



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL SISTEMA
FOTOVOLTAICO DE UNA EMPRESA
MAQUILADORA TEXTIL MEXICANA**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Diego Bernal Ricardi

ASESORA DE INFORME

Dra. Alejandra Castro González



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: M.I. Augusto Sánchez Cifuentes

VOCAL: Dra. Alejandra Castro Gonzalez

SECRETARIO: M.I. Eleuteria Silvina Alonso Salinas

1er. SUPLENTE: M.I. Héctor Mora García

2do. SUPLENTE: M.I. Iván Urzua Rosas

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Proyecto de una empresa privada de venta y renta de sistemas energéticos

ASESORA DEL TEMA:

Dra. Alejandra Castro González

SUSTENTANTE:

Diego Bernal Ricardi

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, porque gracias a su apoyo y la educación que me han brindado, aún y cuando no seguí el tiempo normal en mis últimos niveles académicos, siempre han creído y me han impulsado a lo largo de toda mi vida.

A mi hermano por su forma particular de apoyarme, por sus consejos para seguir adelante, por su ejemplo de superación y darme la visión de defender las ideas propias cuando son correctas.

A mi abuelo Ramon que su último deseo me hizo ver que el cree en mi y por ello tome fuerzas para seguir adelante académicamente.

A mi abuelo Rodolfo por sus grandes consejos sobre la vida y el mayor consejo que me dio, haga lo que haga, lo disfrute al máximo.

A mis abuelas porque nunca han dejado de preocuparse por mí y mis avances profesionales.

A Azahel y Oscar, por su apoyo académico y gran amistad.

A la UNAM por ser la gran entidad académica y mi segunda casa, que en muchas ocasiones pasaba más tiempo ahí que en mi casa, por aceptar mi solicitud, la cual aproveche al máximo llegando a graduarme de la Facultad de Ingeniería.

Al profesor Héctor Mora por la ayuda que me brindó para llevar a buen fin mi trabajo escrito.

A la doctora Alejandra Castro por tener fe en mi y apoyarme en todo el proceso de servicio social y mi trabajo escrito.

A Tania Crisóstomo por toda la ayuda que me brindó para terminar mi trabajo, así como darme ánimos y creer en mi cuando ni yo lo hacía.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	I
ÍNDICE DE TABLAS	II
INTRODUCCIÓN	III
OBJETIVOS	IV
CAPÍTULO 1	
ANTECEDENTES	1
1.1 Industria Textil	1
1.2 Paneles Fotovoltaicos	4
1.2.1 Historia de los paneles fotovoltaicos	4
1.2.2 Principio de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos	4
1.2.3 Tipos de células fotovoltaicas	5
1.2.4 Tipos de sistemas fotovoltaicos	8
CAPÍTULO 2	
CASO DE ESTUDIO	10
2.1 Datos del sitio	10
2.2 Demanda eléctrica del sitio	11
2.3 Problemática	11
2.4 Selección del lugar para la colocación de los paneles	12
2.5 Selección del panel fotovoltaico	13
2.6 Selección del inversor	14
2.7 Selección de protecciones del sistema fotovoltaico	15
2.8 Selección del conductor	17
CAPÍTULO 3	
RESULTADOS	19
3.1 Diseño eléctrico	19
3.1.1 Determinación del panel fotovoltaico	19
3.1.2 Calculo del inversor	21
3.1.3 Determinación de las protecciones del sistema	23
3.1.4 Determinación del conductor	26
3.2 Arreglo eléctrico del sistema fotovoltaico	28
3.3 Instalación del sistema fotovoltaico	30
3.4 Pruebas en la instalación	31
3.5 Costo	32
CAPÍTULO 4	
CONCLUSIONES	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Panel fotovoltaico de silicio monocristalino.....	6
Figura 1.2	Panel fotovoltaico de silicio policristalino.....	6
Figura 1.3	Panel fotovoltaico con concentrador solar.....	8
Figura 1.4	Componentes de un sistema fotovoltaico aislado.....	9
Figura 1.5	Componentes de un sistema interconectado a la red.....	9
Figura 2.1	Imagen satelital del sitio y zona de análisis	10
Figura 2.2	Mapa de irradiación promedio anual en México.....	12
Figura 2.3	Ángulos para orientar el módulo fotovoltaico.....	13
Figura 3.1	Disposición de los paneles en el sitio.....	21
Figura 3.2	Distribución de las cadenas del sistema fotovoltaico.....	28
Figura 3.3	Renderizado de las cajas combinadoras, paneles solares y trayectoria en corriente directa.....	29
Figura 3.4	Instalación eléctrica dentro de la subestación.....	29
Figura 3.5	Anclaje de estructura coplanar.....	30
Figura 3.6	Estructura finalizada en el sitio.....	30
Figura 3.7	Paneles instalados en el sitio.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Irradiación promedio mensual en la zona durante el 2017	10
Tabla 2.2	Demanda eléctrica del sitio.....	11
Tabla 2.3	Factores de corrección para temperaturas ambiente menores a 25°C ...	16
Tabla 2.4	Capacidad de conducción de corriente en amperes de conductores aislados de 0 a 2000 volts	18
Tabla 3.1	Datos técnicos de diferentes paneles solares	19
Tabla 3.2	Datos de dimensionamiento de la instalación	20
Tabla 3.3	Comparativa entre proyectos fotovoltaicos.....	23
Tabla 3.4	Valores de las protecciones a emplear en el sistema.....	26
Tabla 3.5	Corriente por ampacidad para los diferentes circuitos del sistema ...	26
Tabla 3.6	Calibre del conductor según la ampacidad del circuito.....	26
Tabla 3.7	Comprobación del calibre del conductor por sección en la instalación.	27
Tabla 3.8	Calibres de conductor corregidos	27
Tabla 3.9	Calibres de conductor finales.....	28
Tabla 3.10	Datos de pruebas en el sitio.....	32

INTRODUCCIÓN

En todo el mundo las defunciones por enfermedades respiratorias van en aumento, todo esto debido a los contaminantes que son liberados en el ambiente, en su mayoría se registran dichas muertes en el Pacífico occidental y el sureste de Asia, donde se registró el 70% de defunciones, en el continente americano se registraron, en 2012, 58 mil defunciones por enfermedades respiratorias (OMS, 2014). Eso es derivado de las partículas suspendidas en la biósfera a causa de los gases de efecto invernadero.

Los casos de enfermedades respiratorias tienen una repercusión económica en cada país, afectan directamente su competitividad ante el mundo debido a los gastos que le generan en materia de gastos de salud, además repercute directamente en la productividad de los empleados. El Banco Mundial estimó que el impacto en el PIB de los países latinoamericanos como consecuencia de las afectaciones a la salud por la emisión de contaminantes al aire es de alrededor del 2% (Clean Air Institute, 2013).

En México el sector energético contribuye en un 61% a la generación de gases de efecto invernadero en el país (SEMARNAT, 2013). Por ello México ha optado por impulsar el aprovechamiento de las energías renovables y con ello desplazar el consumo de los combustibles fósiles para la generación energética, esto constituye una de las principales estrategias de mitigación del cambio climático a nivel mundial (SENER y GIZ, 2009).

El cambio a energías renovables para la generación de energía eléctrica de consumo no es un proceso sencillo, ya que tanto las tecnologías solar y eólica no son económicas en comparación por MW con las fuentes comunes de generación de energía eléctrica, aunque año con año dichas tecnologías se hacen más competitivas y viables para su uso extendido por el país (SENER y GIZ, 2009).

México es uno de los países con mayor recurso solar disponible en el mundo, cuenta con una irradiación solar promedio de 5 kWh/día.m². Sin embargo, existen regiones que cuentan con 6 kWh/día.m² o incluso más. Estudios recientes indican que tomando en cuenta una eficiencia del 15% bastaría con un área de 25 km² en el desierto de Chihuahua o Sonora para cubrir la demanda total de energía eléctrica del país (SENER y GIZ, 2012). Por lo que la energía solar es una fuente renovable de energía viable en la mayor parte del territorio mexicano.

El uso de energías renovables para la generación eléctrica de consumo en el país va en aumento y la que está cobrando mayor importancia es la energía solar, ya que en 2017 su aporte a la generación eléctrica del país fue del 0.6%, en comparación con el 0.56% del 2016, lo que implica que se generó 0.6 PJ en el año por esta vía (SENER, 2018), esta tecnología tiene un crecimiento exponencial en su implementación dentro del país como recurso renovable de generación eléctrica.

OBJETIVO

Diseñar un sistema fotovoltaico para una empresa mexicana maquiladora textil, dedicada a la maquilación de trajes de etiqueta, analizando su consumo eléctrico, las condiciones estructurales del lugar así como sus condiciones meteorológicas.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Identificar las necesidades de energía eléctrica de la empresa analizando su historial de consumo anual
- Determinar la carga estructural del sistema considerando el peso de cada componente así como el tipo de carga
- Asegurar la generación máxima del sistema fotovoltaico ubicando el área óptima para la instalación
- Determinar el tipo de sistema fotovoltaico, usando las características geográficas, eléctricas y área del sitio
- Determinar las protecciones eléctricas idóneas considerando las características eléctricas del sistema fotovoltaico
- Instalar el sistema fotovoltaico verificando que todo cumpla con la norma NOM-001-SEDE-2012
- Hacer pruebas del funcionamiento del sistema verificando que todos los parámetros de operación sean los correctos

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Industria textil

En México la industria textil comenzó a cobrar relevancia en 1830, siendo de las primeras actividades industriales del país. Pero dadas las circunstancias, maquinaria importada y cara, refacciones caras, sueldos bajos, producción prácticamente artesanal, una fuerte competencia con los productores textiles de EE. UU. y Europa, entre otros factores, hacían que esta industria no aprovechara toda su capacidad instalada. Aún con esto representaba un negocio redondo ya que daba más del 50% en rendimientos en aquella época (Argüello, 1989).

En los inicios de este sector eran empleados, niños y mujeres quienes representaban la mitad del total, así como hombres adultos. Los salarios iban de 2 a 3 pesos reales el día de trabajo. En su mayoría de la temporada los trabajadores hacían labores agrícolas y las labores textiles eran únicamente por temporada de cosecha. Entre los años de 1870 a 1920 los impuestos impulsaron la inversión extranjera, ya que los impuestos para los productores nacionales, que eran básicamente artesanos, eran muy altos, mientras que para los productores extranjeros podían ser exentos de dichos impuestos para fortalecer a dicha industria y modernizarla (Sierra, 2003).

En esta época en la industria textil se tenía un tercio más de fábricas que en la época anterior, que eran 123 fábricas aproximadamente, lo cual significó el aumento de empleo en un 60% en dicha industria (Haber, 1990). En la época de la revolución, la industria tuvo un freno en su desarrollo y disminuyó su producción drásticamente, cosa que al darse la paz en el país comenzó un proceso de reindustrialización y en 1925 la importación de materias primas y maquinaria ascendió un 60% mientras que para el año 1940 ascendió a 75%.

