechamiento de la energía renovable en los siguientes mercados verticales:

- Construcción (Vivienda de todo tipo)
- Comercio (Mayoreo y distribución) Hospitales (Públicos y Privados)
- Turismo (Hoteles y Restaurantes)
- Electrificación rural (Ranchos, Cabañas, Bombeo de agua, etc.)

Ofrece tres líneas diferentes de productos ecotecnológicos donde los servicios correctos de Instalación, mantenimiento y asesoría, permiten llevar una relación empresa-cliente más allá de solo la venta de un producto obteniendo así clientes satisfechos.

La línea Solar es aquella que está conformada por productos que generan una aplicación utilizando la energía que nos proporciona el sol, como lo son los paneles y calentadores solares lo que permitirá al usuario de estos productos ahorrar económicamente en los servicios de gas y electricidad. La línea del hogar cuenta con una variedad de productos útiles dentro de casa como lo son las parrillas de inducción, aire acondicionado, calentador de agua de paso entre otros y la tercera y última línea manejada por ERA es la línea iluminación donde se ofrecen luminarias con buena eficiencia energética para disminuir el consumo de energía eléctrica.

2.1.1.- Misión

Ser una empresa socialmente responsable fomentando el uso de tecnologías sustentables, logrando que nuestros clientes puedan aprovechar las bondades de la energía solar y concientizarlos en el ahorro, dependiendo menos de energías no renovables.

2.1.2.- Visión

Somos una empresa vanguardista, orientada al cuidado del medio ambiente, ofreciendo las mejores ecotecnologías en el mercado, avalados por los organismos encargados de regular las normas adecuadas, para que nuestros clientes reciban productos accesibles y de calidad.

2.1.3.- Domicilio fiscal de la empresa.

Matías de bocanegra Numero 34 interior A, Col. Mirador del Punhuato, Morelia Michoacán.

2.1.4.- Domicilio de la Obra.

Boulevard de las islas, Sin Número, Isla Cayacal, Lázaro Cárdenas Michoacán.

2.1.5.- Representante Legal

Lizbeth López Rodríguez

2.1.6.- Normas Aplicables

Las normas que rigen son:

NOM-001-SEDE-2012 publicada en el Diario Oficial de la Federación.

Esta norma en instalaciones eléctricas en general, donde ciertas características se deben cumplir en los equipos utilizados así como los materiales, como lo es, por mencionar algunos.

- Tubería conduit pared gruesa.
- Tubería PVC servicio pesado.
- Cable fotovoltaico, con recubrimiento a prueba de rayos UV.
- Cajas combinadoras con grado de protección IP65.
- Entre otros.

Capítulo 3 Descripción general de una instalación solar fotovoltaica

3.1.- Resumen

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar energía solar disponible y convertirla en energía eléctrica.

En general, una instalación fotovoltaica se compone por varias partes, que en resumen; equipos, conexiones eléctricas e interconexión a la red eléctrica.

Las aplicaciones de Sistemas Fotovoltaicos interconectadas a la red eléctrica tienen como objetivo principal maximizar anualmente la producción de energía eléctrica que es inyectada a la red. Estos sistemas se están utilizando sobre techos de viviendas e industrias (integración en edificios), y para plantas de generación de energía (centrales fotovoltaicas). También existe otro tipo de aplicaciones en las cuales los módulos fotovoltaicos son utilizados como elementos constructivos en diversos entornos urbanos, estacionamientos, etc.

La potencia nominal de las instalaciones en viviendas o edificios en general está relacionada con la superficie útil disponible para la instalación del generador fotovoltaico, aproximadamente de 8 a 10 m² por KWP en función del rendimiento del generador fotovoltaico. La potencia típica de la mayoría de las instalaciones se sitúa en torno a los 5 KWP en viviendas y hasta en otras instalaciones (edificios e integración urbana).

La conexión a red de este tipo de instalaciones se puede realizar directamente a la red de baja tensión, en modo monofásico hasta 5 Kw y en trifásico para el resto.

Otro tipo de instalaciones fotovoltaicas de conexión a la red son las centrales fotovoltaicas de generación eléctrica, con potencias nominales superiores a los 100 KWP, suelen disponer de una conexión a la red eléctrica en media o alta tensión, disponiendo

De un centro de transformación en el que se eleva la tensión de salida de los inversores fotovoltaicos adecuándola a la tensión de la línea eléctrica. Además de generar energía eléctrica, también pueden eliminar los picos de demanda de consumo eléctrico que

normalmente ocurren simultáneamente con los picos de generación fotovoltaicos, al mediodía.

