



Tecnológico Nacional de México

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Tesis de Maestría

**Estudio de factibilidad de mercado, técnica y
económica para la construcción y puesta en
marcha de parques solares agrovoltaicos en
comunidades rurales en México.**

presentada por
Ing. Marcian Adriana Garcia Avila

como requisito para la obtención del grado de
Maestra en Ciencias de la Ingeniería

Directora de tesis
Mtra. Daniela Hernández Castañeda

Codirector de tesis
Dr. José Francisco Gómez Aguilar

Revisores de tesis
Dr. Gerardo Vicente Guerrero Ramírez
Mtra. Nayeli del Milagro Hernández Barba

Cuernavaca, Morelos, México. Febrero de 2025.



Educación
Secretaría de Educación Pública



CONACYT
CONACYT



Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Subdirección Académica

Cuernavaca, Mor., 20 febrero/2025

Oficio No. SAC/DE9/2025

Asunto: Autorización de impresión de tesis

MARCIAN ADRIANA GARCÍA AVILA
CANDIDATA AL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA
P R E S E N T E

Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de tesis titulado "Estudio de factibilidad de mercado, técnica y económica para la construcción y puesta en marcha de parques solares agrovoltaicos en comunidades rurales de México", se informó a esta Subdirección Académica, que están de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior, se le autoriza a que prosiga con la impresión definitiva de su trabajo de tesis.

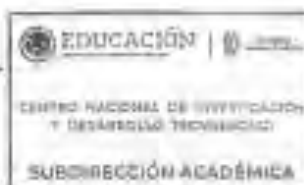
Esperando que el logro del mismo sea acorde con sus aspiraciones profesionales, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica
"Conociendo y Tecnológico al Servicio de México"



CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO



cc: Coordinación de Ingeniería
Departamento de Servicios Escolares

CMAZ/ez



2025
La Mujer
Indígena

Hecho conocido: Banco BM, 01/01/2025
C. P. 62000 Cuernavaca, México Tel. 55 77756777 Ext. 5100
e-mail: que_tecnologiceemos@conacyt.mx | www.conacyt.mx

cenidet





Educación
Secretaría de Educación Pública



CONACYT
CONACYT 2015



Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Coordinación de Centros de la Ingeniería

Cuernavaca, Mor., 10/Febrero/2025

OFICIO No. MCI/027/2025

Asunto: Aceptación de documento de tesis
CENIDET-AC-004-M14-OFCIO

DR. CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO
PRESENTE

Por este conducto, los integrantes de Comité Tutorial de la C. Marclan Adriana García Avila con número de control M23CE030, de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería, le informamos que hemos revisado el trabajo de tesis de grado titulado "Estudio de factibilidad de mercado, técnica y económica para la construcción y puesta en marcha de parques solares agrovoltaicos en comunidades rurales de México" y hemos encontrado que se han atendido todas las observaciones que se le indicaron, por lo que hemos acordado aceptar el documento de tesis y le solicitamos la autorización de impresión definitiva.

Mtra. Daniela Hernández Castañeda
Director de tesis

Dr. Gerardo Vicente Guerrero Ramírez
Revisor 1

Dr. José Francisco Gómez Aguilar
Codirector de tesis

M.C. Nayeli del Milagro Hernández Barba
Revisor 2

Cc: Dpto. Servicio Estudiantes
Expediente / Estudiante:
444P0002



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
C. P. 62490, Cuernavaca, Morelos Tel. 01 (777) 9627770 ext. 3200
correo: de.serviciotecnologico@cenidet.mx / cenidet@cenidet.mx

cenidet



Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación, principalmente, a mi hija: se desveló a mi lado en los procesos de avance; siempre fue mi impulso para culminar el proyecto. También dedico la investigación a mi novio: me calmó en momentos de estrés y motivó cuando lo necesité. Estuvo a mi lado en las visitas a campo y no me dejó rendir.

A mis padres les agradezco y dedico mi tesis: por el apoyo y paciencia otorgados. Sin ellos habría sido difícil el camino.

Agradecimientos

Al CONAHCyT: por el apoyo brindado a mi persona mediante la asignación de una beca de maestría.

A mi director de tesis, Dr. José Francisco Gómez Aguilar, quien fue guía en este proyecto. Confió en mí para redactar la tesis, me dio espacio para escribir en tiempo y forma; revisó mis avances, aportó información y corrigió mis artículos. Me enseñó a ser independiente, a dominar mi personalidad; fue mi inspiración y ejemplo a seguir.

A mi codirectora de tesis, Mtra. Daniela Hernández Castañeda, quien dirigió la investigación. Me escuchó, motivó y aconsejó cuando más lo necesité.

Al Dr. Gerardo Vicente Guerrero Ramírez y la Mtra. Nayeli del Milagro Hernández Barba, quienes me revisaron, corrigieron y aprobaron mis avances. Siempre estuvieron al pendiente de mi trayectoria.

Al Mtro. David Luviano Jiménez: con sus talleres dominé la escritura e investigación.

Resumen

El presente trabajo de investigación proporciona un estudio de factibilidad, técnica y económica, para poner en marcha parques solares agrovoltaicos en comunidades rurales en México. El objetivo consiste en generar un proyecto viable de autoconsumo que aproveche una superficie de terreno y las condiciones climáticas óptimas de calor para la instalación de parques agrovoltaicos, en conjunto con la ganadería, agricultura o apicultura, para aprovechar al máximo la superficie.

Con el propósito de reducir el impacto ambiental y minimizar las emisiones de gases producidas por los combustibles fósiles no renovables, las fuentes alternas de energía han tomado una gran presencia hoy en día y se han generado grandes conciencias en la sociedad mundial debido a las implicaciones que conllevan la dependencia actual de los hidrocarburos.

Entre las diferentes fuentes energéticas renovables se encuentran: la energía solar, eólica, geotérmica, hidráulica, entre otras. Por otro lado, el término agrovoltaico es una técnica que consiste en el uso de terreno tanto para producir energía fotovoltaica como para realizar actividades agrícolas y ganaderas gracias a la instalación de paneles solares. Este concepto de sostenibilidad ofrece un enfoque innovador que incluye terrenos de cultivo y paneles solares.

El beneficio de este sistema permite abastecer el autoconsumo de energía eléctrica, además de almacenar la energía sobrante y comercializarla con las personas que se encuentren con dificultades del suministro de energía eléctrica.

En la actualidad se siguen presentando problemas para abastecer el recurso energético a comunidades alejadas de la ciudad, por lo que, este proyecto se presenta como una solución alterna para satisfacer la demanda de energía eléctrica en comunidades rurales de México. Por ahora, este proyecto se pretende implementar en la comunidad de Morelos, posteriormente, sería replicado en otras comunidades de México que cuenten con las condiciones climáticas similares.

Palabras clave: parques agrovoltaicos, paneles solares, energía eléctrica.

Abstract

This research work will generate a market, technical and economic feasibility study for the construction and start-up of agrovoltaic solar parks in rural communities in México. Understanding that the objective of this study is to generate a viable self-consumption project that takes advantage of a surface area of land and the optimal climatic conditions of heat for the installation of agrovoltaic parks, working together with livestock, agriculture or beekeeping, to make the most of the surface.

With the aim of reducing the environmental impact and minimizing the impact of gas emissions produced by non-renewable fossil fuels, alternative energy sources have taken on a great presence today. Being one of the main concerns worldwide, and of which great awareness has been generated in society due to the implications of the current dependence on fossil fuels.

Among the different renewable energy sources are solar, wind, geothermal, hydraulic energy, among others. This energy transition towards clean energy generation sources also represents an opportunity to mitigate the effects of the environmental crisis present in agriculture, preserve biodiversity and promote new opportunities for active participation of both citizens and companies. On the other hand, the term agrovoltaics is defined as the use of land both to produce photovoltaic energy and to carry out agricultural and livestock activities thanks to the installation of solar panels. This concept of sustainability offers an innovative approach that allows a virtuous coexistence and interaction between solar energy generation and agricultural practices, in order to promote value chains between the territory and the local communities where the crop lands and crops are located solar panels.

In addition, by supplying your own electricity consumption, you can store the excess energy and sell it to neighbors who have difficulties in supplying electricity. Since currently it is still difficult to supply this energy resource to communities far from the city, this project would be an alternative solution to satisfy the demand for electrical energy in rural communities in Mexico. Although at the moment it is only expected to be implemented in the community of Morelos, hoping that it can later be replicated in other communities in Mexico, which have similar climatic conditions to launch the project.

Keywords: agrovoltaic parks, solar panels, electrical energy.