Por la expansión de la industria textil también se dio un impulso a la producción algodonera en el país, se extendieron los sembradíos al norte, ya que en esas zonas los salarios eran más altos y el ferrocarril hacía más fácil el comercio y la distribución de este producto. Entre 1930 y 1940 se lograron cultivar 70 mil toneladas de algodón, lo que contribuyó a iniciar la exportación de este (Argüello, 1989). En esta época la industria textil y de vestido era de las que más contribuían al PIB en el país, junto con la industria del tabaco, la de los alimentos y zapatos. Para 1950, estos sectores quedaron rezagados en la contribución al PIB, siendo la industria química, la siderúrgica, la de minerales no mecánicos, papel y caucho los que contribuían más. Durante los años 1970 y 1976, el crecimiento promedio anual de la industria textil y del vestido fue del 4.6%, mientras que entre los años 1976 a 1981 fue del 6.3% esto debido a los incentivos que el gobierno otorgaba para desarrollar la industria en vías de desarrollo en el país. En esa época este sector fue el más dinámico y significó la aportación del 11.7%, en 1970, al PIB y del 10.1% en 1981. El principal beneficio social durante este período se reflejó en la ocupación laboral, la tasa de empleo promedio fue del 1.1% durante 1970-1976 y en el periodo de 1976-1981 se incrementó a un ritmo promedio anual del 2.9%. El sector continuó empleando operarios poco calificados lo que resultó en salarios poco competitivos respecto a otros sectores industriales más altas tasas de rotación (Cárcamo, 1991).

Durante 1970 a 1978, se incrementaron las exportaciones de textiles a un ritmo promedio anual del 20.5%, sin embargo, de 1978 a 1980 la industria mostró un fuerte descenso promedio del 32.2% (Cárcamo, 1991). Esto ocurrió debido a que los incentivos industriales se dirigieron principalmente hacia la industria petrolera y el crecimiento de la inflación provocó la baja en la competitividad de la industria textil y del vestido.

De acuerdo con García (2004) tres hechos fundamentales determinaron el despegue exportador de la industria textil y del vestido en México:

- 1) La crisis de la deuda externa en los 80's que marcó el fin de la etapa de industrialización basada en el modelo de sustitución de Importaciones,
- 2) La entrada en vigor de la Organización Mundial de Comercio en 1994 y el Acuerdo sobre los Textiles y el Vestido en 1995, que integró los textiles y prendas de vestir a las reglas comunes del Acuerdo General sobre Comercio y Aranceles eliminando restricciones cuantitativas y disminuyendo prácticas desleales que pudieran monopolizar la industria (Simón, 2004) y
- 3) La firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994 complementó las regulaciones sobre el comercio de textiles y prendas de vestir, estableciendo una reducción progresiva de aranceles para productos manufacturados con fibras Estadounidenses, Canadienses o Mexicanas (Simón, 2004).

Lo anteriormente expuesto fueron puntos clave que favorecieron las exportaciones Mexicanas, principalmente de prendas de vestir. Durante los 80's y 90's incrementaron significativamente las empresas dedicadas al ensamble de prendas de vestir (maquiladoras) usando insumos de EE. UU. y aumentando las divisas provenientes de la actividad del sector. La devaluación del peso en 1993 y 1994 y la Iniciativa de la Cuenca del Caribe que daba acceso preferencial a los productos fabricados en países latinoamericanos, contribuyeron a que México fuera una región más atractiva para el abasto internacional de prendas de vestir. Las maquiladoras se propusieron como una iniciativa para la generación de empleos y el incremento de la exportación. Darle preferencia a la zona norte del país, en especial la frontera, facilitó el acceso al mercado Estadounidense.

Debido a lo anterior, el número de maquiladoras creció de 256 en 1990 a 1,119 para el año 2000. Tan solo de 1994 a 1998, 463 nuevas empresas de textiles y de confección extranjeras surgieron en México, 71.9% de las cuales eran de origen Estadounidense. Debido a esto se estableció la tendencia a una producción de paquete completo, esto es que se pueda establecer la línea de producción completa que solicita un comprador, lo que significa que el productor realiza todas las actividades productivas de la cadena textil y del vestido. Este esquema favorece la integración de los estándares de calidad internacionales.

Pero con todo y este crecimiento, las pequeñas y medianas empresas, así como las maquiladoras que conforman la mayoría del sector y fabrican productos básicos que funcionan como componentes de otros más complejos, no integran cadenas productivas completas y siguieron operando con baja tecnología, mano de obra poco calificada y mínimas habilidades de diseño y administración.

Uno de los problemas críticos para la evolución hacia la producción de paquete completo y la integración de la cadena textil vestido es la situación financiera y limitada capacidad de las empresas textiles Mexicanas. La planta promedio en el país cuenta con 7000 husos, que es la mitad del promedio europeo y la quinta parte del Estadounidense; lo que lleva a la dependencia de textiles importados. Otro problema relevante es la falta de capacidad para la comercialización y distribución de las prendas de vestir, ya que estas actividades las dominan las empresas extranjeras que subcontratan la producción en México. Con esto se visualiza que las dos actividades más intensas en la producción de textiles y la comercialización están fuera del dominio de la mayoría de las empresas del sector, impidiendo la integración de la cadena textil y del vestido (Maldonado-Pérez, 2005).

Las exportaciones del sector textil favorecieron la creación de empleos. En el año 1990 se reportan 42,231 trabajadores en el sector, en el año 2000 se incrementaron hasta 265,935. Pero esto se revertió ante la tendencia globalizadora que favorece el desplazamiento de las actividades de producción del sector hacia países capaces de ofrecer bajos costos de mano de obra. La producción de textiles Mexicanos es insuficiente y solo contadas empresas nacionales pueden ofrecer producción de paquete completo, es claro que las empresas transnacionales han favorecido otras regiones como centros de producción en detrimento de los índices de empleo para el sector. Tan solo en el año 2003 respecto al año 2000 se habían perdido 49,386 empleos en el sector textil y 185,000 en el de la confección (García, 2004).

En el año 2000 el valor de la exportación mexicana alcanzó los \$8,700 millones de dólares colocando al país en el primer lugar de exportaciones de prendas de vestir hacia EE. UU. El periodo de 1990 a 2002 fue el del liderazgo exportador para el sector textil y del vestido que logró una participación en las importaciones de EE. UU. del 11.58% gracias a dos factores:

- 1) La reducción progresiva de las tasas arancelarias, que en 1998 era de 0.6%, la cual se redujo hasta 0.28% en el año 2002 y
- 2) Los bajos costos salariales, que representaron el 22% de los costos de toda la cadena productiva en México mientras que en EE. UU. correspondieron al 33% (Simón, 2004).

Sin embargo, la falta de desarrollo tecnológico y de coordinación del sector provocó que al inicio del nuevo siglo la industria Mexicana perdiera competitividad frente a países del este de Europa y de Asia, principalmente China. Durante el período del año 2001 al 2007, la tasa de exportación de prendas de vestir Mexicana decreció aproximadamente un 11% por año en tanto que la tasa de exportaciones de prendas fabricadas en China seguía aumentando (Barrios y Cienfuegos, 2010). La desaceleración económica en EE. UU. registrada a mediados del año 2000 exacerbó la situación resultando en una notable baja de las exportaciones del sector porque el 75% de las exportaciones de la industria textil en el año 2002 se destinaron a este país y hasta un 95% de las exportaciones de prendas de vestir fueron a EE. UU. (Simón, 2004).

En México la industria textil ocupa el 1.4% del PIB en el año 2015; de este sector, la industria del vestido representa el 2.5% del PIB manufacturero. Esta industria representa el 6.7% del personal empleado en el sector manufacturero, el cual es en promedio de 316,571 para el año 2015. Esta industria también es de las que más uso hacen de la energía obtenida de hidrocarburos y de la electricidad por todos los procesos implementados en ella, ya sea para

producción en masa o de forma artesanal, todos hacen uso de estas dos formas de energía (INEGI, 2018).

1.2 Paneles fotovoltaicos

1.2.1 Historia de los paneles fotovoltaicos

El físico francés Antoine Becquerel, descubrió el efecto fotoeléctrico en 1839. A partir de este suceso comenzó el interés en este campo de estudio, en 1877 se descubrió el efecto fotoeléctrico en selenio sólido y con ello la primera celda fotovoltaica hecha de selenio. En 1921, Albert Einstein gana el premio Nobel por su teoría explicativa del efecto fotoeléctrico. Con esas bases se comienza la carrera para hacer más eficiente esta tecnología y en 1954 se publicaron los resultados de la creación de una celda de silicio con una eficiencia del 4.5%. En 1958 se colocan paneles fotovoltaicos en los satélites Vanguard I, el primer satélite en usar esta tecnología, Explorer III, Vanguard II y Sputnik-3.

En 1960 se logran crear celdas fotovoltaicas que tienen una eficiencia del 14%. En 1963 se instala, en Japón, un sistema fotovoltaico de 242 W en un faro, la cual es de las primeras instalaciones de este tipo. En 1973, la Universidad de Delaware construye “Solar One” una de las primeras casas con un sistema fotovoltaico. Entre 1974 a 1977 se crean las primeras compañías de energía solar. En 1981 se pone en vuelo el “Solar Challenger” una aeronave no tripulada que opera con energía solar; también en este año se instala en Arabia Saudita un sistema fotovoltaico de 8 kW para que opere una planta desalinizadora por ósmosis inversa. En 1983 ya existe toda una infraestructura mundial de energía solar fotovoltaica, en el mundo existen 21.3 MW y las ventas superan 250 millones de dólares, se pone a prueba el uso de la energía solar fotovoltaica con el Solar Tek un vehículo solar que recorrió 4,000 kilómetros en 20 días en Australia, también se hizo la instalación de una planta fotovoltaica de 6 MW en California, la cual tiene una extensión de 120 acres (ITC, 2008).

1.2.2 Principio de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos funcionan gracias a las células fotovoltaicas ya que en estos dispositivos es donde se transforma la energía solar en energía eléctrica. Esto se debe al efecto fotovoltaico, que se produce al incidir un haz de luz en los materiales semiconductores que componen a las células fotovoltaicas; de esta manera se crea un flujo de electrones en el interior del material, mismo que se puede aprovechar para obtener energía eléctrica.

Un panel fotovoltaico está conformado de varias celdas fotovoltaicas conectadas entre sí, en paralelo, en serie o mixto, y todas ellas están alojadas en un mismo marco. A su vez, los paneles fotovoltaicos se conectan, de igual forma, en serie, paralelo o de forma mixta. Estas conexiones dependen del voltaje y corriente que se necesite en la instalación, comúnmente en sistemas interconectados a la red se usa una conexión en serie de los paneles y en una instalación aislada se conectan comúnmente en paralelo.

Las instalaciones fotovoltaicas se caracterizan por:

- Simplicidad y fácil instalación
- Ser modulares

- Una gran vida útil, tiempo de vida aproximado de 20 a 30 años, dependiendo de la marca de los componentes
- No requieren de mantenimiento exhaustivo
- Elevada fiabilidad
- No emite contaminantes ambientales al realizar la generación eléctrica
- Su operación es silenciosa

Los paneles fotovoltaicos generan electricidad en corriente continua, sus parámetros, voltaje y corriente, varían según la irradiación solar que incide en cada celda fotovoltaica y la temperatura ambiente, estos paneles comúnmente operan entre 25°C y 50°C, al elevarse la temperatura de los paneles decae su eficiencia. Para aprovechar la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos es necesario el uso de un inversor, este dispositivo es el encargado de transformar la señal de corriente continua en una señal de corriente alterna para aprovecharla en sistemas interconectados o en sistemas aislados de la red eléctrica.