Pueden ser utilizadas para mejorar la calidad de la red en redes locales muy alejadas de los puntos de generación o incluso para el control voluntario de generación de energía reactiva.

Un sistema fotovoltaico conectado a la red e integrado en viviendas puede inyectar el excedente de energía no consumida en la vivienda y utilizar a la red en lugar de baterías para abastecerse cuando no hay radiación solar suficiente. Este método de operación tiene la ventaja de que cuando no se consume de la red, las tarifas eléctricas son más bajas.

Los usuarios de sistemas conectados a la red eléctrica no sólo reducen la cantidad de electricidad que compran a la compañía eléctrica, sino que construyen a la disminución de la contaminación mediante la utilización de energías renovables no contaminantes.

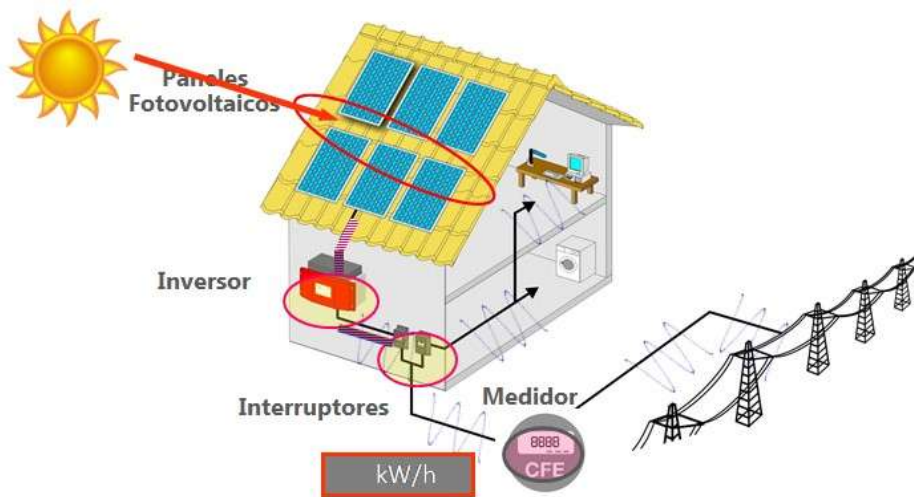


Figura 3-1.- Sistema interconectado a la red eléctrica [5]

En la Figura 3-1 se describe de manera gráfica como se compone un sistema interconectado a la red eléctrica, como se ilustra, la luz del sol incide sobre los paneles fotovoltaicos quienes al captar la luz solar generan energía en corriente directa transfiriéndola a través de los conductores (cables) que llegan al inversor, este dispositivo compuesto por circuitos de potencia convierte esta energía en una señal sinusoidal conocida como corriente alterna, energía que en nuestros hogares e industrias podemos utilizar, llegando a nuestro principal centro de carga y una serie de circuitos presentes en la instalación eléctrica.

3.2.- Equipos

3.2.1.- Módulos fotovoltaicos

La energía fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica. Este tipo de energía, a menudo se la denomina directamente energía fotovoltaica. Esta transformación en energía eléctrica se consigue aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores mediante las celdas fotovoltaicas. El material base para la fabricación de paneles fotovoltaicos suele ser el silicio. Cuando la luz del Sol (fotones) incide en una de las caras de la célula solar genera una corriente eléctrica. Esta electricidad generada se puede aprovechar como fuente de energía.

La fabricación de las células fotovoltaicas es un proceso costoso, tanto económicamente como en tiempo. El silicio con el que se fabrican las células fotovoltaicas es un material muy abundante en la Tierra. Sin embargo, el procesamiento del silicio es laborioso y complicado. Mediante unos procesos muy complicados se elaboran lingotes de silicio. Posteriormente, de estos lingotes de silicio se cortarán las obleas (células fotovoltaicas).

Otra fuente de obtención de silicio es el reciclado de la industria electrónica. En la actualidad se están preparando otros materiales de mayor rendimiento. Es importante que todas las células que componen un panel solar fotovoltaico tengan las mismas características. Después de la fabricación de las células fotovoltaicas, hay que seguir un proceso de clasificación y selección.