Índice

Oficio autorización de impresión.....	2
Oficio aceptación de documento de tesis.....	3
Dedicatoria	4
Agradecimientos	5
Resumen	6
Abstract	7
Lista de figuras	9
Introducción	11
Antecedentes.....	12
1.1 Estudio del estado del arte	14
Parques agrovoltaicos	15
Parques agrovoltaicos en México	16
Chinampas agrovoltaicas.....	16
Reciclaje de paneles solares	17
Paneles solares orgánicos.....	17
Cajas solares de almacenamiento de energía	18
Placas solares híbridas.....	18
Proveedores de paneles solares	19
1.2. Planteamiento del problema	20
1.3 Objetivo general.....	23
1.4 Objetivos específicos.....	23
1.5 Metas.....	24
1.6 Justificación	24
1.7 Hipótesis.....	25
1.8 Alcances	25
Capítulo 2. Marco Teórico.....	25
2.1 Selección de la zona/comunidad para evaluación del proyecto solar	25
2.2 Plan de sembrado de acuerdo a las similitudes del cultivo	30
2.3 Comparación de producción energética de paneles (Bifaciales y Monofaciales) para la comunidad seleccionada	31
Capítulo 3. Resultados.....	34
3.1 Dimensión en Watts del consumo de energía eléctrica de acuerdo a la demanda en la comunidad de Jonacatepec.	34
3.2. Plan de sembrado del cultivo.....	68

3.4. Modelo de negocio.	77
4. Conclusiones	79
Bibliografía.....	83
Anexos	87

Lista de figuras

Figura 1. Parque Agrovoltaiico UNAM	16
Figura 2. Diferentes tipos de clima en el estado de Morelos y ubicación de estaciones meteorológicas	21
Figura 3. Gráfica 1. Dinámica Poblacional estado de Morelos, México	21
Figura 4 Porcentaje de Localidades Urbanas y Rurales de Morelos.	22
Figura 5. Gráfica 2, Porcentajes de Viviendas Particulares.	23
Figura 6. Mapa de potencial de generación de energía eléctrica en el estado de Morelos.....	26
Figura 7. Mapa irradiación solar global Wh/m2 en Morelos.	27
Figura 8. Mapa de aptitud fotovoltaica en el estado de Morelos.	28
Figura 9. Mapa potencial de generación de energía eléctrica en el estado de Morelos.....	28
Figura 10. Mapa líneas de distribución de energía en el estado de Morelos.	29
Figura 11. Simulación en el Software PVsyst en paneles solares bifaciales monocristalinos para la comunidad de Jonacatepec durante un año	32
Figura 12. Simulación en el Software PVsyst en paneles solares monofaciales policristalinos para la comunidad de Jonacatepec durante un año	33
Figura 13. Horas de sol pico por día para la República Mexicana	35
Figura 14. Configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos, nivel de tensión 127 V.....	39
Figura 15. Configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos, nivel de tensión 220 V.....	44
Figura 16. Configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos, nivel de tensión 127 V.....	50
Figura 17. Configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos, nivel de tensión 220 V.....	54

Figura 18. Configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos, nivel de tensión 127 V.....	59
Figura 19. Resultado de la conversión de coordenadas de latitud a grado sexagesimal.....	62
Figura 20. Lienzo Canvas Proyecto de Tesis Estudio de Factibilidad de Mercado Técnico y Económico para la puesta en marcha de Parques Agrovoltáicos en Comunidades Rurales de México.....	79

Lista de tablas

Tabla 1. Lista. Comparación de proveedores de paneles solares	20
Tabla 2. Costos de energía eléctrica por bimestre	36
Tabla 3. Costos de energía eléctrica por bimestre.....	47
Tabla 4. Costos de energía eléctrica por bimestre.....	57
Tabla 5. Resumen del sistema para el caso de estudio 1.....	63
Tabla 6. Resumen del sistema para el caso de estudio 2.....	64
Tabla 7. Resumen del sistema para el caso de estudio 3.....	65
Tabla 8. Determinación de los costos para el caso de estudio 1 a 127 V.	66
Tabla 9. Determinación de los costos para el caso de estudio 1 a 220 V..	66
Tabla 10. Determinación de los costos para el caso de estudio 2 a 127 V.	67
Tabla 11. Determinación de los costos para el caso de estudio 2 a 220 V.	67
Tabla 12. Determinación de los costos para el caso de estudio 3	68
Tabla 13. Matriz de gastos e ingresos para el caso 1, este corresponde al nivel de tensión de 127 V.....	69
Tabla 14. Matriz de gastos e ingresos para el caso 1, este corresponde al nivel de tensión de 220 V.....	71
Tabla 15. Matriz de gastos e ingresos para el caso 2, este corresponde al nivel de tensión de 127 V.....	72
Tabla 16. Matriz de gastos e ingresos para el caso 2, este corresponde al nivel de tensión de 220 V.....	74
Tabla 17. Matriz de gastos e ingresos para el caso 3, este corresponde al nivel de tensión de 127 V.....	75
Tabla 18. Desglose de inversión inicial para cada caso de estudio.	77

Introducción

En la actualidad, la energía solar ha adquirido una relevancia creciente en el desarrollo de las comunidades, especialmente debido a los avances tecnológicos y la viabilidad de este recurso en los últimos años. Las comunidades rurales en México aún enfrentan un acceso limitado a energía eléctrica confiable y asequible, lo cual restringe su desarrollo económico y social, impactando negativamente la calidad de vida de sus habitantes. Este escenario se presenta como un factor clave para promover el desarrollo de sistemas que aprovechen este recurso natural, tanto en comunidades rurales como en centros urbanos, dado que la captación solar es viable en amplias regiones de nuestro país.

La importancia de este estudio radica en su contribución a la mejora de la calidad de vida de las comunidades rurales en México. Los parques solares agrovoltáticos ofrecerán a estas comunidades una fuente de energía limpia y sostenible, lo que favorecerá su salud, educación, productividad y desarrollo económico. En este contexto, se presenta una propuesta para el aprovechamiento de los parques solares agrovoltáticos como una alternativa viable para suministrar energía limpia y sostenible a las comunidades rurales. Estos parques combinan la producción de energía solar con la actividad agrícola, permitiendo un uso más eficiente del suelo y reduciendo el impacto ambiental.

En este trabajo se presenta una metodología para evaluar la factibilidad técnico-económica de una microred que utilice paneles solares en zonas con vulnerabilidad energética, combinando la agricultura. Este sistema será diseñado con miras a su posible implementación en una comunidad rural del estado de Morelos. Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad de implementar parques solares agrovoltáticos en esta comunidad y cómo el modelo desarrollado podría replicarse en otras comunidades de México.

Antecedentes

Los sistemas agrovoltáticos, también conocidos como agrivoltático o agrovoltático, son

sistemas que combinan la producción de energía solar con la agricultura. [2]. Estos se basan en la ideología de que los paneles solares pueden proporcionar sombra y protección a los cultivos, y con ello, mayor rendimiento y productividad. [3]. El origen de los sistemas agrovoltáicos se remonta a la década de 1980, cuando se realizaron los primeros estudios sobre los beneficios de los paneles solares en los cultivos. Estos estudios demostraron que los paneles solares pueden proporcionar beneficios significativos a los cultivos, como la reducción de la temperatura, la mejora de la humedad y defensa contra las plagas y enfermedades. [4].

El término “agrovoltáico” surgió en 1982 gracias a Adolf Goetzberger, fundador del *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE*. [5]. Esta institución ubicada en Alemania realiza investigación y desarrollo científico aplicadas a las ramas de la energía solar. Los científicos de este centro de investigación acuñaron el término “agrovoltáica” para describir el trabajo en conjunto de la agricultura, ganadería o apicultura, más el beneficio de la energía solar mediante celdas solares (paneles solares) y así aumentar el aprovechamiento de la tierra de cultivo. [6].

La rápida expansión de las energías renovables ha generado las perfectas condiciones para la investigación, desarrollo, difusión e innovación de las tecnologías agrovoltáicas; Montpellier es el primer precursor agrovoltáico registrado al Sur de Francia, [7].

En la década de 1990 se comenzaron a construir los primeros sistemas agrovoltáicos comerciales. Estos sistemas fueron inicialmente pequeños y experimentales, pero con el paso del tiempo han ido aumentando en tamaño y complejidad. En la actualidad los sistemas agrovoltáicos son una tecnología en auge. Se están construyendo sistemas agrovoltáicos de gran tamaño en todo el mundo, y se estima que esta tecnología siga desarrollándose en el futuro. [8].

La evolución de los sistemas agrovoltáicos se puede dividir en tres etapas principales: Primera etapa (1980-1990): Durante esta etapa se realizaron los primeros estudios sobre el beneficio de los paneles solares en los cultivos. Estos estudios demostraron que los paneles solares pueden proporcionar beneficios significativos a los cultivos, lo que llevó al desarrollo de los primeros sistemas agrovoltáicos comerciales.

Segunda etapa (1990-2010): Durante esta etapa se construyeron los primeros sistemas agrovoltáicos comerciales. Estos sistemas fueron inicialmente pequeños y experimentales, pero con el paso del tiempo han ido aumentando en tamaño y complejidad.

Tercera etapa (2010-presente): Durante esta etapa, los sistemas agrovoltaicos se han convertido en una tecnología en auge. Se están construyendo sistemas agrovoltaicos de gran tamaño en todo el mundo y se espera que esta tecnología siga desarrollándose en años futuros. [8].

Actualmente se realizan diversos estudios, experimentos y pruebas piloto en diferentes países y las conclusiones demuestran amplios beneficios ambientales, económicos y sociales de esta integración. Los sistemas agrovoltaicos pueden adoptar diferentes diseños, según el clima, tipo de cultivo, y las necesidades energéticas. Algunos ejemplos son los paneles solares elevados sobre los cultivos, los paneles solares móviles que siguen la trayectoria del Sol, o los paneles solares instalados en invernaderos o casas. [9].