Los paneles fotovoltaicos se caracterizan en condiciones estándar, que son considerando una temperatura ambiente de 25°C y con 1000 W/m² de radiación solar. La máxima potencia generada en estas condiciones estándar se conoce como W_p (Watt pico) y es la potencia nominal del panel fotovoltaico.

Para hacer el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, más específico, saber cuántos paneles fotovoltaicos son necesarios para cubrir la demanda energética del sitio, se tiene que saber cuál es la energía nominal del panel, la cual se obtiene multiplicando la potencia nominal del panel por las horas pico solares. La hora pico solar es la irradiancia estándar captada por el panel en una hora (1000 Wh/m²) por consiguiente la conversión de unidades se expresa de la siguiente forma (UNAM, 2005):

$$1 \text{ hora pico} = 1000 \text{ Wh/m}^2 \quad (1-1)$$

Expresado en el sistema internacional de unidades:

$$1 \text{ hora pico} = 3.6 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \quad (1-2)$$

Una vez determinada la energía que se obtiene de cada panel se considera el consumo del recibo eléctrico, y se divide el total bimestral entre los 60 días para obtener el consumo diario del sitio, una vez obtenido esto se divide entre la energía obtenida del panel para saber cuántos paneles requerirá el sistema fotovoltaico.

1.2.3 Tipos de células fotovoltaicas

Las células fotovoltaicas se pueden clasificar en función de los materiales empleados, los métodos de fabricación y su forma final. En base a los materiales empleados se tienen:

- ✓ **Silicio puro monocristalino:** se fabrican a partir de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza, su proceso de fabricación lleva mucho tiempo ya que se realiza con el proceso clásico de fusión de baja velocidad, lo que eleva el costo de producción, tal como se aprecia en la Figura 1.1 su color característico es negro. En el laboratorio, estos paneles alcanzan una eficiencia del 24.7% mientras que los comerciales alcanzan el 16%.



Figura 1.1 Panel fotovoltaico de silicio monocristalino (Fernández, 2009)

- ✓ **Silicio puro policristalino:** es elaborado con silicio, pero se emplea otro método de cristalización, lo que hace que se vean los diferentes granos en las células fotovoltaicas, como lo muestra la Figura 1.2 su color es azul. Con este tipo de paneles fotovoltaicos tienen una eficiencia de 19.8% en pruebas de laboratorio y a nivel comercial alcanzan un 14% de eficiencia. Su forma es rectangular, y la baja en eficiencia es compensado con su costo de producción ya que es significativamente más bajo.

En términos comerciales, los paneles de silicio monocristalino y policristalino abarcan el 90% del mercado, aunque sus costos de producción son más elevados, presentan una alta eficiencia y fiabilidad, ya que tienen una vida útil muy larga.



Figura 1.2 Panel fotovoltaico de silicio policristalino (Fernández, 2009)

Por otra parte, dentro del método de fabricación de las siguientes células fotovoltaicas, se realiza el proceso de aleación con otros elementos para hacer materiales semiconductores, logrando un producto más fino y que incluso se puede adaptar a superficies irregulares, estas son conocidas como células de lámina delgada, dentro de las cuales se tienen:

- **Silicio amorfo:** este tipo de material está basado en el silicio, a diferencia de los dos anteriores este no tiene una estructura cristalina como tal, es reconocido por su color gris oscuro. Su proceso de fabricación es considerablemente más económico, pero presenta baja eficiencia, ya que en pruebas de laboratorio alcanzan una eficiencia del 13% y de forma comercial solo tienen un 8%, por ello solo se usan en calculadoras o en paneles portátiles.
- **Telurio de cadmio:** esta aleación de telurio y cadmio presenta en laboratorio una eficiencia de 16% y de forma comercial 8%. Además, cuenta con costos de fabricación muy económicos, razón por la que es el más utilizado de forma comercial dentro de los paneles de lámina delgada; sin embargo, al utilizar un material tóxico como es el cadmio requiere demasiados equipos especiales durante la producción de las células, así como cuidados especiales durante la fase de reciclaje cuando termina su vida útil.
- **Arseniuro de galio:** esta es una aleación compuesta por galio y arsénico, que presenta mayor eficiencia en paneles fotovoltaicos, ya que presenta en pruebas de laboratorio una eficiencia de 25.7% y de forma comercial 20%, aunque sus costos de fabricación aún son muy elevados y es la razón por la que no tienen tanta demanda a nivel comercial.
- **Diseleniuro de cobre en indio:** estas células fotovoltaicas tienen una eficiencia de 17% en pruebas de laboratorio y 9% de forma comercial; son de las más delgadas y flexibles, aunque el principal inconveniente que presentan es el grado de dificultad para fabricarlos sin defectos, ya que se requiere de capas totalmente uniformes para su correcto funcionamiento y por ser tan delgadas cada una de las capas, es común que presenten desperfectos.
- **Triple unión:** en la fabricación de este tipo de célula fotovoltaica se utiliza una aleación de tres elementos semiconductores diferentes los cuales son GaAs, Ge y GaInP₂ esta unión de tres semiconductores logra una eficiencia del 39%, pero de forma comercial casi no se encuentran por su alto costo de producción ya que fue desarrollado para aplicaciones espaciales en la década de los 90's.

Estas celdas en conjunto constituyen un panel fotovoltaico y pueden colocarse en diferentes formas, lo que también afecta directamente el rendimiento del panel por la aplicación para captar la luz solar. En cuanto a su forma final, se tienen:

- **Panel solar plano con concentrador solar:** en su proceso de fabricación se encapsula la célula fotovoltaica en un material reflejante cóncavo, frente a este hay otro reflejante convexo que redirecciona y concentra la luz solar en una célula fotovoltaica de un centímetro cuadrado, logrando el efecto de un concentrador óptico. Estos paneles solares requieren estar montados en una base con un sistema de seguimiento solar, ya que sin esto el concentrador solar no funcionaría correctamente y el rendimiento del panel se vería severamente afectado, debido a que estos paneles funcionan únicamente con radiación directa. En la Figura 1.3 podemos apreciar este panel solar que suele ser más económico que el panel plano convencional, ya que, por el concentrador solar, la célula fotovoltaica es más pequeña y tiene un rendimiento similar que una célula convencional, por lo que estos paneles hacen uso de una menor cantidad del material semiconductor empleado para su elaboración.



Figura 1.3 Panel fotovoltaico con concentrador solar (Fernández, 2009)

- **Paneles en forma de teja o baldosa:** este tipo de panel fotovoltaico es delgado y ligero, principalmente se utiliza para aplicaciones en techos domiciliarios que son débiles estructuralmente hasta cierto punto, comúnmente se colocan a lo largo de estos techos, como si fueran tejas comunes, a diferencia que estas cuentan con paneles fotovoltaicos suficientes para cubrir toda la demanda energética del domicilio. Su instalación es más sencilla que los paneles tradicionales y ofrece una alternativa para viviendas.
- **Paneles bifaciales:** este panel fotovoltaico tiene células solares por ambas caras, se emplea para aprovechar en mayor medida el espacio disponible al colocar por debajo una superficie blanca o reflectante para aprovechar ambas caras del panel, lo que se traduce en mayor producción de energía eléctrica en el mismo espacio asignado para el sistema.

1.2.4 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Para el correcto funcionamiento de un sistema fotovoltaico se requiere del uso de un inversor, estos son los dispositivos que transforman la corriente directa, proveniente de los paneles fotovoltaicos, a corriente alterna que el sitio requiere. Dependiendo del tipo de sistema a implementar en el sitio será el tipo de inversor que se debe utilizar. Los sistemas fotovoltaicos se pueden englobar en dos tipos, los cuales son:

- **Sistemas aislados:** estos sistemas tienen como objetivo satisfacer total o parcialmente la demanda eléctrica del sitio y son principalmente empleados en sitios donde no hay red eléctrica o dicha energía es de difícil acceso. Estos sistemas tienen que estar dimensionados de tal forma que en las horas de insolación completen la carga de las baterías y satisfagan la demanda del sitio durante el día, ya que las baterías se encargarán de satisfacer la demanda nocturna del sitio (Méndez y col. 2010). Los principales componentes de estos sistemas, tal como se muestra en la Figura 1.4 son: paneles fotovoltaicos, regulador de carga, inversor y baterías.

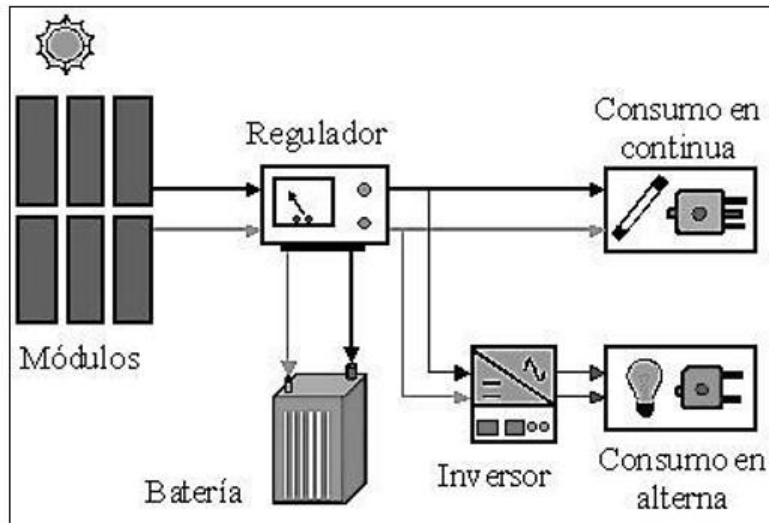


Figura 1.4 Componentes de un sistema fotovoltaico aislado (UNIA, 2010)

- Sistemas interconectados a la red:** este tipo de sistemas no requieren unidades de almacenamiento, ya que se conectan a la red eléctrica, esto es una ventaja ya que el elemento más caro del sistema aislado es la unidad de almacenamiento de energía. El inversor empleado en estas instalaciones cuenta con una unidad de seguimiento del estado de la tensión de la red de distribución, garantizando el correcto funcionamiento en la forma de entregar la energía del sistema a la red eléctrica, evitando así situaciones de riesgo (Méndez y col., 2010). Los principales componentes de un sistema interconectado a la red se muestran en la Figura 1.5, los cuales son: paneles fotovoltaicos, inversor, disposición para el intercambio con la red eléctrica y contador de energía bidireccional.