La eficiencia de la energía fotovoltaica, dependiendo de la construcción, los módulos fotovoltaicos pueden producir electricidad a partir de una gama concreta de frecuencias de la luz, pero en general no puede cubrir toda la gama solar (en concreto, la luz ultravioleta, infrarroja y baja o difusa), por lo tanto, gran parte de la energía de la luz solar incidente no se aprovecha por los paneles solares, que podrían dar eficiencias muy superiores si se ilumina con luz monocromática. Actualmente, la tasa mejor de conversión de la luz solar en energía fotovoltaica en los nuevos productos comerciales consigue una eficiencia del módulo solar de alrededor de 21.5%.

3.2.2.- Inversores solares fotovoltaicos.

Los inversores solares fotovoltaicos son el segundo elemento más importante de una instalación de energía solar fotovoltaica.

Un inversor fotovoltaico es un convertidor que transforma la corriente continua que recibe de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna, que es la que puedes usar en el hogar o industria, almacenar en baterías o verter a la red.

Algunos modelos de inversores, contienen ciertas características eléctricas, como protecciones en CD como lo son, supresores de pico, protección anti isla por mencionar algunas, dependiendo del fabricante y de que tan sofisticado sea el producto.

Estos, deben cumplir con ciertas protecciones y certificados de cumplimiento, tal es el caso del UL1741 que son pruebas de interconexión de sistema de generación distribuida, que CFE exige para poder interconectarnos a la red.

3.2.3.- Fundamentos de los string

Los paneles solares se conectan en serie entre sí, y se agrupan en ramales. Cada ramal se conecta a un único inversor solar, que es el encargado de convertir la corriente continua procedente de los paneles en corriente alterna. El inversor string se desarrolló hace décadas, por lo que se trata de una tecnología madura que ha sido probada y que resulta eficaz, sin embargo, no es adecuada para ciertos tipos de instalación.

Debido a su principio de funcionamiento, un inversor string capta tanta electricidad como el panel menos eficiente del ramal, es decir, si un único panel del ramal se ve afectado por una sombra a cualquier hora del día o de forma estacionaria, la potencia entera del ramal se ve reducida a la potencia del panel que se encuentra en la zona sombreada. Como consecuencia de esto, el inversor string no es una buena solución cuando tus paneles están orientados hacia varias direcciones o se ven afectados por sombras.

Estas sombras provocadas por los objetos de alrededor son una de las principales razones por las que un panel disminuye notablemente, o incluso llega a anular, su producción. Por ello, una buena solución para evitar una zona de sombra de tu techo es eliminar el objeto que la produce o no instalar en la zona sombreada.

3.2.4.- Instalación eléctrica

En un sistema fotovoltaico, la instalación eléctrica se realiza bajo una serie de cálculos y para poder interconectarnos a la red eléctrica, el proveedor de energía que en nuestro país es CFE, nos solicita realizarlo bajo normas publicadas en el DOF para instalaciones eléctricas, validados y requeridos por la UVIE (Unidad de verificación de instalaciones

eléctricas, así como UI (Unidad de Inspección) ambas realizadas por órganos certificados, y externos a la misma.

Estas, verifican que se cuente con los estándares de calidad, protecciones eléctricas, mecánicas necesarias para resguardar la integridad de las redes eléctricas de distribución existentes en el territorio nacional.

3.2.5.- Cuarto de Maquinas

El cuarto de máquinas es construido para el alojamiento de inversores, que comúnmente se instalan en la proximidad posible del centro de carga o distribución eléctrica, si bien los inversores cumplen con grado de protección IP65, este cuarto sirve como resguardo del mismo y garantiza un mejor aprovechamiento del mismo.

Otro de los objetivos del cuarto de máquinas es, que todos los nodos de conexión y desconexión estén en un mismo tablero, que permita manipular y ser más seguro para las futuras reparaciones, mantenimientos o casos de emergencia que se puedan presentar, el tablero conocido como I-LINE de cierta cantidad de espacios con su pastilla principal, es la herramienta de desconexión principal.

Los proyectos que se inician sin tener una infraestructura inicial, es decir, que se cuente ya con el cuarto de máquinas, es adecuarse a las dimensiones que tiene, y ver la mejor forma de instalar o resguardar los inversores y tableros de distribución, caso contrario, cuando se va a proyectar un cuarto de máquinas, las dimensiones de esta, se debe tener en cuenta de acuerdo a fabricante, la dimensión de los equipos y sus normas de instalación, en el caso de los inversores que utilizaremos, al menos estos deben tener una separación mínima entre ellos de 40 cm, esto para que les permita circular el aire de manera adecuada y su ciclo de enfriamiento no se vea afectado, los pesos, y alturas que se deben de instalar, al menos 150 cm del nivel del piso, todas estas características se proyectan en un cuarto de máquinas.