La evolución de los sistemas agrovoltaicos depende de varios factores, como el desarrollo tecnológico, la regulación legal, el apoyo financiero y la aceptación social. Se espera que esta forma de producción sostenible se expanda en el futuro y así se logre la transición energética y mayor seguridad alimentaria.

1.1 Estudio del estado del arte

Cada vez es más constante la divulgación de informes y noticias relacionadas con la problemática del cambio climático; destaca la sobreexplotación de combustibles fósiles, lo cual, genera en el planeta gran reacción ante la enorme cantidad de contaminantes generados por las diferentes actividades humanas. Ante esto, se ha promovido la utilización de lo que se denominan energías renovables o limpias, definidas por la Organización de Naciones Unidas (ONU), como un tipo de energías que se derivan de fuentes naturales. Las características de las energías limpias son las siguientes: abundantes, se encuentran en cualquier lugar y su capacidad de reposición es más rápida (luz solar, viento, entre otras), además, pueden renovarse de manera continúa.

Actualmente existen distintas fuentes de energías renovables como la solar, eólica, la producida por la biomasa, el biogás, los biocombustibles y la geotérmica. A partir de ellas podemos obtener fuentes limpias y con menor cantidad de residuos secundarios contaminantes. La importancia del aprovechamiento de estos recursos consiste en buscar alternativas de contaminación derivadas de la refinación del petróleo, que si bien, gracias al petróleo se obtiene la gasolina, el diesel y algunos derivados, los desechos de este contaminan en gran medida, tanto el aire como las tierras de cultivo cercanas a estas refinerías, eso sin considerar las grandes cantidades de agua que se utiliza para estos procesos [10]. Por lo antes indicado, existen diversas formas de

utilizar al máximo la energía producida por los fenómenos naturales, por ejemplo, los molinos de viento que proveen energía eólica, el flujo de agua producida naturalmente por los ríos que permite generar energía que se utiliza para mover grandes maquinarias, o los paneles solares que captan los rayos del sol para generar electricidad. Estas energías tienen la ventaja de ser limpias, es decir, que no expulsan gases de efecto invernadero u otros contaminantes que cooperen al cambio climático, además, su costo suele ser muy inferior en comparación con las convencionales (combustibles fósiles o energía nuclear), asimismo, tienden a ser más seguras.

Parques agrovoltaicos

Los parques agrovoltaicos son un tipo de innovación que une la generación de electricidad solar y cultivos en un mismo terreno, con el objetivo de aprovechar al máximo la superficie del terreno. [11] Esta alternativa ya ha sido demostrada con fama en diseños piloto en diferentes países europeos. Si bien hay viabilidad de estos proyectos, también existe una gran oposición debido a la falta de conocimiento e incertidumbre al ser tecnologías nuevas, sobre todo de agricultores que no han sabido aprovechar los nuevos campos de cultivo, esto en parte responde a la incertidumbre y a la falta de implementación de un modelo de negocio que sea rentable. Sin tomar en cuenta los subproductos que se genera de la simple actividad agrícola tal como la biomasa y los cultivos [11]. En Europa y Estados Unidos este tipo de proyectos han sido implementados con éxito en diseños piloto, algunos ejemplos son los siguientes:

Fraunhofer Instituto para Sistemas de Energía Solar (ISE) – Alemania.

- Ubicación: Baden-Württemberg, Alemania. Desarrollan tecnologías más eficientes para la coexistencia de la producción agrícola y energética en una misma parcela de tierra.

Oregon State University - Estados Unidos.

- Ubicación: Oregón, Estados Unidos. Evalúan el rendimiento de distintas especies de plantas bajo condiciones de sombra parcial y generan modelos de eficiencia energética y agrícola.

Agrovoltaico Italia

- Ubicación: Varios lugares de Italia. Promueven la sustentabilidad y la efectividad en la utilización de tierras agrícolas y generan energía limpia.

En todas estas instalaciones, los sistemas agrovoltaicos ofrecen un enfoque prometedor para la utilización eficiente de la tierra y satisfacen tanto la demanda energética como la agrícola demostrando el potencial y la viabilidad de esta tecnología emergente.

Parques agrovoltaicos en México

En el contexto de la energía renovable y la producción agrícola en México, la colaboración entre el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (IER-UNAM) y la compañía Solarever representa un avance significativo en el ámbito de los sistemas agrovoltaicos [12]. La investigación principal radica en diseñar estructuras y paneles fotovoltaicos, las primeras permiten colocar los paneles y con ello dosificar la radiación solar que reciben los cultivos ubicados debajo de la estructura mediante un sistema agrovoltaico especializado y en cuanto a los paneles, elegir la mejor tecnología y diseños disponibles para aprovechar al máximo el recurso solar. La Figura 1 muestra una imagen del proyecto agrovoltaico de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) ubicado en Topilejo CDMX, estos sistemas que desarrolla pueden ser replicados en distintas regiones de México.



Figura 1. Parque Agrovoltaico UNAM. Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal, CEPIPSA, Topilejo, Tlalpan, CDMX.

Chinampas agrovoltaicas

La agroecología es un sistema sostenible de producción de alimentos basado en la agricultura que integra la biología, ecología, sociología, economía y el activismo. Es una disciplina científica y un conjunto de prácticas agrícolas, que considera las áreas agrícolas, ya sean pequeñas o grandes, como los ecosistemas. Combina la agricultura indígena y tradicional con investigación científica multidisciplinaria y las nuevas tecnologías. Bajo este concepto surgen las denominadas “chinampas agrovoltaicas”,

que son una propuesta innovadora que combina el antiguo y eficiente sistema de cultivo de los mexicas con la generación de energía solar [13]. Las chinampas agrovoltaicas son sistemas que integran el cultivo de plantas con la instalación de paneles solares que captan la radiación solar y generan electricidad. Este sistema tiene la capacidad de aumentar la productividad agrícola, purificar agua, reducir el estrés hídrico y mitigar las dispersiones de vapores de efecto invernadero. Al unir las chinampas con los sistemas agrovoltaicos se logra un modelo de agricultura sostenible, resiliente y rentable, el cual respeta la tradición y la cultura de los pueblos originarios, al mismo tiempo que aprovecha la tecnología y la innovación para generar energía limpia y segura [14].

Reciclaje de paneles solares

Otra forma de desechar los paneles solares es incinerarlos. Sin embargo, esto puede liberar gases tóxicos, como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, a la atmósfera. [15]. Por lo que el reciclaje de paneles solares es la forma más sostenible de deshacerse de estos productos electrónicos.

El reciclaje de paneles solares puede ayudar a recuperar los materiales valiosos, como el silicio, el aluminio y el vidrio, que se pueden reutilizar para fabricar nuevos paneles solares y se lleva a cabo en varias etapas descritas brevemente por Sheffi [15]:

- Los paneles solares se retiran de los tejados o de otras instalaciones donde se encuentran instalados.
- Los paneles solares se trituran en trozos pequeños.
- Los materiales se separan de acuerdo con su tipo.
- Los materiales se limpian y se preparan para su reutilización.
- Los materiales que se pueden recuperar del reciclaje de paneles solares.

Paneles solares orgánicos

Los paneles solares orgánicos, también conocidos como OPV, son un tipo de panel solar que utiliza materiales orgánicos, como polímeros o moléculas orgánicas, para generar electricidad. Los materiales orgánicos son más baratos y fáciles de fabricar que los materiales inorgánicos, como el silicio, que se utilizan en los paneles solares tradicionales. Los paneles solares orgánicos están formados por una capa de material orgánico que se encuentra entre dos electrodos. Como la luz solar incide en el material orgánico, los electrones se excitan y se mueven a través de la capa orgánica para crear una corriente eléctrica. [19-20].

Los paneles solares orgánicos son una innovación naciente que utiliza materiales orgánicos como el plástico o el grafeno para transformar la luz solar en electricidad. Estos paneles tienen varias ventajas sobre los paneles solares convencionales, como su menor costo, mayor flexibilidad, menor impacto ambiental y su capacidad de adaptarse a diferentes condiciones de iluminación. Sin embargo, también presentan algunos desafíos, como su menor eficiencia, menor durabilidad y mayor sensibilidad a la humedad y la temperatura. [21].

Cajas solares de almacenamiento de energía

Las cajas solares de almacenamiento de energía son unidades de acumulación de energía que utilizan los paneles solares para generar electricidad. La energía solar se reserva en baterías, que luego se pueden utilizar para alimentar cargas durante la noche o cuando la energía solar no está disponible.

Las cajas solares de almacenamiento de energía se utilizan en una diversidad de aplicaciones, incluidas las señaladas por [22].:

- Casas unifamiliares: Las cajas solares de almacenamiento de energía pueden proporcionar energía de respaldo para hogares unifamiliares, lo que les permite mantenerse conectados a la red eléctrica en caso de un apagón.
- Negocios: Las cajas solares de almacenamiento de energía pueden colaborar con las empresas a reducir sus costos de energía y mejorar su fiabilidad.
- Instalaciones industriales: Las cajas solares de almacenamiento de energía pueden ayudar a las instalaciones industriales a reducir su huella de carbono y mejorar su eficiencia energética.