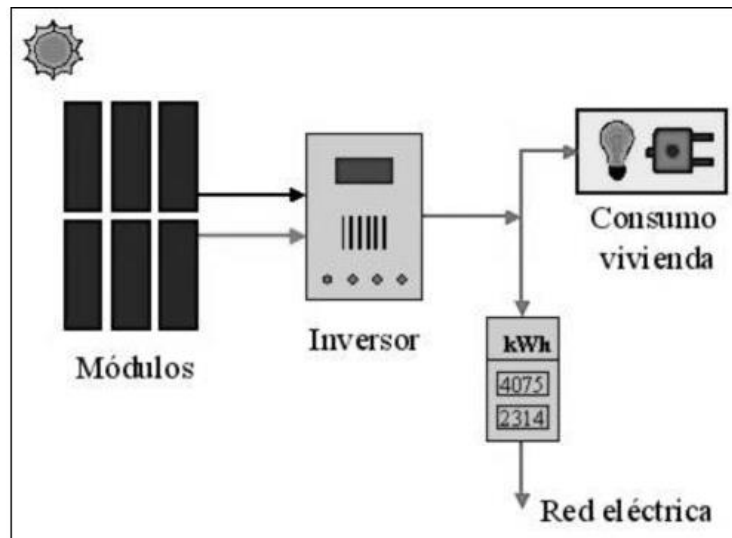


Figura 1.5 Componentes de un sistema interconectado a la red (UNIA, 2010)

CAPITULO 2

CASO DE ESTUDIO

2.1 Datos del sitio

El sitio donde se instalará el sistema fotovoltaico pertenece a la industria maquiladora textil, propiamente es una fábrica de trajes de vestir, fundada por mexicanos, establecida en el municipio de Santiago Tianguistenco, estado de México, donde la temperatura promedio anual se encuentra entre 7°C y 23 °C.

Así mismo, se tiene que analizar la irradiación en la zona del proyecto. Como se observa en el mapa de la Figura 2.1, la zona del Estado de México tiene una irradiancia promedio anual entre 6.15 kWh/m² día y 5.66 kWh/m² día, para tener una mejor aproximación a la irradiancia real de la zona se tomarán en cuenta los datos obtenidos vía satélite.



Figura 2.1 Mapa de irradiación promedio anual en México (IIE, 2011)

Los datos obtenidos mediante las mediciones climáticas de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio, nos dan un dato más exacto sobre el recurso solar que se tiene en el sitio, el cual es de 5.42 kW/m² en promedio al año, mismas que se pueden apreciar en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Irradiación promedio mensual en la zona durante el 2017 (ANAE,2017)

Mes	Irradiancia (kW/m ²)
1	5.26
2	5.96
3	5.94
4	6.34
5	5.78
6	5.84
7	5.04
8	5.21
9	4.47
10	4.66
11	5.54
12	4.96
Promedio	5.42

2.2 Demanda eléctrica del sitio

En la Tabla 2.2 se muestra la demanda eléctrica que tiene:

Tabla 2.2 Demanda eléctrica del sitio

Cantidad	Dispositivo	Potencia nominal (W)	Potencia Total (kW)
30	Luminarias	250	7.5
30	Luminarias	400	12.0
40	Focos	50	2.0
6	Cortadoras de tela	400	2.4
2	Mesas automáticas de patrones	15,000	30.0
80	Máquinas de coser	600	48.0
50	Maquinas Overlock	400	20.0
2	Bombas de Agua	6,000	12.0
8	Equipos de computo	250	2.0
-	Otros dispositivos eléctricos		

Al sumar los valores de los dispositivos instalados, tomando en cuenta el tiempo de uso al mes (esto corresponde al consumo), se puede observar que el estimado concuerda aproximadamente a los 13.56 MWh al mes que registra la CFE.

La mayoría del equipo que emplean en la fábrica es de última generación por lo que su consumo energético está optimizado para consumir la menor cantidad de energía eléctrica posible. Debido a lo anteriormente expuesto se implementó el proyecto fotovoltaico, ya que es viable garantizar el consumo energético de la empresa a través de un sistema de energía renovable.

2.3 Problemática

La industria de la maquila ha sufrido el levantamiento de diferentes compensaciones fiscales, así como incentivos para que dicha industria tenga una aceleración en su desarrollo, ya sea para atraer inversiones extranjeras o para abrir mejores oportunidades para los productores nacionales. Las administraciones anteriores mantenían una exención del pago de IVA en las exportaciones de los productos maquilados, pero en la nueva administración del país esto cambiará. Las compensaciones universales en materia fiscal serán eliminadas y los saldos a favor del IVA ya no podrán cubrir el gasto del ISR lo cual afectará la competitividad de gran parte de las empresas maquiladoras del país (Saldaña, 2018).

Por otro lado, el sector industrial se ve afectado por aumentos en la tarifa eléctrica, estos van del 50% hasta el 70%, esto debido a las tecnologías obsoletas que emplea CFE para generar energía eléctrica, como el uso de combustóleo en algunas de sus plantas generadoras, lo cual encarece la generación eléctrica (Solís, 2018). Por otro lado, las tarifas eléctricas en el mercado de los EE. UU. son de \$1.39/kWh mientras que en México es de \$2.47/kWh. Esto supone un riesgo para la industria maquiladora ya que el mercado Estadounidense es el

cliente principal del país, con estas tarifas los productos elaborados en este sector se pueden encarecer y de este modo el país perdería competitividad ante su principal exportador.

Por lo anteriormente expuesto, la industria maquiladora tiene que optar por distintas alternativas para asegurar su permanencia en el mercado, este es el motivo principal para que la empresa maquiladora de la industria textil, que propiamente se dedica a la fabricación de trajes de vestir recurrió a la instalación del sistema fotovoltaico. De esta manera espera obtener un ahorro en el consumo eléctrico y mantener su competitividad en el mercado.

2.4 Selección de lugar para la colocación de los paneles

El sitio cuenta con tres techumbres a dos aguas y dos techumbres circulares, como se muestra en la Figura 2.2. Para la instalación se debe elegir alguna de las techumbres a dos aguas, ya que por cuestiones de seguridad y el tipo de estructura, hacen de ellas un lugar ideal para la colocación de los paneles.

Al realizar un análisis estructural a través de una empresa dedicada a esto, se determinó que los lugares idóneos son las dos techumbres a dos aguas que están en la parte norte de la Figura 2.2, ya que la techumbre a dos aguas del lado sur no soportaría la estructura completa. Lo cual representa una desventaja ya que dicha techumbre no tiene tragaluces, con ello podría colocarse la cantidad total de paneles como una sola cama y teniendo una inclinación de 15 grados aproximadamente, y estarían orientados exactamente al sur, dicha orientación es la idónea para sistemas de paneles sin seguidor de sol ya que en esta configuración presentan menos pérdidas de energía.



Figura 2.2 Imagen satelital del sitio y zona de análisis

La zona determinada por el análisis estructural cuenta con una superficie de 5,800 m² aproximadamente. Analizando los alrededores del sitio se observó que, del lado oeste, la empresa vecina cuenta con una grúa de pluma y si se colocan los paneles en la cara oeste de la techumbre a dos aguas, la grúa estará sombreando los paneles en las horas donde se tiene un mejor aprovechamiento de los rayos solares. Por ello se determinó que el mejor sitio para la colocación del sistema es en la cara este del sitio. De estas dos caras es mejor usar la que se encuentra al centro, ya que del lado derecho es por donde se tiene acceso al techo y ese espacio es preferible dejarlo libre. Después de analizar los alrededores del sitio y la

disposición de los espacios se concluyó que la mejor opción es usar la zona central de la techumbre a dos aguas, la cual dispone de 1,450 m² para realizar la instalación.

Para que el panel fotovoltaico tenga la mejor captación de energía posible se tienen que orientar en dirección al ecuador terrestre ($\alpha=0$), con una inclinación de elevación del panel (β) variable dependiendo de la zona donde se instalará, tal como se muestra en la Figura 2.3. En el caso de estudio, por las características de la techumbre de la nave industrial, los paneles se orientarán al este ($\alpha=90^\circ$) con una inclinación dada por la misma techumbre de 20° ($\beta=20^\circ$).

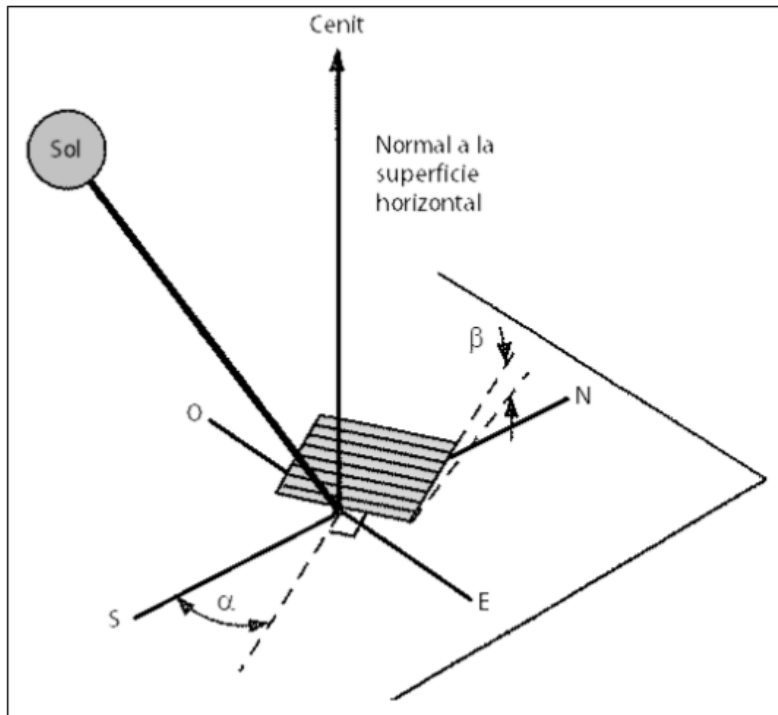


Figura 2.3 Ángulos para orientar el módulo fotovoltaico (Duffie y Beckman, 2016)

2.5 Selección del panel fotovoltaico

Una vez determinado el lugar y sabiendo la superficie disponible, se procede a investigar que panel fotovoltaico es el indicado para esta instalación. Se optará por emplear los mejores paneles en el mercado para garantizar que la instalación tenga los 25 años mínimos útiles que la empresa requiere para sus instalaciones. También se tiene que considerar el peso de todo el sistema, ya que estará instalada en una techumbre de lámina, la cual está soportada por una estructura metálica que corre de forma longitudinal a través de la techumbre con viguetas que tienen metro y medio de separación entre ellas.

Según el análisis estructural de la nave industrial se tiene que dicha estructura soporta 231.5 N/m², lo cual significa que soporta 26.5 kg/m², esto también es un factor que debe ser considerado en el diseño del sistema por cuestiones de seguridad para el personal y perdurabilidad de la instalación. Para saber si la instalación está dentro del valor de resistencia de la techumbre se tiene que saber el área del panel y su peso, de esta forma se

podrá determinar el esfuerzo generado por la instalación a la estructura. Esto se determina mediante:

$$\sigma_N = \frac{F}{A} \quad (2-1)$$

Donde:

σ_N es el esfuerzo normal (N/m²)

F es la fuerza aplicada perpendicularmente a una superficie (N)

A es el área transversal a la que se le aplica la fuerza (m²)

Para determinar el esfuerzo generado por la estructura en la techumbre se requiere obtener el peso de los paneles sobre la estructura. Posteriormente se tiene que obtener la potencia del generador solar, esto es el total de potencia del sistema fotovoltaico, mediante:

$$P_{FV} = \frac{E}{\eta_{sis} \cdot R} \quad (2-2)$$

Donde:

P_{FV} es la potencia del generador solar (kW)

E es el consumo diario del sistema ($\frac{kWh}{día}$)

η_{sis} es el rendimiento medio del sistema (0.8 aproximadamente)

R es el valor promedio mensual de la irradiación diaria en el sitio ($\frac{kWh}{m^2 \cdot día}$)

El número total de módulos fotovoltaicos a instalar se obtiene mediante:

$$N_T = \frac{P_{FV}}{P_{STCmód}} \quad (2-3)$$

Donde:

N_T es el número total de módulos fotovoltaicos

P_{FV} es la potencia del generador fotovoltaico (W)

$P_{STCmód}$ es la potencia entregada por el módulo fotovoltaico en condiciones estándar (W)

2.6 Selección del inversor

Los inversores de la marca alemana SMA son muy fiables, con una operación garantizada de 20 años y una eficiencia de transformación del 98%. Estos inversores son de la mayor calidad en el mercado y por ello la empresa hace uso de esta marca para sus instalaciones.