3.2.6.- Centro de transformación e interconexión

El centro de transformación e interconexión en un sistema fotovoltaico, es el nodo donde la red eléctrica de distribución y carga eléctrica de nuestro sistema se unen.

En las industrias o grandes cargas, se cuentan con subestaciones de diferentes potencias, las cuales nos permiten mantener la carga alimentada de las redes eléctricas. Además de

que nos permite obtener de acuerdo a nuestras necesidades los voltajes que a nuestras máquinas y equipos puedan utilizar en el momento.

La potencia de nuestro sistema determina la potencia de nuestro transformador, que se calcula con el número de paneles por su potencia pico, es decir, que la potencia pico que genera nuestro sistema, debe de ser igual o menor a la potencia de nuestro transformador.

Capítulo 4 Descripción detallada

4.1.- Resumen

El historial del consumo de energía eléctrica es el estudio más preciso, ya que los datos ocupados son proporcionados por el recibo de luz enviada por la comisión federal de electricidad (CFE). Que se realiza de la siguiente manera.

En el recibo de luz localizando el historial bimestral o mensual dependiendo del caso de cada contrato con CFE.

Tabla 2.- Historial de consumo de un recibo [6]

Facturación	Tipo	kWh	Importe	Pagos	Pendientes de pago	Línea de captura
Adeudos anteriores						
del 02 SEP 15 al 03 NOV 15	Normal	590	\$2,589.00	\$2,589.00		
del 03 JUL 15 al 02 SEP 15	Normal	528	\$2,279.00	\$2,279.00		
del 05 MAY 15 al 03 JUL 15	Normal	616	\$2,614.00	\$2,334.00	\$280.00	011380411005421601220000002800
del 04 MAR 15 al 05 MAY 15	Normal	511	\$2,231.00	\$2,231.00		
del 05 ENE 15 al 04 MAR 15	Normal	566	\$2,567.00	\$2,567.00		
del 03 NOV 14 al 05 ENE 15	Normal	578	\$2,706.00	\$2,706.00		
del 02 SEP 14 al 03 NOV 14	Normal	645	\$3,017.00	\$3,017.00		
del 03 JUL 14 al 02 SEP 14	Normal	620	\$2,961.00	\$2,961.00		
del 05 MAY 14 al 03 JUL 14	Normal	702	\$3,276.00	\$3,276.00		
del 03 MAR 14 al 05 MAY 14	Normal	786	\$3,679.00	\$3,679.00		
del 02 ENE 14 al 03 MAR 14	Normal	698	\$3,306.00	\$3,306.00		
Adeudo Total					\$280.00	011380411005421601220000002800

De esto se debe sacar el promedio de todo el año y dividir el resultado entre 30.4 si su recibo es mensual o por 60.8 si es bimestral ya que esto es el promedio de la cantidad de días que tiene Comisión Federal de Electricidad para tomar lectura del medidor este dato siendo respaldado por la ley. Al igual que el método de censo de cargas los dos resultados te dan la cantidad de energía eléctrica consumida en kWh al día.

4.2.- Calculo de conductores en CD

El cálculo de conductores se determina de acuerdo a variables como lo es la distancia, voltaje y corriente que circulara por el conductor.

Calculo de conductor para los circuitos de strings entre paneles.

En generación, los módulos se interpretan como fuentes generadoras, donde una conexión entre módulos en paralelo, la corriente se suma y el voltaje se mantiene, en serie, el voltaje se suma y la corriente se mantiene. En un sistema solar fotovoltaico, se recomienda realizar strings en conexión serie, debido a las características de los puertos en los inversores, que están diseñados para soportar gran cantidad de voltaje, pero no de corriente, por ello, los strings depende también de la característica de cada puerto del inversor.

$$V_{str} = No.P. \times V_{CO} \quad Ec 1$$

Donde:

V_{str}	Voltaje en string (arreglo en cadena)
No. P.	Número de Paneles
V_{CO}	Voltaje en circuito abierto

Se recomienda utilizar este dato de voltaje en circuito abierto para no llevar a límite el inversor, en caso de querer hacerlo, utilizar voltaje en circuito cerrado.

En la experiencia, se utiliza cable fotovoltaico cal. 10, 1000V- 1500V- 2000V por el voltaje alcanzado en cada arreglo, además de la protección a los rayos ultravioleta (UV) en el forro.

Los voltajes alcanzados, y las corrientes tan pequeñas nos permiten la implementación de este calibre para realizar estas cadenas y llevarlos a los inversores.