Placas solares híbridas

Las placas solares híbridas son un tipo de panel solar que combina dos tecnologías diferentes para generar electricidad. Una tecnología es la tecnología solar fotovoltaica, que utiliza la luz solar para crear electricidad directamente. La otra tecnología es la tecnología solar térmica, que necesita la luz solar para calentar un fluido, que luego se utiliza para generar electricidad. [23]

Hay dos tipos principales de placas solares híbridas: [24]

1. Placas solares fotovoltaicas-térmicas: Estas placas combinan células solares fotovoltaicas con tubos o canales de recolección de calor. La luz solar que no es absorbida por las células solares calienta el fluido en los tubos o canales, que luego se utiliza para crear electricidad o para calentar agua.
2. Placas solares fotovoltaicas-concentradoras: Estas placas combinan células solares fotovoltaicas con espejos o lentes para concentrar la luz solar. La luz solar concentrada calienta un fluido, que luego se utiliza para crear electricidad o para calentar agua.

Las placas solares híbridas ofrecen una serie de ventajas sobre las placas solares fotovoltaicas habituales, incluidas:

- Eficiencia mejorada: Las placas solares híbridas pueden generar más electricidad que las placas solares fotovoltaicas tradicionales, ya que combinan dos tecnologías diferentes para generar electricidad.
- Flexibilidad: Pueden utilizarse para generar electricidad o para calentar agua, lo que las hace más flexibles que las placas solares fotovoltaicas tradicionales.
- Reducción de costos: Pueden ser más rentables que las placas solares fotovoltaicas comunes, ya que pueden generar más electricidad o proporcionar calor.

Sin embargo, las placas solares híbridas también tienen algunas desventajas, incluidas [25]:

- Son más caras que las placas solares fotovoltaicas tradicionales.
- Son más complejas que las placas solares fotovoltaicas habituales, lo que puede dificultar su instalación y mantenimiento.

En general, las placas solares híbridas son una tecnología prometedora que tiene el potencial de ofrecer una serie de ventajas sobre las placas solares fotovoltaicas tradicionales. [26]. De manera que, si la tecnología sigue desarrollándose, es probable que las placas solares híbridas se vuelvan más asequibles y fáciles de instalar, lo que podría conducir a una mayor adopción de esta tecnología. [27].

Proveedores de paneles solares

Con el propósito de recopilar fichas técnicas y tipos de paneles solares en el mercado, se visitó la Expo Ahorro Energético y Sustentable de Morelos, donde se encontraron diferentes proveedores. Gracias a esta visita se obtuvo una tabla de comparación de

los distintos paneles en el mercado, con el objetivo de elegir la mejor opción para el proyecto. [28]. En la Tabla 1 se consideró precio, voltaje máximo en *Watts* que manejan, y tipo de panel (bifacial-monofacial-policristalino-monocristalino). [29].

Proveedor	Voltaje (Watts)	tipo de panel	precio por unidad
Alcione	580	monocristalino-bifacial	\$ 9,000
MAUMAR	660	monocristalino-bifacial	\$ 8,300.
Mirage	630	monocristalino-bifacial	\$ 3,100.
NISA	550	policristalino-bifacial	\$ 3,900
IUSA (PV-11-350)	350	monocristalino-bifacial	\$2,851

Tabla 1. Comparación de proveedores de paneles solares [29].

1.2. Planteamiento del problema

El aumento en la quema de combustibles fósiles no renovables debido a las actividades humanas ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente. Como resultado, sectores primarios como la agricultura, la ganadería, la pesca y la caza se han visto afectados. Por otro lado, las actividades secundarias, especialmente aquellas relacionadas con la minería, manufactura, construcción y electricidad, también han sufrido consecuencias. En la actualidad, dependemos en gran medida del consumo eléctrico, lo que genera emisiones de CO₂ y otros gases que se liberan a la atmósfera, causando daños irreversibles al entorno. Para mitigar este impacto, es fundamental transitar hacia fuentes de energía eléctrica renovables y respetuosas con el medio ambiente.

En la actualidad, los paneles solares se utilizan en diversas actividades, pero rara vez los encontramos integrados con otros sistemas, especialmente en la agricultura y la ganadería. Esto se debe a que la combinación de diferentes sistemas basados en energía solar no es común. Por esta razón, el presente proyecto tiene como objetivo realizar un estudio de factibilidad técnica y económica, con el fin de evaluar la rentabilidad y viabilidad de los parques agrovoltaicos en el estado de Morelos.

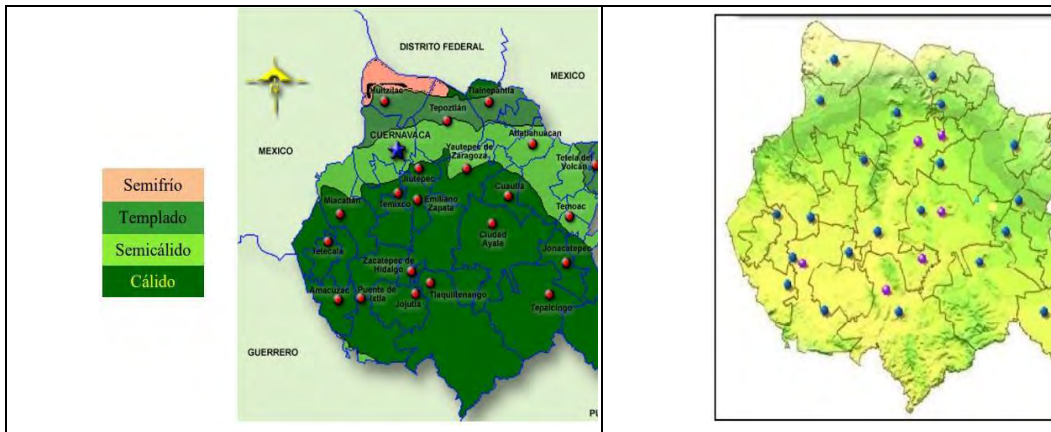


Figura 2. Diferentes tipos de clima en el estado de Morelos y ubicación de estaciones meteorológicas. [30]

Como se observa en la Figura 2, una gran parte del territorio del estado de Morelos presenta un clima cálido, lo que hace viable la instalación de sistemas de transformación de energía solar. Por esta razón, se ha fomentado la investigación en sus estaciones meteorológicas, equipándolas con dispositivos para medir variables como “temperatura, radiación solar, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, así como precipitación pluvial”. [30].

En total se contabilizan 29 estaciones meteorológicas que pueden ubicarse en la Figura 2, por lo que se cuenta con el recurso tecnológico para generar información suficiente para la elaboración de proyectos de energía fotovoltaica, pero también es importante tomar en cuenta que Morelos tiene una curva de crecimiento poblacional considerable tal como se muestra en la Figura 3, gráfica 1.

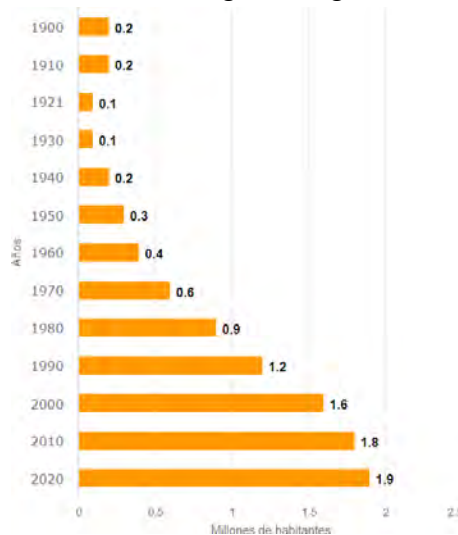


Figura 3. Gráfica 1. Dinámica Poblacional estado de Morelos, México. [31]

En cuanto a la densidad poblacional, el estado de Morelos ocupa el tercer lugar a nivel

nacional, lo que resalta la importancia de considerar proyectos enfocados en la generación de energía. Estos proyectos serán fundamentales para garantizar el mantenimiento de la calidad de vida de sus habitantes.

Contar con un sistema de generación de energía confiable ofrece una fuente de energía de bajo costo y sin impacto negativo en el medio ambiente. Este estudio analizará la viabilidad de instalar parques agrovoltaicos solares como una alternativa para suministrar energía limpia a comunidades alejadas. Además, permitirá compensar la disminución en la productividad de ciertos productos agrícolas mediante los ingresos generados por la energía fotovoltaica.

En el estado de Morelos, existen 1,473 localidades rurales y 105 urbanas [32], con una densidad poblacional de 404 personas por kilómetro cuadrado. El 99.5% de los habitantes tiene acceso a energía eléctrica, distribuidos conforme a lo que se muestra en la Figura 4.



Figura 4 Porcentaje de Localidades Urbanas y Rurales de Morelos. [32]

Sin embargo, Morelos contribuye apenas con el 1.1% del PIB nacional, lo que resalta la necesidad de implementar proyectos que impulsen su economía. Desde la perspectiva del consumo, el 43.2% de las viviendas particulares habitadas que cuentan con energía eléctrica utilizan entre uno y cinco focos. [32].