Se tiene que elegir entre los diferentes tipos de inversores de la marca. Para lo cual se tiene que calcular la tensión por cadena y la cantidad de cadenas en el arreglo de los paneles para saber cuántos inversores se usarán en la instalación. Cabe mencionar que, por disponibilidad de espacio en la subestación eléctrica de la fábrica, se tiene que optimizar la instalación para usar la menor cantidad de inversores posible. Otra razón por la que se buscará usar la menor cantidad de inversores posible es debido a que al instalar más inversores se requiere de más materiales y ello significa que la instalación se encarecería.

Para esta instalación se considerará el uso de inversores centrales, ya que el hacer uso de micro inversores elevaría bastante el costo del proyecto, al igual que un inversor central con optimizadores en los paneles, por ello se hará uso de inversores centrales con cadena simple.

Para determinar el número de inversores es necesario hacer uso de la siguiente ecuación:

$$No. de inversores = \frac{P_{max}}{P_{inv}} \quad (2-4)$$

Donde:

P_{max} es la potencia máxima del sistema (kW)

P_{inv} es la potencia del inversor (kW)

Al realizar el cálculo se tiene que redondear al entero inmediato superior.

Este tipo de inversores cuentan con una caja combinadora de cadenas para balancear las cargas en cada cadena que llegue al inversor. Dentro de estas cajas se hace una conexión en paralelo de las cadenas, por lo que el voltaje de salida es igual al voltaje de entrada. Para obtener el voltaje de entrada a la caja combinadora se hace uso de la ecuación de voltaje en circuitos conectados en serie:

$$V_{string} = \sum_i V_{panel_i} \quad (2-5)$$

Donde:

V_{string} es el voltaje de la cadena de módulos fotovoltaicos (V)

V_{panel_i} es el voltaje de circuito abierto de cada módulo fotovoltaico (V)

Para obtener el mejor rendimiento posible en la cadena se deben instalar módulos fotovoltaicos de las mismas características eléctricas, ya que si se tiene una variación en la corriente que entrega un módulo fotovoltaico y la cadena, se verá sesgado al valor menor de corriente.

La corriente en cada cadena es la misma que entrega el módulo fotovoltaico, ya que están conectados en serie y la corriente se mantiene como la corriente de corto circuito del panel. A la salida de la caja combinadora la corriente se expresa mediante:

$$I_{comb} = \sum_i I_{string_i} \quad (2-6)$$

Donde:

I_{comb} es la corriente de salida de la caja combinadora (A)

I_{string_i} es la corriente de corto circuito de cada cadena (A)

2.7 Selección de protecciones del sistema fotovoltaico

En un circuito de fuente fotovoltaica de corriente continua la tensión máxima del sistema fotovoltaico se debe calcular como la suma de la tensión de circuito abierto de los módulos fotovoltaicos conectados en serie, corregido para la más baja temperatura ambiente esperada. Para el caso de estudio se corregirá dicha tensión por el factor de corrección proporcionado

en la Tabla 2.3. Esta tensión debe ser usada para determinar la tensión nominal de cables, desconectores, dispositivos de desconexión contra sobre corriente y otros equipos. La corriente es considerada como la corriente de corto circuito de un panel ya que están conectados en serie. La corriente en los arreglos fotovoltaicos se considera como una constante.

Tabla 2.3 Factores de corrección para temperaturas ambiente menores a 25°C (DOF, 2012)

Temperatura ambiente (°C)	Factor
de -36 a -40	1.02
de 19 a 15	1.04
de 14 a 10	1.06
de 9 a 5	1.08
de 4 a 0	1.10
de -1 a -5	1.12
de -6 a -10	1.14
de 24 a 20	1.16
de -11 a -15	1.18
de -16 a -20	1.20
de -21 a -25	1.21
de -26 a -30	1.23
de -31 a -35	1.25

Cabe destacar que al tener un circuito de corriente continua con un voltaje mayor de 600 volts su manejo tiene que ser únicamente por personal capacitado en ello (DOF, 2012). La ampacidad de los circuitos de fuentes fotovoltaicas se toma el valor máximo de corriente, que es el valor de cortocircuito de un módulo por estar conectado en serie en la cadena. Para realizar los cálculos necesarios para obtener la ampacidad de los circuitos del sistema fotovoltaico se requiere obtener la corriente total de las cadenas del sistema en corriente directa:

$$I_{tc} = \frac{W_c}{V_c} \quad (2-7)$$

I_{tc} es la corriente total de la cadena (A)

W_c potencia de la cadena (W)

V_c volts de la cadena (V)

La corriente de un circuito trifásico se calcula de la siguiente forma:

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} * E * FP} \quad (2-8)$$

I es la intensidad de la corriente del sistema en corriente alterna (A)

W es la potencia en corriente alterna del sistema (W)

E es la tensión entre fases (V)

FP factor de potencia

Para obtener la ampacidad en los circuitos se tiene que calcular el alimentador:

$$C_c = W * Fd \quad (2-9)$$

C_c es la carga continua (W)

W es la potencia del sistema (W)

Fd es el factor de demanda

Para obtener la carga no continua del sistema:

$$C_{nc} = W - C_c \quad (2-10)$$

C_{nc} es la carga no continua del sistema (W)

W es la potencia del sistema (W)

C_c es la carga continua del sistema (W)

Al obtener estos datos es posible determinar la corriente por ampacidad del sistema y con este resultado se puede determinar las protecciones necesarias para cada sección del sistema.

La corriente por ampacidad se calcula:

$$I_{amp} = 1.25 * \frac{C_c + C_{nc}}{V_c} \quad (2-11)$$

I_{amp} es la corriente por ampacidad del sistema (A)

C_c es la carga continua (W)

C_{nc} es la carga no continua (W)

V_c es el voltaje del circuito (V)

2.8 Selección del conductor

La selección correcta del conductor empleado en las diferentes secciones del sistema es de vital importancia para el correcto funcionamiento de este. En cada sección del sistema se requiere una expresión diferente para obtener el dato de la caída de tensión debido al conductor. Se calcula como sigue:

$$e\% = \frac{2 * \sqrt{3} * L * I}{S * E} \quad (2-12)$$

$e\%$ es la caída de tensión

S es la sección transversal del conductor (mm^2)

L es la longitud del circuito al centro de carga (m)

I es la intensidad de la corriente del circuito (A)

E es la tensión entre fases (V)

Esta expresión se usará para cada sección del circuito en corriente alterna trifásica para saber cuál es la caída de tensión del conductor seleccionado. Dado que el comportamiento de la energía eléctrica en corriente directa es diferente al de la corriente alterna, el calibre del cable a implementar en un circuito de corriente directa se determinará mediante la siguiente expresión.

$$e\% = \frac{4 * L * I}{E_n * S} \quad (2-13)$$

$e\%$ es la caída de tensión

S es la sección transversal del conductor (mm^2)

L es la longitud del circuito al centro de carga (m)

I es la intensidad de corriente del circuito (A)

E_n es la tensión entre nodos (V)

Haciendo uso de la Tabla 2.4 de los calibres de los conductores para determinar cuál será empleado en el sistema.

Tabla 2.4 Capacidad de conducción de corriente en amperes de conductores aislados de 0 a 2000 volts (INIFED, 2015)

Tamaño nominal mm^2	Temperatura nominal del conductor 75°C Tipos RHW, THW, THHW, THW-LS, THWN, XHHW, TT	Tamaño nominal AWGkcmil
2.082	20	14
3.307	25	12
5.260	35	10
8.367	50	8
13.300	65	6
21.150	85	4
26.670	100	3
33.620	115	2
42.410	130	1
53.480	150	1/0
67.430	175	2/0
85.010	200	3/0
107.200	230	4/0

CAPÍTULO 3 RESULTADOS

3.1 Diseño eléctrico

3.1.1 Determinación del panel fotovoltaico

Las mejores opciones son los paneles SunPower, los cuales funcionan con la mejor eficiencia del mundo. Toda vez, que han sido elaborados con tecnologías propias de la marca a la que pertenecen y no tienen los arreglos convencionales en su ensamble. Otros paneles considerados para esta instalación son los Luxen Solar Energy, Mitsubishi Electric y los IBC Solar. Estos paneles son de tecnología convencional entre monocristalinos y policristalinos que presentan una alta eficiencia energética, además de cumplir con varios estándares internacionales y ser considerados como de las mejores marcas en el mundo y que garantizan una funcionalidad por 25 años. Las especificaciones generales de los paneles antes mencionados se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Datos técnicos de diferentes paneles solares (IBC Solar, 2018; Luxen Solar, 2018; ME, 2012; SunPower, 2018)

Marca	Modelo	Potencia (W _p)	Área (m ²)	Peso (kg)	Eficiencia (%)
IBC Solar	325 VL5-HC	325	1.661	19.5	19.60
Sun Power	SPR-P17-350-COM	350	2.063	23.1	17.00
Sun Power	SPR-E20-435-COM	435	2.160	25.4	20.10
Mitsubishi Electric	PV-MLE265HD	265	1.656	20.0	16.00
Luxen Solar Energy	LNSF-350M	350	1.940	23.0	18.04

Las características de los diferentes paneles deben ser analizadas a fin de obtener la mejor opción para el proyecto, tomando en cuenta que se tiene que cubrir un consumo de 452 kWh al día, por lo que la potencia del generador se obtiene mediante la ecuación 2-2, lo cual es:

$$P_{FV} = \frac{E}{\eta_{sis-R}} \quad (2-2)$$

Sustituyendo:

$$P_{FV} = \frac{452 \left(\frac{kWh}{día} \right)}{(0.8) \left(5.42 \left(\frac{kWh}{m^2 \cdot día} \right) \right)}$$

$$P_{FV} = 104.243 \text{ kW}$$

Para obtener el número total de paneles que se necesitarían de cada modelo, se toman en cuenta los datos de la tabla 3.1 y se hace uso de la ecuación 2-3 para con ello obtener el área total que cubrirán dichos paneles, así como el peso total de las camas de paneles.

$$N_T = \frac{P_{FV}}{P_{STCmód}} \quad (2-3)$$

Sustituyendo:

$$N_T = \frac{104243 (W)}{325 (W)}$$

$$N_T = 320.747$$

El dato obtenido tiene cifras decimales por lo cual se redondea al número inmediato superior para satisfacer por completo la demanda energética, por lo que se tienen que instalar 321 del panel IBC Solar de 325 W. En la Tabla 3.1 se muestran los datos de cada modelo analizado para hacer uso del que más se adapte a los requerimientos del sitio.