4.3.- Cálculo de conductores en CA

El cálculo de calibre en CA se realiza de acuerdo a normas de generación, donde la caída de tensión es permisible hasta un 5%. Donde las variantes son, Voltaje, corriente, distancia.

En nuestro caso, es un sistema trifásico, donde la fórmula para calcular el calibre del conductor adecuado es:

$$S = \frac{2\sqrt{3} LI}{E_f e\%} = \frac{2LI}{E_n e\%} \quad Ec 2$$

Dónde:

- I Corriente en el conductor
- E_f Tensión entre fases
- E_n Tensión entre fase y neutro
- e% Caída de tensión expresada en %
- S Sección transversal del conductor (mm^2)
- L Longitud del conductor

Con esta fórmula determinamos el calibre del cable a utilizar, con dichas variables de condición en la instalación, como lo es la longitud, de acuerdo a nuestro sembrado (acomodo) tenemos una distancia considerable de 127 m, una potencia total instalada de 225.72 Kw y un voltaje de interconexión de 440 V.

Resolviendo la Ec. 2, tenemos;

$$S = \frac{2\sqrt{3} LI}{E_f e\%} = \frac{2\sqrt{3}(127m)(348.44)}{(440V)(5\%)} = \frac{153293}{2200} = 69.68mm$$

El porcentaje que se permite de caída de tensión en conductores eléctricos es, 3% para consumo y 5% para generación, en nuestro caso se elige el de generación ya que se trata de las conexiones en CA de nuestros Inversores.

Para obtener la corriente I es necesario realizar la ecuación 3, que a continuación se muestra.

$$I = \frac{W}{V_{ff} * f_p * \sqrt{3}} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

- I Corriente eléctrica
- V_{ff} Voltaje de fase a fase
- f_p Factor de potencia

W Potencia

Resolviendo ecuación 3, obtenemos;

$$I = \frac{W}{V_{ff} * f_p * \sqrt{3}} = \frac{225720 W}{(440V)(1)(\sqrt{3})} = \frac{225720 W}{762.1V} = 296.18 A$$

En la ecuación 3 se pone 1 en f_p ya que la unidad no cuenta con circuitos y aparatos que generen f_p menor a 1.

En la tabla 3 se muestra la tabla de sección transversal y el calibre de cable que corresponde,

Tabla 3.- Calibres de cable y corriente que soportan [7]

Calibre	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Espesor nominal de nylon	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente* Amperes		
							60°C	75°C	90°C
AWG/kcmil	mm²		mm	mm	mm	kg/100 m			
14	2,082	19	0,38	0,10	2,9	3	20	20	25
12	3,307	19	0,38	0,10	3,4	4	25	25	30
10	5,260	19	0,51	0,10	4,3	6	30	35	40
8	8,367	19	0,76	0,13	5,7	10	40	50	55
6	13,30	19	0,76	0,13	6,7	15	55	65	75
4	21,15	19	1,02	0,15	8,5	24	70	85	95
2	33,62	19	1,02	0,15	10,1	36	95	115	130
1	42,41	19	1,27	0,18	11,6	46	110	130	150
1/0	53,48	19	1,27	0,18	12,7	56	125	150	170
2/0	67,43	19	1,27	0,18	13,9	70	145	175	195
3/0	85,01	19	1,27	0,18	15,2	87	165	200	225
4/0	107,2	19	1,27	0,18	16,7	108	195	230	260
250	126,7	37	1,52	0,20	18,5	128	215	255	290
300	152,0	37	1,52	0,20	19,9	152	240	285	320
350	177,3	37	1,52	0,20	21,3	177	260	310	350
400	202,7	37	1,52	0,20	22,5	201	280	335	380
500	253,4	37	1,52	0,20	24,7	249	320	380	430
600	304,0	61	1,78	0,23	27,3	298	355	420	475
750	380,0	61	1,78	0,23	30,0	369	400	475	535
1 000	506,7	61	1,78	0,23	34,0	488	455	545	615

De acuerdo a nuestros cálculos, tenemos que para la caída de tensión no mayor a 5% requerimos una sección transversal de al menos (69.68 mm) y que el conductor soporte una corriente de 296 A, donde de acuerdo a la tabla 3 requerimos un cable calibre 350

KCM para poder transferir la potencia de nuestro sistema al centro de carga que se encuentra a 127 m de distancia.