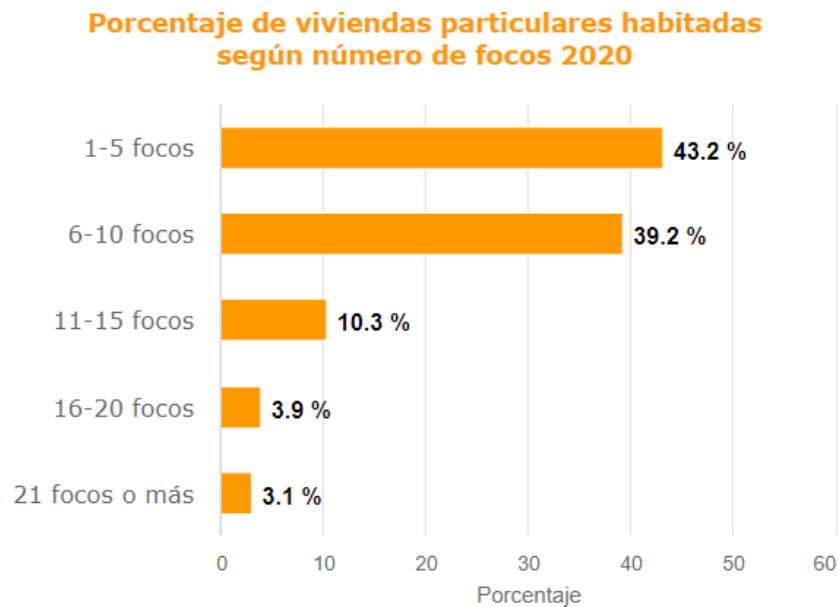


Figura 5. Gráfica 2, Porcentajes de Viviendas Particulares. [33]

En la Figura 5, Gráfica 2, se observa que el consumo de energía es generalmente bajo. Esto se debe a que, dado el limitado PIB contributivo de la población, se ve en la necesidad de maximizar el ahorro energético.

Este proyecto forma parte del Programa Nacional Estratégico de Energía y Cambio Climático, con el objetivo de impactar en la generación de energía confiable y no contaminante. El estudio técnico y económico realizado podría aplicarse en otras zonas del país donde la construcción de parques agrovoltaicos sea viable, permitiendo la integración sinérgica de la producción de energía fotovoltaica con los cultivos agrícolas. Estos parques podrían beneficiar a las personas que habitan en comunidades aisladas, brindándoles la posibilidad de generar microelectricidad limpia y asequible.

1.3 Objetivo general

Diseño de una metodología que permita la evaluación del desempeño de generación eléctrica para un sistema agrovoltaico con paneles solares aplicado en comunidades rurales del estado de Morelos.

1.4 Objetivos específicos

- Identificar zonas aisladas de las grandes redes eléctricas donde este tipo de proyectos pudiera ser factible en el estado de Morelos.
- Seleccionar una zona/comunidad para evaluación del proyecto solar.
- Proponer un plan de sembrado de acuerdo a los componentes de interés de los suelos (uso agrícola) en la ubicación seleccionada y representarlos por medio de superficies agrícolas representativas.
- Realizar una comparación entre la producción energética de paneles (bifaciales y monofaciales) mediante herramientas de simulación, para la zona seleccionada.
- Dimensionar en Watts la generación del sistema de acuerdo con las necesidades y/o exigencias para asegurar suficiencia y factibilidad.
- Obtener el análisis de factibilidad del proyecto.

1.5 Metas

- Realizar un estudio de factibilidad técnica que involucre el diseño de parques agrovoltaicos interactuando con terrenos agrícolas y/o ganaderos.
- Realizar simulaciones de balance energético considerando la suficiencia de la comunidad elegida en base a sus recursos solares y su interacción con terrenos agrícolas y/o ganaderos .
- Realizar la evaluación económica del sistema propuesto.

1.6 Justificación

La sociedad evoluciona en función de su entorno y las nuevas invenciones, adaptándose constantemente a las tecnologías emergentes. Los ámbitos económico, político, cultural y ambiental están interconectados y dependen unos de otros. Las características de la sociedad varían según el tiempo (siglo, año, temporada) en que nos encontremos, y esta evolución es continua. Como resultado, las actividades primarias, como la agricultura, ganadería, pesca y caza, se ven afectadas por estos cambios. De manera similar, las actividades secundarias, que abarcan sectores como la minería, manufacturas, construcción y electricidad, también experimentan impactos derivados de la transformación social y tecnológica.

Por lo tanto, está en nuestras manos adaptarnos o no a las nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable. Debemos promover este hábito no como una moda, sino como un medio de salvación para el planeta. Actualmente, dependemos en gran medida del consumo eléctrico, lo cual genera grandes emisiones de CO₂, gases que

se liberan a la atmósfera y contribuyen al calentamiento global. Para revertir esta situación, es necesario migrar hacia alternativas de energía eléctrica renovable y amigables con el medio ambiente. En la actualidad, los paneles solares se utilizan en diversas actividades e industrias; sin embargo, rara vez se combinan con otros sistemas, especialmente en la agricultura. La integración de la energía solar con otros sectores no es común, lo que hace que este proyecto sea relevante. Su propósito es evaluar la factibilidad técnica y económica para buscar la rentabilidad y viabilidad de implementar parques agrovoltaicos en el estado de Morelos.

1.7 Hipótesis

Con la implementación de parques agrovoltaicos en el estado de Morelos se logrará generar energía eléctrica de autoconsumo, la cual combinará las explotaciones agrícolas optimizando la superficie de los terrenos y aportando un doble beneficio económico a los propietarios.

1.8 Alcances

- Evaluar la factibilidad técnico-económica de instalar una microrred alimentada por paneles solares para zonas vulnerables energéticamente.
- Realizar simulaciones de balance energético considerando la suficiencia de la comunidad elegida con base en criterios de recurso solar y consumos mínimos de energía y con el uso de paneles solares.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Selección de la zona/comunidad para evaluación del proyecto solar

Un aspecto importante a considerar en la evaluación de proyectos de paneles solares es la selección de zonas adecuadas para su instalación. Una de las variables que incide en el rendimiento de los paneles solares es el tiempo promedio del verano, el cual determina la cantidad de radiación solar disponible para generar electricidad. En este sentido, el estado de Morelos presenta un clima favorable para el aprovechamiento de la energía solar, ya que tiene una temperatura promedio en el verano de 28.6°C y una insolación media anual de 5.4 kWh/m² al día [33]. Por lo tanto, el estado de Morelos es una buena opción para instalar proyectos de parques agrovoltaicos, para ello debemos considerar el tiempo promedio de verano como

criterio principal, la disponibilidad de terreno, la demanda eléctrica, el costo de instalación (el estado de Morelos aún presenta zonas aisladas de las grandes redes eléctricas), el potencial de generación de energía, irradiación solar global Wh/m^2 al día, subestaciones eléctricas, aptitud fotovoltaica, líneas de distribución de energía, y la agricultura de riego.

Según datos de la Secretaria de Desarrollo Sustentable de Morelos (SDSM), las comunidades del estado de Morelos con mayor potencial de generación de energía fotovoltaica son Puente de Ixtla, Jojutla, Xochitepec y Jonacatepec de Leandro Valle. La Figura 6 muestra el mapa de generación de energía eléctrica en el estado de Morelos (mapa proporcionado por la SDSM) [33].

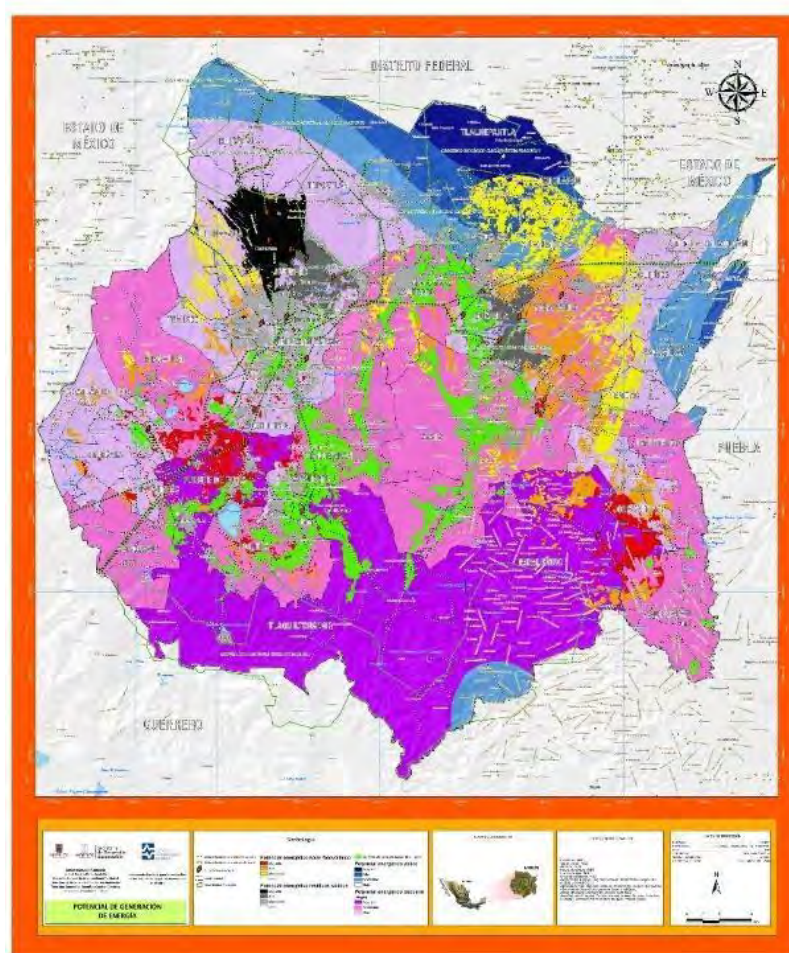


Figura 6. Mapa de potencial de generación de energía eléctrica en el estado de Morelos.