Tabla 3.2 Datos de dimensionamiento de la instalación

Marca	Modelo	Cantidad de paneles	Área total (m ²)	Peso total (kg)	Carga (kg/m ²)	Esfuerzo normal (N/m ²)
IBC Solar	325 VL5-HC	321	531.520	6240.0	11.7399	115.1685
Sun Power	SPR-P17-350-COM	298	614.774	6883.8	11.1972	109.8453
Sun Power	SPR-E20-435-COM	240	518.400	6096.0	11.7592	115.3583
Mitsubishi Electric	PV-MLE265HD	393	650.808	7860.0	12.0772	118.4782
Luxen Solar Energy	LNSF-350M	298	578.120	6854.0	11.8556	116.3041

Observando la comparación entre los diferentes paneles, la mejor opción para el proyecto es el panel SunPower SPR-E20-435-COM ya que es el panel más eficiente de la lista, se requiere un menor número de paneles y ocupa una menor área, aunque es el tercer lugar en cuanto a carga se refiere, pero aún se encuentra dentro de los parámetros requeridos por el análisis estructural de la techumbre.

Una vez identificado el panel a utilizar, se realiza el acomodo de los paneles, debido a las zonas de tragaluz en la techumbre, la mejor disposición es hacer camas de 15 paneles y de 30 paneles dependiendo los claros que se presentan en la techumbre como se observa en la Figura 3.1. Esta disposición es la que más ahorro genera, ya que se tiene que hacer uso de menos extensiones de cable solar para llegar a las cajas combinadoras que se encuentran en la parte superior de la techumbre. Esta distribución también permite usar menos cable para llegar a la subestación eléctrica de la nave industrial que se encuentra en la parte superior izquierda.

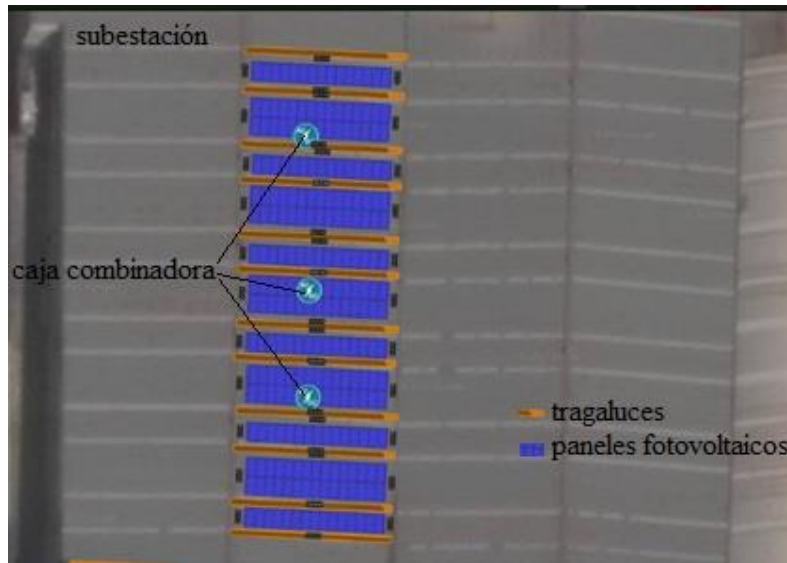


Figura 3.1 Disposición de los paneles en el sitio

3.1.2 Cálculo del inversor

La recomendación del fabricante para esta instalación es el uso del inversor Suny Tripower STP30000-US-10, ya que cuenta con dos controladores seguidores de punto de máxima potencia independientes. Esto logra que los paneles fotovoltaicos generen la máxima potencia el mayor tiempo posible. El hecho de que sean independientes tiene un mayor beneficio ya que si algunos paneles de una cadena llegan a tener sombras, esto solo afectaría a dicha cadena y no a las dos. Por lo que solo una cadena disminuiría su rendimiento mientras la otra seguiría generando al máximo. Otro factor importante es que se tienen que usar menos inversores para el proyecto. Para obtener el número de inversores a usar se hace uso de la ecuación 2-4:

$$No. de inversores = \frac{P_{max}}{P_{inv}} \quad (2-4)$$

Sustituyendo:

$$No. de inversores = \frac{104.2 (kW)}{30 (kW)}$$

$$No. de inversores = 3.46$$

Este resultado apunta a que se deberían usar 4 inversores, pero por políticas de la empresa se usa el entero inferior ya que, con ello, se garantiza el máximo potencial de operación de los inversores a emplear. Se tiene que determinar la cantidad de paneles para conectar en cada inversor y esto se obtiene haciendo uso de la ecuación 2-3:

$$No. Panel_{inv} = \frac{No Paneles}{No Inversores} \quad (2-3)$$

Sustituyendo:

$$No. Panel_{inv} = \frac{240}{3}$$

$$No. Panel_{inv} = 80$$

Cada inversor tendrá conectados 80 paneles fotovoltaicos para su operación. Estos inversores cuentan con dos seguidores de punto de máxima potencia, por lo cual se pueden dividir los paneles en dos cadenas. Otro punto por considerar es el voltaje de entrada máximo en corriente directa del inversor, el cual es de 1000 volts. Cada inversor incluye una caja combinadora de 8 cadenas para tener balanceadas las cargas en corriente directa por lo que se dividirán en 8 cadenas de 10 paneles cada uno. La salida de las cajas combinadoras es dual, por lo que junta únicamente 4 cadenas en una sola, por lo tanto, a la salida de la caja combinadora se cuenta con dos cadenas que llegan al inversor, se tiene que comprobar el voltaje de dichas cadenas para garantizar el correcto funcionamiento del inversor, usando la ecuación 2-5:

$$V_{string} = \sum_i V_{panel_i} \quad (2-5)$$

$$V_{string} = 10 * 85.6 \text{ (V)}$$

$$V_{string} = 856 \text{ V}$$

Considerando el factor de corrección por temperatura de 1.04 se tiene:

$$V_{string} = 1.04 * 856 \text{ V}$$

$$V_{string} = 890.24 \text{ V}$$

Dado el voltaje corregido se deduce que las cadenas son aptas para la operación correcta del inversor, por lo cual la instalación se realizará de esta forma.

Con este método de diseño se asegura la optimización de área a usar para el sistema así como el uso de menos componentes para el sistema fotovoltaico, en conclusión, se optimiza la energía generada por unidad de área empleada en la instalación. Lo anterior se puede comprobar comparando este trabajo con el efectuado para el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT).

En este estudio se buscaba realizar una instalación autónoma pero debido a los altos costos de las baterías se determinó que no era viable por lo que se realizó un estudio de un sistema interconectado a la red, ese estudio es el que se tomará en cuenta para realizar la comparación de los diseños del sistema.

En el CEIEGT se requiere cubrir un consumo diario de 299.15 kWh y en dicho sitio cuentan con una irradiancia promedio anual de 5.38 kWh/m² con una inclinación de 20° en los paneles fotovoltaicos, con estos datos se determinó que la potencia del generador debía ser de 69.64 kWp. El CEIEGT se encuentra en el municipio de Martínez de la Torre en el estado de Veracruz.

En dicho estudio la autora determinó que son necesarios 270 paneles Yingli Solar modelo YL250P-29b los cuales otorgan 250 W cada uno, esto suma 67,500 Wp. Par convertir la corriente directa de los paneles son necesarios 6 inversores centrales de la marca SMA modelo Sunny Boy 11000TL-US los cuales son de una capacidad de 11,000 W lo cual suma 66,000 W de capacidad en los inversores (Vázquez, 2014).

Como se puede observar en la Tabla 3.3 los dos proyectos no tienen el mismo requerimiento energético y, por ende, no requieren de la misma cantidad de paneles fotovoltaicos ni de inversores a instalar.

Tabla 3.3 Comparativa entre proyectos fotovoltaicos

Proyecto	Capacidad de Inversores (W)	Cantidad de Inversores	Capacidad de Paneles (W)	Cantidad de Paneles	Área de Paneles (m ²)	Potencia por Unidad de Área (W/m ²)	Referencia
CEIEGT	66,000	6	67,500	270	441	153.1	Vázquez,2014
Propio	90,000	3	104,400	240	518.4	201.4	

Al realizar la comparación se puede observar que en el caso del proyecto del presente trabajo se cubre una mayor demanda con una menor cantidad de paneles solares, así como se hace uso de una menor cantidad de inversores; en ambos casos se usa una menor área para hacer la instalación de dichos componentes, por lo que se demuestra que el método empleado en el presente trabajo es mejor, ya que optimiza la generación energética por unidad de área en el sitio.

3.1.3 Determinación de las protecciones del sistema

Se comenzará determinando las protecciones en corriente continua. Cada cadena de paneles fotovoltaicos cuenta con 10 paneles, con un voltaje de 890.24 V y una potencia de 4350 W por lo que se calcula la corriente por cadena usando la ecuación 2-6:

$$I_{tc} = \frac{W_c}{V_c} \quad (2-6)$$

Sustituyendo:

$$I_{tc} = \frac{4350 (W)}{890.24 (V)}$$

$$I_{tc} = 4.88 A$$

Se procede con el cálculo del alimentador en carga continua el cual es:

$$C_c = W * Fd \quad (2-9)$$

$$C_c = 4350 (W) * 1$$

$$C_c = 4350 W$$

En este caso, el factor de demanda es 1 ya que todo lo que se genera en los paneles es consumido por la fábrica o en su defecto inyectado a la red eléctrica. Se continúa con el cálculo de la carga no continua, al tener un factor de demanda unitario, la carga no continua es 0, por lo que la corriente por ampacidad, considerando lo anterior, se obtiene mediante la ecuación 2-11:

$$I_{amp} = 1.25 * \frac{C_c + C_{nc}}{V_c} \quad (2-11)$$

Sustituyendo:

$$I_{amp} = 1.25 * \frac{4350 (W) + 0 (W)}{890.24 (V)}$$

$$I_{amp} = 6.11 A$$

Con este dato obtenido se determina la protección a emplear en las cajas combinadoras, la cual emplea fusibles en corriente directa, la protección empleada por cadena es de 15 A (comercial).

Se continua con la determinación de la protección de corriente directa antes de llegar al inversor. A la salida de las cajas combinadoras se tienen dos circuitos en corriente directa, y cada uno contiene 4 cadenas de paneles conectados en paralelo por lo que en dicha salida el voltaje se mantiene en 890.24 V, pero la corriente aumenta. Para obtener el aumento en la corriente se usa la ecuación 2-6:

$$I_{comb} = \sum_i I_{string_i} \quad (2-6)$$

Sustituyendo:

$$I_{comb} = 6.11 (A) + 6.11 (A) + 6.11 (A) + 6.11 (A)$$

$$I_{comb} = 24.44 A$$

Al tener el dato como corriente por ampacidad, solo hace falta realizar la suma de cada corriente para obtener la siguiente protección. Con el dato de la corriente de la caja combinadora, se obtiene la corriente para la protección del inversor en corriente directa la cual deberá ser de 30 A (comercial). A continuación, se procede a realizar los cálculos pertinentes para la sección de corriente alterna del sistema fotovoltaico. A la salida del inversor en corriente alterna se tiene un voltaje de 480 V con una corriente nominal de 36.2 A, la norma dicta que la corriente se mantiene como una constante (DOF, 2012).