En la tabla 4 se muestran los parámetros de puesta a tierra que viene normalizado de acuerdo a corrientes que se transfieren en el sistema, y al material del conductor. Que en nuestro caso será de Cobre, que de acuerdo a nuestra tabla 4 un calibre de cable de 6 AWG sería suficiente, pero que bajo la norma determina que el calibre del cable debe de ser de igual o mayor calibre que el de las fases. Por ello se elige un 350 KCM en nuestra puesta a tierra.

Tabla 4.- Tamaño nominal de calibres para puesta a tierra [4]

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. Sin exceder de:	Tamaño nominal mm ² (AWG o kcmil)	
	(A)	Cable de cobre
15	2,08 (14)	---
20	3,31 (12)	---
30	5,26 (10)	---
40	5,26 (10)	---
60	5,26 (10)	---
100	8,37 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,2 (4)
300	21,2 (4)	33,6 (2)
400	33,6 (2)	42,4 (1)
500	33,6 (2)	53,5 (1/0)
600	42,4 (1)	67,4 (2/0)
800	53,5 (1/0)	85,0 (3/0)
1 000	67,4 (2/0)	107 (4/0)
1 200	85,0 (3/0)	127 (250)
1 600	107 (4/0)	177 (350)
2 000	127 (250)	203 (400)
2 500	177 (350)	304 (600)
3 000	203 (400)	304 (600)
4 000	253 (500)	405 (800)
5 000	354,7 (700)	608 (1 200)
6 000	405 (800)	608 (1 200)

4.4-. Calculo de fusibles

Las protecciones eléctricas en el sistema son de vital importancia y están marcadas en la norma, los cálculos de este son con la Ec. 3 que describe la cantidad de corriente que circulara por un circuito eléctrico y que está a su vez debe de ser de mayor o igual amperaje, en los lineamientos que la UVIE y UI nos marcan en cuanto a sistemas fotovoltaicos, nos rigen que la pastilla que interrumpa al inversor debe de ser igual o mayor a la corriente máxima del inversor, que en el caso de los inversores de 60 Kw de potencia tienen de salida 96^a por lo cual se coloca un ITM de 100A, y en lo consiguiente, el ITM principal debe ser igual a la suma de todas estas anteriores.



Figura 4-1.- Tablero I LINE [4]

En la Figura 4.1 muestra el tablero I-LINE, este tablero concentra todos los ITM individuales por inversor y los concentra en un ITM general, que cumple con la suma de todos los valores de los ITM individuales, ejemplo; Si tenemos 8 pastillas de 100 A, el ITM principal deberá ser de 800 A o un poco más en caso de no existir un valor comercial a 800 A.

En cuanto al cálculo del fusible en CD, recordemos que los paneles solares son dispositivos de generación, que al conectarlos en serie, la corriente se mantiene, siendo la corriente máxima que indica el fabricante de 8.40 A, se colocó un fusible de 12 A en el lado de CD.

Capítulo 5 Instalación de sistema fotovoltaico

5.1.- Montaje solar.

La instalación física de los paneles solares, así como el cuarto de inversores se desarrolla sobre una plancha de concreto hecha especialmente para el proyecto.

En la Figura 5.1 se muestra el diagrama esquemático de la instalación fotovoltaica.

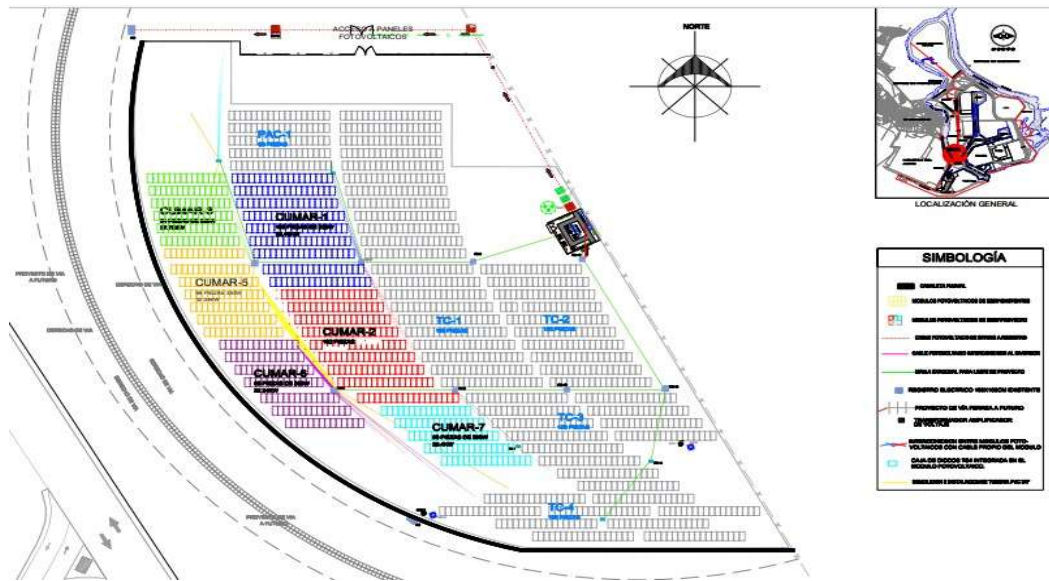


Figura 5-1.- Diagrama esquemático de instalación de segunda etapa [8]