De acuerdo a datos presentados por la SDSM, las comunidades del estado de Morelos con mayor irradiación solar global Wh/m^2 son Puente de Ixtla, Jojutla, Mazatepec y Jonacatepec. La Figura 7 muestra el mapa de irradiación solar global en el estado de Morelos (mapa proporcionado por la SDSM) [33].

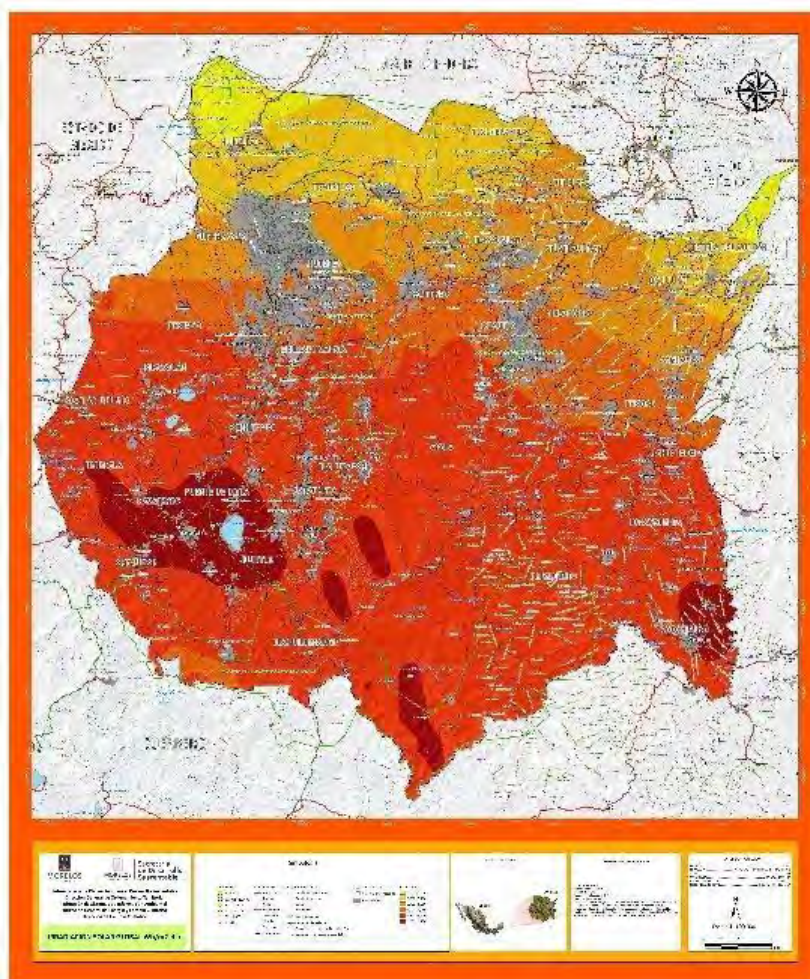


Figura 7. Mapa irradiación solar global Wh/m2 en Morelos.

De acuerdo a datos presentados por la SDSM, las comunidades del estado de Morelos con mayor aptitud fotovoltaica, son Puente de Ixtla, Jojutla, Xochitepec y Jonacatepec de Leandro Valle. La Figura 8 muestra el mapa de aptitud fotovoltaica en el estado de Morelos (mapa proporcionado por la SDSM) [33].

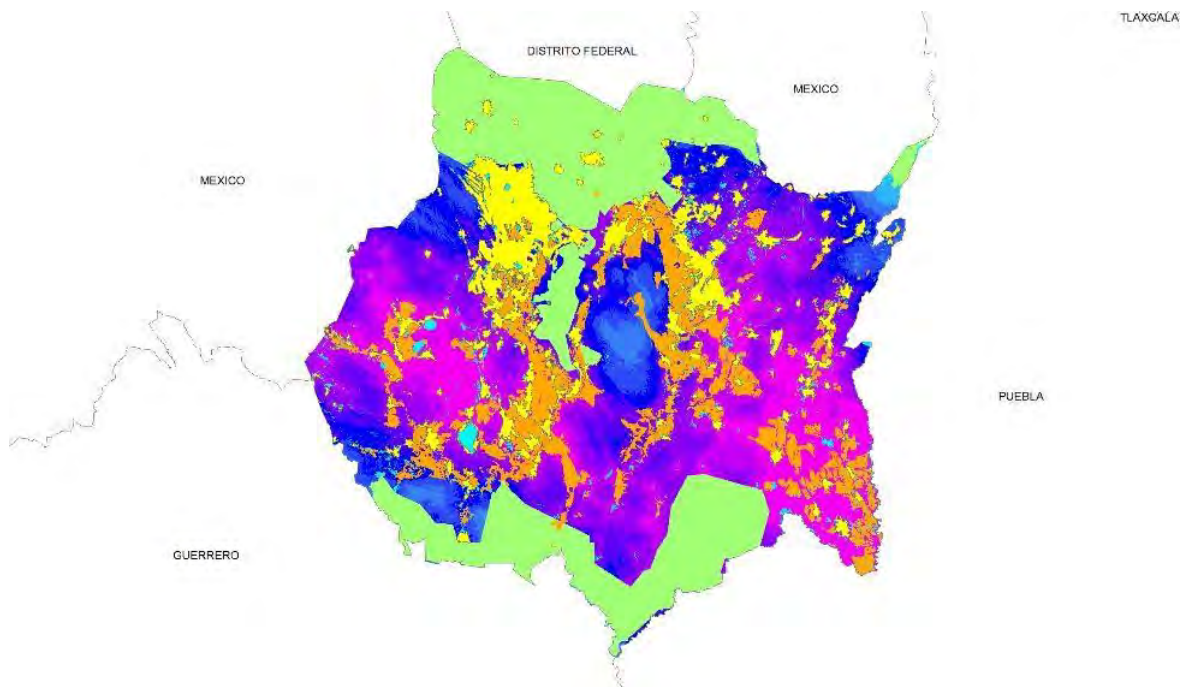


Figura 8. Mapa de aptitud fotovoltaica en el estado de Morelos.

Según lo informado por la SDSM, las comunidades del estado de Morelos con el menor número de subestaciones eléctricas instaladas son Puente de Ixtla, Jonacatepec de Leandro Valle, Tepalcingo y Tlalquitenango. La Figura 9 muestra el mapa de instalación de las subestaciones eléctricas instaladas en el estado de Morelos [33].

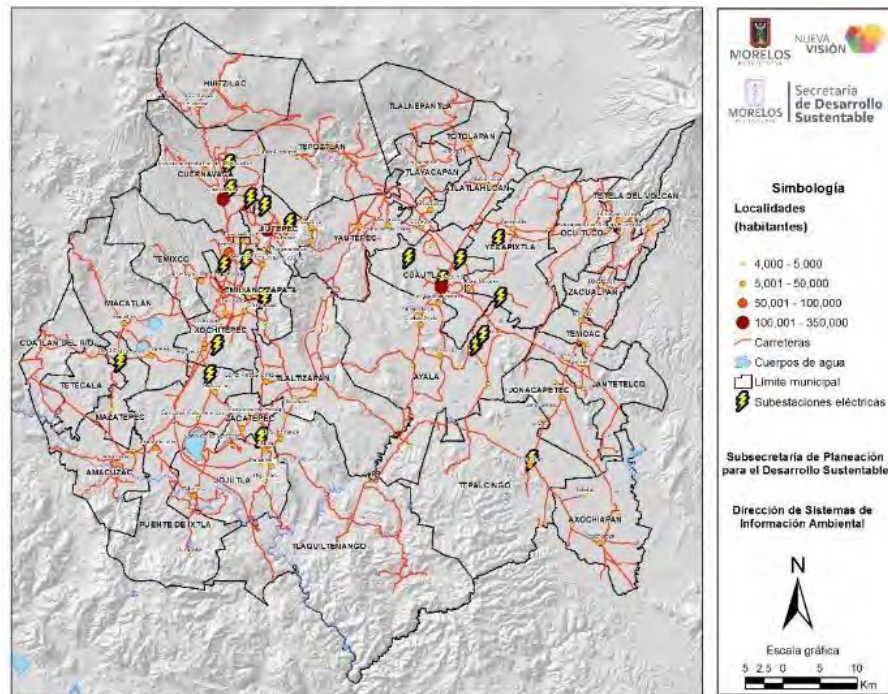


Figura 9. Mapa potencial de generación de energía eléctrica en el estado de Morelos.

Finalmente, de acuerdo a datos presentados por la SDSM, las comunidades del estado de Morelos con el menor número de líneas de distribución de energía eléctrica instaladas son Zacatepec de Hidalgo, Jojutla, Jonacatepec de Leandro Valle, Tepalcingo y Ayala. La Figura 10 muestra el mapa de líneas de distribución de energía en el estado de Morelos [33].