Aplicando el factor de corrección por temperatura del sitio para la sección de corriente alterna, con una temperatura del sitio de 20°C se tiene un factor de corrección de la Tabla 2.2 de 1.16 por lo que:

$$V_{cca} = 1.16 * 480 (V)$$

$$V_{cca} = 556.8 V$$

Calculando la potencia del inversor con el voltaje corregido con la ecuación 3-1:

$$W_c = V_{cca} * I_i \quad (3-1)$$

Sustituyendo:

$$W_c = 556.8 (V) * 36.2 (A)$$

$$W_c = 20156 W$$

Realizando el cálculo del alimentador, con la ecuación 2-9, para esta sección del circuito se tiene que:

$$C_c = W * Fd \quad (2-9)$$

Sustituyendo:

$$C_c = 20156 (W) * 1$$

$$C_c = 20156 W$$

De igual forma se tiene un factor de demanda unitario en esta sección del circuito, dado esto, la carga no continua es 0 por lo que la corriente por ampacidad se obtiene mediante la ecuación 2-11:

$$I_{amp} = 1.25 * \frac{C_c + C_{nc}}{V_c} \quad (2-11)$$

Sustituyendo:

$$I_{amp} = 1.25 * \frac{20156 (W) + 0 (W)}{556.8 (V)}$$

$$I_{amp} = 45.25 A$$

Este dato obtenido indica que la primera protección después del inversor en corriente alterna es de 50 A (comercial). Después de las protecciones en corriente alterna del inversor se llegan los circuitos a una caja unificadora donde se conectan todos los circuitos en paralelo, por lo que el voltaje se mantiene constante en 556.8 V y la corriente se obtiene mediante la ecuación 2-6:

$$I_{unif} = \sum_i I_{inv_i} \quad (2-6)$$

Sustituyendo:

$$I_{unif} = 45.25 (A) + 45.25 (A) + 45.25 (A)$$

$$I_{unif} = 135.75 A$$

Con este dato se tiene que la protección general del sistema es de 150 A (comercial). Con estos resultados se han obtenido todas las protecciones del sistema fotovoltaico las cuales se pueden observar en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Valores de las protecciones a emplear en el sistema

Corriente Continua		Corriente Alterna	
Segmento	Capacidad (A)	Segmento	Capacidad (A)
Caja combinadora	15	Inversor CA	50
Inversor CD	30	Protección general	150

3.1.4 Determinación del conductor

Con los datos de corriente por ampacidad obtenidos anteriormente y haciendo uso de la Tabla 2.3 es la forma en la que se obtiene el conductor a emplear en cada sección, posteriormente se obtiene la caída de tensión para verificar que dicho conductor sea el adecuado ya que la normatividad indica que solo se puede tener una caída de tensión del 5% en la instalación. En la Tabla 3.5 se establece la corriente que circula a través de cada segmento del sistema fotovoltaico.

Tabla 3.5 Corriente por ampacidad para los diferentes circuitos del sistema

Corriente Continua		Corriente Alterna	
Segmento	Capacidad (A)	Segmento	Capacidad (A)
Caja combinadora	6.11	Inversor CA	45.25
Inversor CD	24.44	Protección general	135.75

Dados estos valores se procede con la determinación del conductor para cada sección del sistema en la Tabla 3.6 lo cual se realiza acorde a la ampacidad de cada segmento del sistema.

Tabla 3.6 Calibre del conductor según la ampacidad del circuito

Corriente Continua		Corriente Alterna	
Segmento	Conductor RHW	Segmento	Conductor THW
Caja combinadora	14	Inversor CA	8
Inversor CD	12	Protección general	1/0

A continuación, se tienen que verificar los calibres considerando que la caída de tensión no debe sobrepasar el 5%. Esto se realiza mediante la fórmula de sección transversal para cada circuito y despejando la caída de tensión.

En corriente continua se emplea la ecuación 2-13:

$$e\% = \frac{4 \cdot L \cdot I}{E_n \cdot S} \quad (2-13)$$

En corriente alterna trifásica se emplea la ecuación:

$$e\% = \frac{2 \cdot \sqrt{3} \cdot L \cdot I}{E \cdot S} \quad (2-12)$$

Como se puede observar en la Tabla 3.7 al emplear la ecuación 2-12 y 2-13 según corresponda, se tienen valores de caída de tensión aceptables, pero para asegurar que la caída de tensión este por debajo del 5% en toda la instalación, ya que todas las caídas de tensión son sumadas para obtener una caída de tensión global, se hará uso de un calibre mayor en los conductores para atenuar la caída de tensión en todos los circuitos.

Tabla 3.7 Comprobación del calibre del conductor por sección en la instalación

Corriente continua				Corriente alterna			
Sección	Longitud (m)	Sección transversal (mm ²)	Caída de tensión	Sección	Longitud (m)	Sección transversal (mm ²)	Caída de tensión
Caja combinadora	10	2.080	0.1319	Inversor CA	5	8.367	0.1682
Inversor CD	80	3.307	2.6565	Protección general	2	53.480	0.0316

La adecuación de los calibres del cable conductor se puede observar en la Tabla 3.8 para que así se logre cumplir con la norma aplicable y tener una caída de tensión menor al 5% en la instalación.

Tabla 3.8 Calibres de conductor corregidos

Corriente continua				Corriente alterna			
Sección	Longitud (m)	Sección transversal (mm ²)	Caída de tensión	Sección	Longitud (m)	Sección transversal (mm ²)	Caída de tensión
Caja combinadora	10	5.26	0.0522	Inversor CA	5	33.62	0.0419
Inversor CD	80	13.30	0.6603	Protección general	2	53.48	0.0316

En la Tabla 3.9 se puede ver el calibre del conductor en cada sección de la instalación, así como el tipo de aislamiento del conductor. Los conductores que serán utilizados en la instalación fotovoltaica son del tipo THW para los circuitos de corriente alterna y el tipo RHW para los circuitos en corriente directa. Esto debido a las características físicas del aislante, ya que cubren la normativa aplicable para dicha instalación.

Tabla 3.9 Calibres de conductor finales

Corriente Continua		Corriente Alterna	
Segmento	Conductor RHW	Segmento	Conductor THW
Caja combinadora	10	Inversor CA	2
Inversor CD	6	Protección general	1/0

3.2 Arreglo eléctrico del sistema fotovoltaico

La instalación eléctrica del sistema fotovoltaico está compuesta por 240 paneles fotovoltaicos, distribuidos en camas de 15 paneles y de 30, como se puede observar en la Figura 2.10, para realizar las cadenas se hace uso de 10 paneles en la parte superior de las camas y la unión entre camas de los últimos 5 paneles, mediante un tubo conduit de pared gruesa de $\frac{3}{4}$ de pulgada y haciendo uso de cable RHW del calibre 10 para realizar las extensiones entre dichas camas.

Las cajas combinadoras se colocaron en la parte superior de la techumbre a dos aguas, de la forma más cercana a las 8 cadenas que se conectan a cada caja para hacer uso de la menor cantidad de material posible. De igual forma, en la Figura 3.2 se puede apreciar cómo es que se hizo la seriación de los paneles para componer cada cadena del sistema.

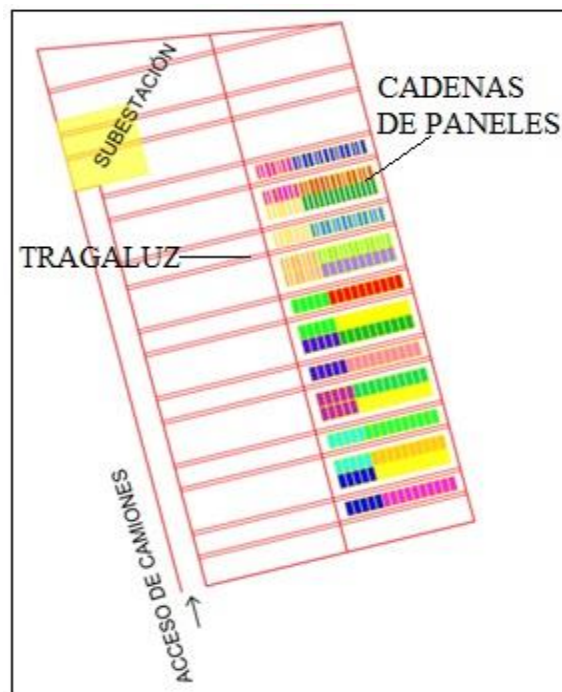


Figura 3.2 Distribución de las cadenas del sistema fotovoltaico

Como puede observarse en la Figura 3.3 la trayectoria en corriente directa parte de las cajas combinadoras a los inversores que están en la subestación eléctrica, en esta sección de la instalación se hizo uso de 66 tubos conduit de pared gruesa de pulgada y media para canalizar cuatro cables del calibre 6 AWG, más una tierra desnuda del calibre 8 AWG, y que de cada caja combinadora se derivan dos cadenas a los inversores. Al llegar a la orilla de la techumbre, sobre la subestación eléctrica, se bajó la tubería haciendo uso de tubería flexible de pulgada y media, en la pared de dicha subestación se tuvo que realizar un paso para que la tubería flexible pudiera entrar a dicho cuarto.

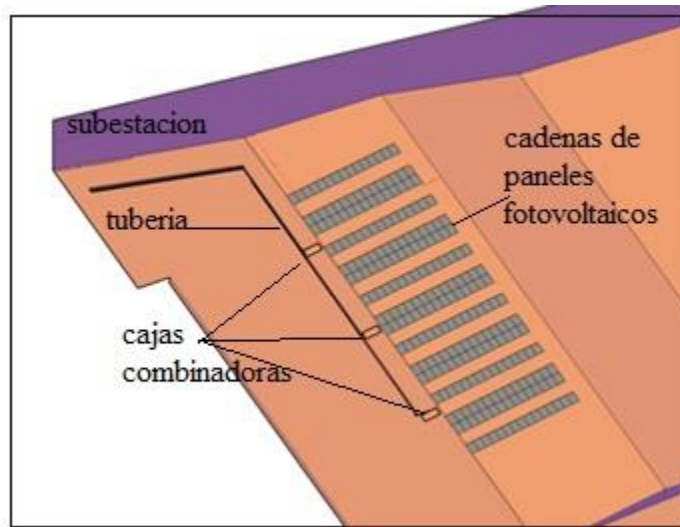


Figura 3.3 Renderizado de las cajas combinadoras, paneles solares y trayectoria en corriente directa

En el interior de la subestación se emplearon 9 metros de ducto cuadrado de 4x4 para hacer llegar el cable hasta la protección de CD de cada inversor. También se emplearon 6 metros de ducto cuadrado de 4x4 para la trayectoria de CA, como se puede apreciar en la Figura 3.4. Del mismo modo se emplearon 3 gabinetes ABB plásticos para las protecciones en corriente directa antes del inversor, así como 4 cajas de interruptor y un gabinete ABB para la caja concentradora de los inversores.