Los recuadros de colores vivos, son el sembrado de la segunda etapa encima de la plancha de concreto y la señalización del cuarto de inversores, especialmente diseñado para colocar todos los inversores así como sus tableros de protecciones, ILINE, ITM y monitoreo a través de Ethernet y wifi.

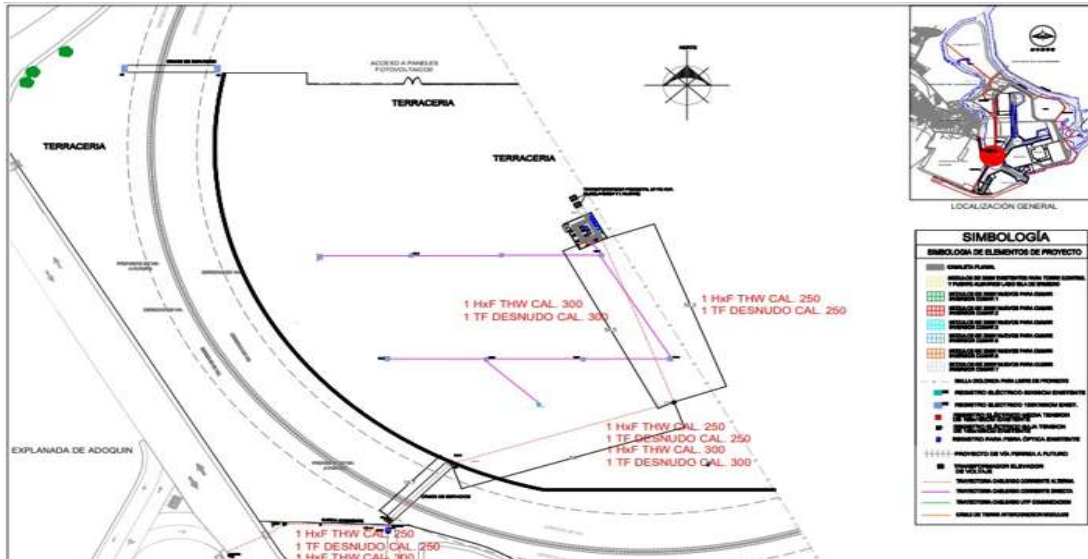


Figura 5-3.- Ductería para el recorrido de alterna [8]

En la Figura 5.4 se muestran los disparos de cable UTP para el monitoreo.

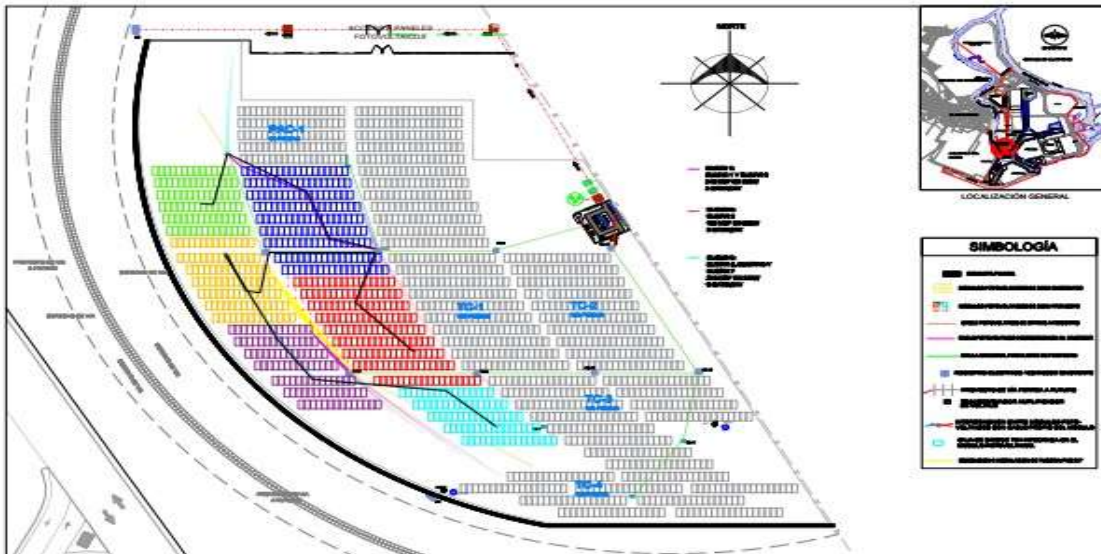


Figura 5-4.- Cableado de UTP [8]