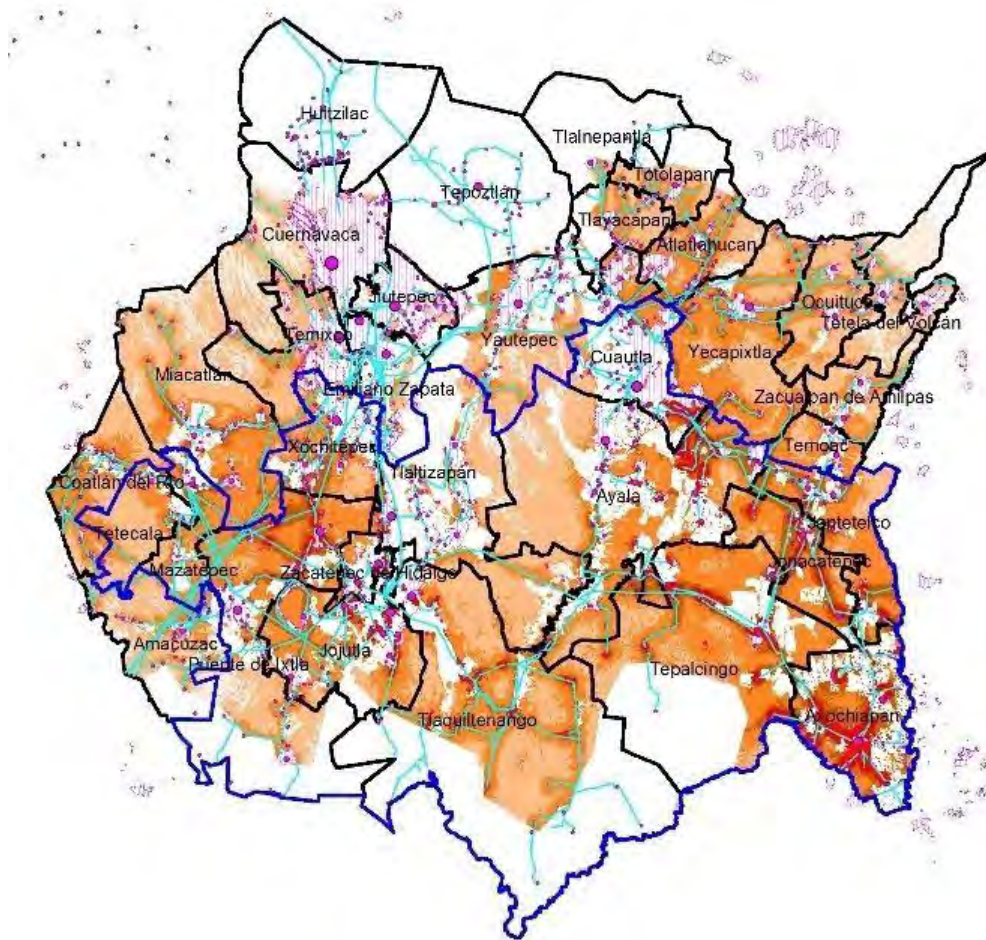


Figura 10. Mapa líneas de distribución de energía en el estado de Morelos.

Con base en la información reportada por la SDSM, la comunidad más coincidente en cuanto a un alto potencial de generación eléctrica, con elevada irradiación solar y aptitud fotovoltaica, y con menor número de subestaciones eléctricas y líneas de distribución de energía instaladas es la comunidad de **Jonacatepec de Leandro Valle**. Esta comunidad cuenta con disponibilidad de terreno y agricultura de riego para instalar sistemas agrovoltaicos, además, en el lado este del estado de Morelos se ubica el parque fotovoltaico de Xoxocotla, por lo que, la comunidad de Jonacatepec de Leandro Valle, al encontrarse al este con las mismas condiciones climatológicas y geográficas del parque de Xoxocotla es muy factible para la instalación de este tipo de parques. [34].

2.2 Plan de sembrado de acuerdo a las similitudes del cultivo

Un plan de siembra es un dibujo a escala que detalla los cultivos que se plantarán, cuándo se plantarán, cómo se plantarán y cómo se cuidarán. Es una herramienta importante para los agricultores, ya que les ayuda a planificar y organizar su producción. Cuando se crea un plan de siembra es importante tener en cuenta las similitudes de los cultivos, ya que los cultivos similares tienen necesidades similares en términos de clima, suelo, agua y nutrientes. Al agrupar los cultivos similares, los agricultores pueden optimizar sus recursos y maximizar su rendimiento. Algunos ejemplos de cómo las similitudes de los cultivos se pueden utilizar para crear un plan de siembra eficiente son los siguientes: [35]

- a) Los cultivos que requieren las mismas condiciones climáticas se pueden plantar juntos. Por ejemplo, los cultivos de clima cálido como el maíz y el frijol se pueden plantar juntos en el mismo campo. En las comunidades o localidades seleccionadas esto dependerá del lugar donde se implemente el proyecto, ya que cada territorio cuenta con sus propios cultivos nativos.
- b) Cultivos con necesidad de los mismos nutrientes.
- c) Cultivos receptores a las mismas plagas y enfermedades, ya que se pueden plantar juntos para que se puedan tratar con el mismo insecticida o fungicida.

A continuación, se agrega una propuesta de plan de sembrado para un parque agrovoltaico (sin considerar en tamaño del proyecto o superficie). Esta propuesta se considera para la estación de primavera que inicia el 21 de marzo y finaliza el 20 de junio. La tabla se marca con colores y en orden alfabético. Para cada estación del año se pueden proponer planes similares, lo cual facilita la elección de cultivos.

A	Lechuga romana
B	Menta
C	Jicama
D	Zanahoria

A	B
C	D

Al considerar las similitudes de los cultivos, los agricultores pueden crear planes de siembra que sean más eficientes y efectivos. La metodología que se sugiere para crear un plan de siembra eficiente es la siguiente:

- a) Elaborar un calendario de siembra.
- b) Considerar las condiciones climáticas de su región. Algunos cultivos solo pueden cultivarse en climas específicos.
- c) Investigar las necesidades de cada cultivo.
- d) Hacer ajustes según sea necesario. Las condiciones climáticas y las condiciones del suelo pueden variar de un año a otro.
- e) Ser flexible con el plan de sembrado.
- f) Seleccionar la especie que se pretende cultivar de acuerdo a la temporada.
- g) Sembrar el o los cultivos de acuerdo a sus similitudes de requerimientos de agua y nutrientes.

2.3 Comparación de producción energética de paneles (Bifaciales y Monofaciales) para la comunidad seleccionada

Para la comparación energética, se utilizó el Software PVsyst con el fin de realizar una comparación de producción energética, este software facilita la medición de la radiación solar que recibiría una zona geográfica de acuerdo a su ubicación. Se fundamenta en la base de datos meteorológica de la NASA, además, considera la proyección de sombras y la simulación del movimiento del sol durante el día y estaciones del año [36]. Utilizando este software se obtuvieron los siguientes resultados. La Figura 11 muestra la simulación considerando paneles solares bifaciales monocristalinos.



PVsyst V7.4.5

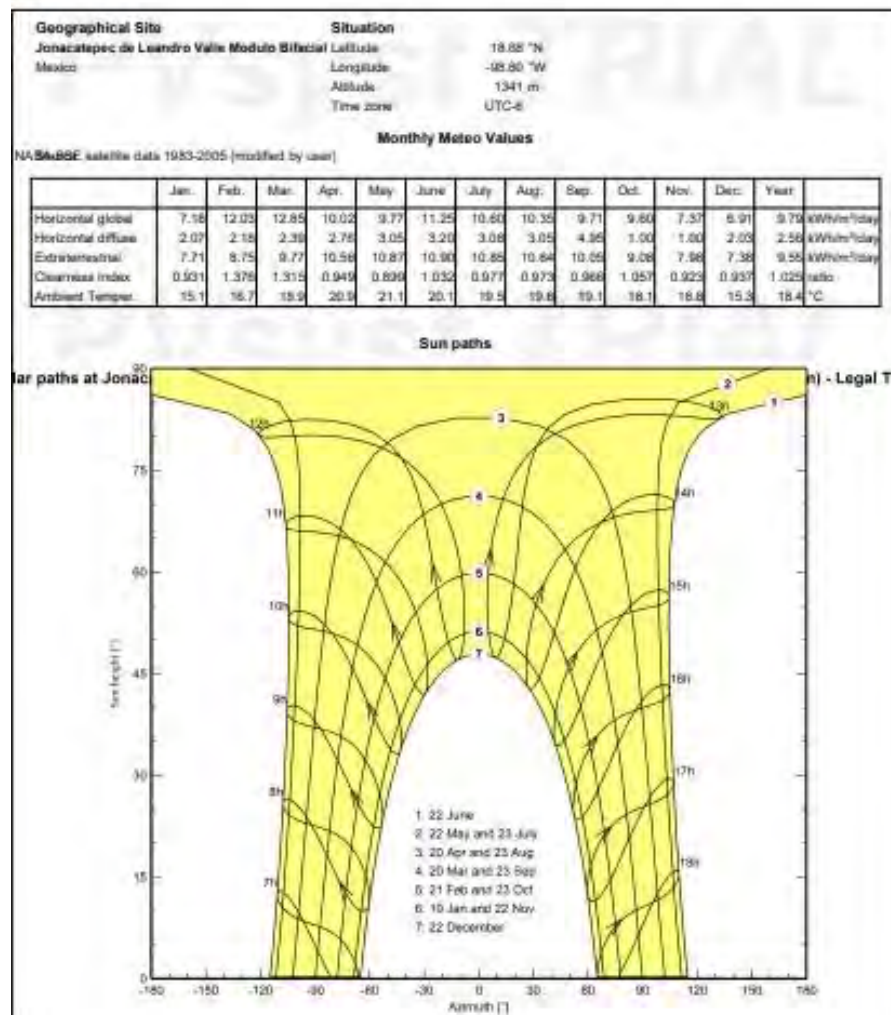


Figura 11. Simulación en el Software PVsyst en paneles solares bifaciales monocristalinos para la comunidad de Jonacatepec durante un año [36].