Figura 3.4 Instalación eléctrica dentro de la subestación

3.3 Instalación del sistema fotovoltaico

En primera instancia se tiene que realizar la colocación de la estructura en la que se fijan los paneles. En este proyecto se usará una estructura coplanar, ya que la techumbre cuenta con una inclinación aproximada de 15°. Comúnmente en la estructura de la techumbre es donde se tiene que anclar la estructura del sistema fotovoltaico, cada perfil en “C” que compone dicha estructura se encuentra a metro y medio aproximadamente, lo cual es ideal para colocar

las anclas de los rieles que sostienen los paneles fotovoltaicos. La base del anclaje de la estructura se colocó con pijabroc. Al finalizar de colocar las anclas de la estructura se tuvo que impermeabilizar para evitar filtraciones de agua, estos pasos de la instalación se pueden apreciar en la Figura 3.5.



Figura 3.5 Anclaje de estructura coplanar

Una vez que se colocó la estructura de los paneles fotovoltaicos se colocaron en la misma estructura zapatas de tierra para aterrizarla, tal como se establece en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 que refiere todo lo relativo a las instalaciones eléctricas, y que se realizó como se aprecia en la Figura 3.6.



Figura 3.6 Estructura finalizada en el sitio

Con la tierra física montada se colocaron los paneles y se realizaron las cadenas para derivarlas a las cajas combinadoras, como se puede observar en la Figura 3.7. Lo anterior es todo lo correspondiente a la instalación de la estructura y los paneles fotovoltaicos.



Figura 3.7 Paneles instalados en el sitio

3.4 Pruebas en la instalación

Al finalizar la instalación se procedió a realizar las pruebas pertinentes del sistema fotovoltaico, inicialmente se tuvieron que configurar los inversores centrales, ya que al tener tres se tiene que hacer uso de la función maestro-esclavo con la que cuentan los inversores SMA. Al finalizar la configuración de los inversores, el sistema tiene que ser reiniciado para que se establezcan los parámetros ingresados en los inversores y el sistema opere de una forma adecuada. Al estar operando el sistema de forma adecuada, se procede a tomar mediciones de corriente y voltaje en cada sección de la instalación, lo cual se realizó a las 10 horas con cielo despejado.

Al tomar las medidas de las cadenas se notó que todos presentaban mediciones idénticas de voltaje en corriente continua y por ello solo se tomaron los datos de tres cadenas, una por cada caja combinadora para tener los datos característicos de cada circuito. Analizando los datos presentados en la Tabla 3.10 y al cotejarlos con los datos de placa, se corroboró que el sistema funciona correctamente, con lo cual, se puede realizar el proceso de gestión para que la Comisión Federal de Electricidad realice la revisión de acuerdo con la normatividad a fin de poner en marcha el sistema. Actualmente el sistema se encuentra funcionando en condiciones normales de operación.

Tabla 3.10 Datos de pruebas en el sitio

Corriente alterna			Corriente continua		
Sección	Voltaje (V)	Corriente (A)	Sección	Voltaje (V)	Corriente (A)
Inversor 1	479	36	String 1	870	6.4
Inversor 2	480	36	String 2	870	6.3
Inversor 3	480	36	String 3	869	6.4
Caja unificadora	480	108	Caja combinadora	870	25.6

3.5 Costo

A grandes rasgos la instalación de un sistema fotovoltaico como este, tiene un costo aproximado de \$325,700 dólares en valor presente neto.

En el caso del estudio de viabilidad para el caso de los inversionistas de la empresa me es imposible tener el dato, ya que estos esquemas son información sensible de la empresa y por ello no todos los trabajadores tenemos acceso a la información.

Dentro de la empresa se tienen tres esquemas para adquirir un sistema fotovoltaico, estos son de inversión, para grandes empresas, la renta y la venta de sistemas fotovoltaicos. Es gracias a las inversiones que la empresa puede mantener el esquema de inversión y gracias a éste es que se ha consolidado en el mercado mexicano como una de las empresas más sólidas en el campo de energías renovables. Haciendo uso de mi experiencia dentro de la empresa es que puedo mencionar que normalmente un sistema fotovoltaico en el esquema de venta puede recuperarse la inversión en un lapso de dos a tres años aproximadamente.

CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES

Las tecnologías de energías renovables aún se encuentran en fase de desarrollo y son poco utilizadas en nuestro país, sin embargo, cada año aumenta el número de empresas y particulares que apuestan por ellas, y al mismo tiempo apuestan por no usar combustibles fósiles en su producción, en este caso el sistema fotovoltaico cubre el consumo de energía eléctrica. En su mayoría las elige porque en los últimos años se ha encarecido desproporcionadamente el servicio de energía eléctrica, si tenemos en cuenta que en algunas regiones ha aumentado dicho servicio, resulta evidente porqué se buscan opciones, que quizá de inicio representen una inversión, pero que a futuro son un ahorro para empresas cuyo consumo eléctrico representa una buena parte de sus gastos.

La mayoría de los particulares y empresas que se atreven a apostar por energías renovables, lo hacen por la energía solar, ya que es un recurso con el que nuestro país está geográficamente bien abastecido y que no requiere de mucho espacio para pequeñas empresas, como lo sería participar en la construcción de un parque eólico, o de la llamada energía azul, que se refiere a la producción de electricidad aprovechando la energía cinética de las corrientes marinas.

La industria textil y maquiladora de nuestro país, al procurar ser cada vez más competitiva frente al mercado internacional, está buscando constantemente contar con tecnología más avanzada, con mayor equipamiento, que le permita mantener e incluso disminuir sus costos de producción. Es por ello que esta empresa, objeto del presente trabajo, optó por invertir, para que así, como parte de los beneficios de los que son como inversionistas, se instalaran en su planta la cantidad necesaria de paneles fotovoltaicos de la mejor calidad en el mercado, con el objetivo de satisfacer por completo su demanda mensual de energía eléctrica.

El sistema fotovoltaico presentado en este trabajo demuestra que las energías renovables pueden abastecer incluso a las grandes empresas. Inclusive industrias que tienen un mayor consumo energético y, por consiguiente, son las que representan una mayor cantidad de contaminación para el medio ambiente, podrían ser parte del cambio que se busca, primero a nivel local y después a nivel nacional para que las futuras generaciones no sufran de problemas respiratorios a causa de los combustibles fósiles.

Referencias bibliográficas

- ✓ ANAE, 2017. Datos de Energía, acceso a datos de punto de potencia. Publicación de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio. Orlando, EE. UU.
- ✓ Argüello, G. 1989. El primer medio siglo de vida independiente 1824-1867. Alianza Editorial. Pág. 312. México.
- ✓ Barrios, M. y Cienfuegos, M. 2010. Nuevos desafíos de México: China como monopolista de la industria textil y de la confección. Tesis de licenciatura. Escuela de Ciencias Sociales, Universidad de las Américas Puebla. Puebla, México.
- ✓ Cárcamo, M. 1991. El impacto de la inflación en el ahorro interno de la industria textil y del vestido en México, 1982-1999. Tesis de Licenciatura en Economía. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México. Aragón, CDMX, México.
- ✓ CAI, 2013. La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica. Publicación del Instituto de la Limpieza del Aire. California, EE. UU.
- ✓ DOF, 2012. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización). Publicación del Diario Oficial de la Federación, tomo DCCX No. 22. México, D.F., México.
- ✓ Duffie, J. y Beckman, W. 2016. Ingeniería solar de los procesos térmicos. Editorial John Wiley & Sons, Inc. Pág. 37-43. Nueva Jersey, EE. UU.
- ✓ Fernández, J. 2009. Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil. Tesis de licenciatura. Escuela Politécnica de Madrid, Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, España.
- ✓ García, M. 2004. Panorama crítico para la industria textil y del vestido mexicana. *El Cotidiano*. Pp. 73-84. México, D.F., México.
- ✓ Haber, S. 1990. La economía mexicana, 1830-1940: obstáculos a la industrialización. Pp. 335-362. Revista de Historia Económica. California, EE. UU.
- ✓ IBC Solar, 2018. Datos Técnicos IBC MonoSol 320 VL5-HC, 325 VL5-HC. 325 VL5-HC. Publicación de IBC Solar. Bad Staffelstein, Alemania.
- ✓ IIE, 2011. Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México SIGER. Publicación del Instituto de Investigaciones Eléctricas. Cuernavaca, Morelos, México.
- ✓ INEGI, 2018. Sector Industria Textil, Sistema de Cuentas Nacional, Subsectores 313, 314 y 315 del SCIAN. Publicación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D.F., México.
- ✓ INIFED, 2015. Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones. Publicación del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa. México, D.F., México.
- ✓ ITC, 2008. Energías renovables y eficiencia energética. Publicación del Instituto Tecnológico de Canarias. Islas Canarias, España.
- ✓ Luxen Solar Energy, 2018. Datos Técnicos LuxPower 6^{inches}/72 cells, Mono STC, LNSF-350M. Publicación de Luxen Solar Energy. Suzhou, China.
- ✓ Maldonado-Pérez, V. 2005. Diseño de estrategias para utilizar un plan de exportación para micro y pequeñas empresas del sector textil. Tesis de Maestría. Escuela Superior de Comercio y Administración Santo Tomás, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F., México.

- ✓ Méndez, J., Cuervo, R. y Bureau, V. 2010. Energía solar fotovoltaica. FC Editorial. Pp. 12-36. Madrid, España.
- ✓ Mitsubishi Electric, 2012. Datos Técnicos Photovoltaics Modules MLE Series, PV-MLE265HD. Publicación de Mitsubishi Electric. Tokio, Japón.
- ✓ OMS, 2014. 7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica. Publicación de la Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza.
- ✓ Saldaña, I. 2018. Ajuste en la compensación fiscal pega a maquila. *El Universal*. 22-12-2018. México, D.F., México.
- ✓ SEMARNAT, 2013. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Publicación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México.
- ✓ SENER y GIZ, 2009. Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México. Publicación de la Secretaría de Energía, México – Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México. México, D.F., México.
- ✓ SENER y GIZ, 2012. Programa de Fomento de Sistemas Fotovoltaicos en México (ProSolar). Publicación de la Secretaría de Energía, México – Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México. México, D.F., México.
- ✓ SENER, 2018. Balance Nacional de Energía 2017. Publicación de la Secretaría de Energía. México, D.F., México.
- ✓ Sierra, C. 2003. Historia de México a la luz de los especialistas. Editorial Esfinge. Pp. 370-383. México, D.F., México.
- ✓ Simón, N. 2004. Competencia de las prendas de vestir mexicanas en el mercado de Estados Unidos. *Revista de Contaduría y Administración de la UNAM*. No. 213:1-32. México, D.F., México.
- ✓ Solís, A. 2018. Empresarios advierten aumento de 50% en tarifas eléctricas. *Forbes México; Economía y Finanzas*. 03-10-2018. México, D.F., México.
- ✓ SunPower, 2018. Datos Técnicos SunPower E-Series: E20-435-COM. Publicación de SunPower. California, EE. UU.
- ✓ SunPower, 2016. Datos Técnicos SunPower Performance Series 1 P17, SPR-P17-350-COM. Publicación de SunPower. California, EE. UU.
- ✓ UNAM, 2005. Energía Solar. Publicación del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México.
- ✓ UNIA, 2010. Introducción a los sistemas fotovoltaicos. Publicación de la Universidad Internacional de Andalucía. Andalucía, España.
- ✓ Vázquez, 2014. Diseño comparativo entre un sistema fotovoltaico autónomo, un eólico autónomo y un sistema híbrido para consumo eléctrico de una granja acuícola de la UNAM. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. México, CDMX.