En la Figura 5.5 se observa la ductería de los disparos a cada string, que lleva cable fotovoltaico en dos hilos por disparo, y parte del sembrado en la instalación sobre la plancha de concreto. .



Figura 5-6.- Recibos de antes y después del sistema [6]

De tener un promedio de consumo, de 43,461.00 kWh mensuales, bajaron a 21,906 kWh mensuales que corresponde a un $\pm 50\%$ de abatimiento en energía, resultado esperado y obtenido por el sistema propuesto.

Capitulo 6 Conclusiones y recomendaciones

6.1.- Conclusiones

Con la información mostrada de las facturaciones con CFE se puede concluir que el sistema abate la cantidad de energía con la cual fue proyectado con un ahorro del 50% y un porcentaje de tolerancia del 5%, si para bien este proyecto pudiera abatir el 100% de esta demanda, es un complemento de otros proyectos ya realizados y puestos en marcha que se destinan a otros nodos de conexión de energía. El proyecto dentro de la API exigió los más altos estándares de calidad, así como, por ser un proyecto de muy alto costo se compitió con otras empresas.

ERA tiene la capacidad de proveer, instalar y proyectar sistemas de gran demanda de energía, sería importante dar oportunidad a las empresas que se dedican a las ecotecnologías y que son cien por ciento mexicanas. Dando paso al desarrollo económico y vanguardista en energías limpias.

Es importante abrir camino a la generación de energía a través de materiales con muy bajo índice de contaminación. El planeta muere con tanto dióxido de carbono por las termoeléctricas, así como, destrucción de flora y fauna a causa de crear cortinas para la retención de agua y poder establecer hidroeléctricas; los paneles solares son alternativa para erradicar estos daños fomentando el desarrollo tecnológico en el país y colaborar con el cuidado del planeta.

6.2.- Recomendaciones

A mis lectores y futuros colegas les comparto mi experiencia laboral que, bajo ninguna circunstancia la escuela nos enseña ya que toda materia, clase y tarea es puramente teórica que si bien nos sirve como herramienta no nos da la garantía de saber qué hacer en campo laboral; no es la escuela la que te enseña la escuela es la que te da bases para poder defender y poder llegar a soluciones, depende de ti mismo el poder lograr si sabes aceptar errores y mejorar cada día: la experiencia solo se obtiene a través del tiempo.

No dejen pasar el tiempo para titularse que una vez estando en la vida laboral, lo menos que tendrán es tiempo para dedicar a otras cosas que fácilmente siendo aún estudiantes pueden lograrlo y que aquellas materias que consideren solo de relleno son herramientas útiles que todo trabajador debe de entender y saber.

Bibliografía

- [1] INT ELEC, «Diseño y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red,» Morelia, Mich., 2015.
- [2] SolarGis, «solcast.com,» [En línea]. Available: https://solcast.com/solargis/?gclid=CjwKCAjwkKj6BRA-EiwA0ZVPVv97xiKBMa_WQCo7elKynkF-jseHGZlAXEQqy2KLnBkfUxdyjnc7iBoC1_gQAvD_BwE.
- [3] Nasa, «power.larc.nasa.gov,» [En línea]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/>.
- [4] E. R. d. América, *Instalación de 1044 paneles en el puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán.*, Puerto de Lázaro Cárdenas Michoacán., 2018.
- [5] E. R. d. América, *Representación grafica de un sistema interconectado*, Morelia Michoacan, 2017.
- [6] CFE, «Portal de CFE,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.cfe.mx/Pages/Index.aspx>.
- [7] viakon. [En línea]. Available: <https://viakon.com/old/pdf/categorias/24.pdf>.
- [8] I. E. L. Cortes, «Instalación de sistema fotovoltaico en el puerto de Lázaro Cárdenas Michoacán,» 2018.
- [9] SOLAR, «www.solar.org,» [En línea]. Available: www.solar.org.