La Figura 12 muestra la simulación considerando paneles solares monofaciales policristalinos.



PVsyst V7.4.5

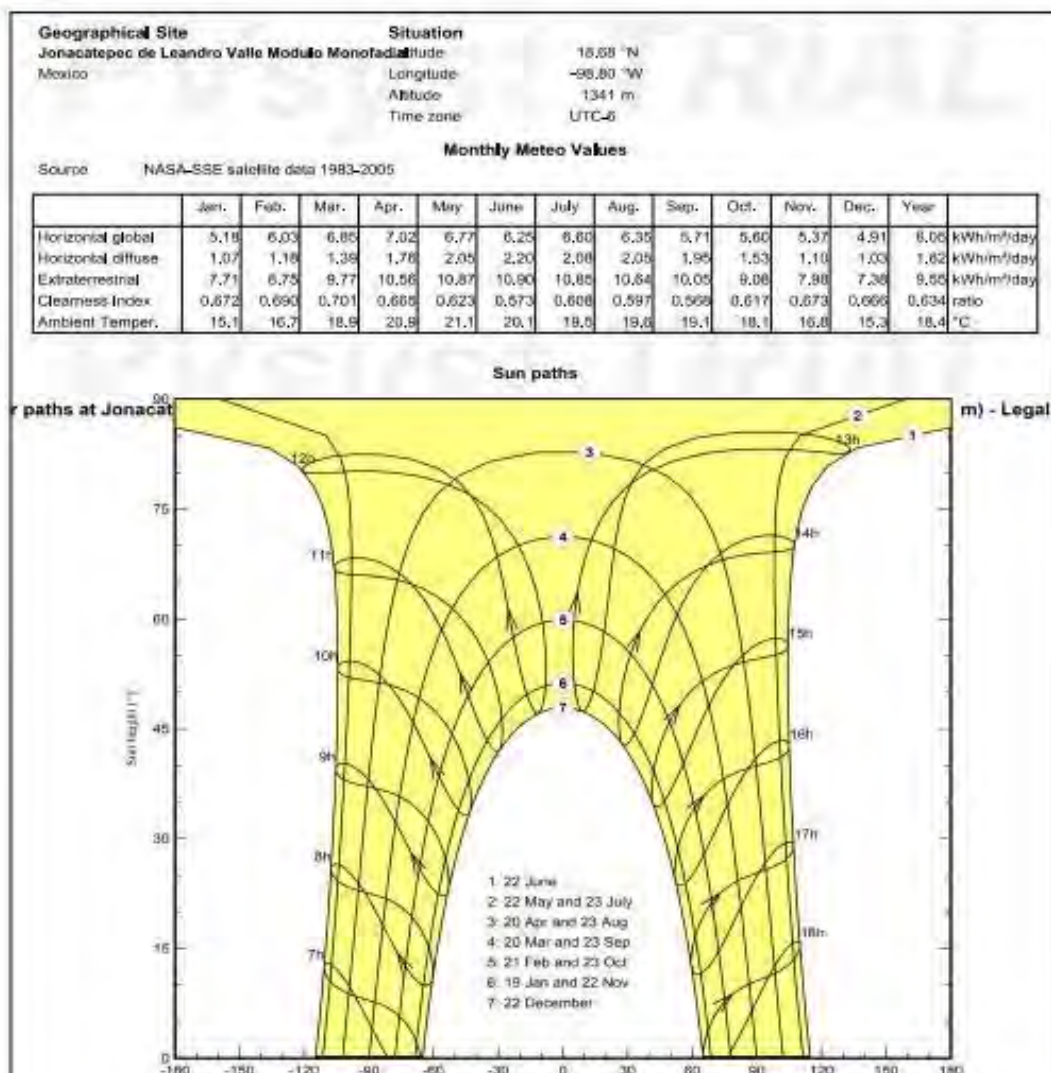


Figura 12. Simulación en el Software PVsyst en paneles solares monofaciales policristalinos para la comunidad de Jonacatepec durante un año [36].

Con base a estos resultados, para el proyecto se eligieron paneles solares **bifaciales monocristalinos**. [37]. Debido al alto factor de captación de energía solar demostrada en el simulador (9.79 kWh/m^2 al día), en comparación con los paneles monofaciales (6.05 kWh/m^2 al día). Además, tienen una garantía de hasta 30 años de vida útil y sus dos caras permiten absorber energía por ambos lados generando una mayor producción de energía por metro cuadrado (hasta un 30% más), y se pueden configurar en cualquier ángulo, considerando el albedo. [38].

Capítulo 3. Resultados

3.1 Dimensión en Watts del consumo de energía eléctrica de acuerdo a la demanda en la comunidad de Jonacatepec.

Se consideraron los siguientes conceptos como punto de partida para el dimensionamiento del proyecto.

- **Radiación solar:** Existen tres modelos de radiación, sin embargo, la radiación directa es la que provee energía sin cambios al ingresar a la superficie [39].
- **Irradiación:** Es la concentración de energía solar captada en un rango de tiempo en Wh/m^2 .
- **Irradiancia:** Densidad de potencia captada, medida en W/m^2 .
- **Hora solar pico:** Es el valor numérico de horas en que se dispone de una irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 sobre los módulos solares fotovoltaicos [39].
- **Sistemas fotovoltaicos conectados a la red:** Son sistemas que se conectan a la red sin utilizar un sistema de acumulación de baterías, lo que permite la interacción con la red de energía eléctrica convencional, además, pueden contribuir con los excesos generados a la red [40].
- **Inversores:** Para inyectar corriente alterna a la red eléctrica se requiere del uso de inversores u onduladores [40].
- **Orientación de los paneles fotovoltaicos:** La estimación de irradiación que incide y recibe un módulo fotovoltaico dependerá de la inclinación que mantenga el panel fotovoltaico y, por lo tanto, del ángulo de incidencia θ entre la superficie del módulo y el haz de radiación solar [41].
- **Paneles solares:** Estos dispositivos se encargan de transformar la energía solar en energía eléctrica convencional. Su fabricación consta de células fotovoltaicas que generan corriente continua (CC) a partir de la luz solar que incide sobre ellas mediante el proceso fotoeléctrico [42-43].
- **Interruptor termoelectrónico:** Dispositivo de protección en sobrecorriente.

Como caso de estudio se proponen tres casos prácticos y se consideraron también tres opciones elegibles de cultivo para cada uno, con el propósito de satisfacer diferentes demandas del mercado, generando una cotización para cada opción.

Para determinar la radiación solar promedio, en esta ubicación, la cual corresponde a los tres casos de estudio se utilizó la tabla de “horas de sol pico por día para la República Mexicana” [44]. La Figura 13, muestra los valores reportados para la República Mexicana. Para el estado de Morelos, las horas promedio solares pico (HSP) corresponden a 6.07 horas al día, este dato permitió dimensionar nuestro sistema agrovoltaico.

Horas de sol pico por día para la República Mexicana									
Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*		Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*	
			Hor	Inc				Hor	Inc
Aguascalientes	Aguascalientes	21.88	5.78	6.10	Nayarit	Tepic	21.51	6.06	6.42
Baja California	Ensenada	31.87	5.98	6.76	Nuevo León	Monterrey	25.70	5.17	5.43
	Mexicali	32.65	5.96	6.81	Oaxaca	Oaxaca	17.06	4.88	5.01
	Tijuana	32.54	5.96	6.79	Puebla	Puebla	19.06	5.22	5.44
Baja California Sur	La Paz	24.15	6.46	6.89	Querétaro	Querétaro	20.61	5.57	5.87
	San José del Cabo	23.06	6.41	6.80	Quintana Roo	Cancún	21.16	6.01	6.32
Campeche	Campeche	19.83	5.91	6.16		Chetumal	18.51	5.85	6.09
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	16.76	4.88	5.00	San Luis Potosí	San Luis Potosí	22.16	5.57	5.85
Chihuahua	Chihuahua	28.63	5.96	6.52	Sinaloa	Culiacán	24.82	6.05	6.52
	Ciudad Juárez	31.73	5.78	6.41		Los Mochis	25.80	6.35	6.84
Coahuila	Saltillo	25.42	5.54	5.86		Mazatlán	23.20	6.04	6.47
	Torreón	25.53	5.96	6.37	Sonora	Ciudad Obregón	27.49	6.35	6.89
Colima	Colima	19.26	5.97	6.30		Hermosillo	29.07	6.22	6.81
Distrito Federal	Ciudad de México	19.33	5.11	5.36	Tabasco	Villahermosa	18.00	5.36	5.50
Durango	Durango	24.04	5.92	6.36	Tamaulipas	Ciudad Victoria	23.73	5.18	5.38
Guanajuato	Guanajuato	21.02	5.77	6.09		Nuevo Laredo	27.49	4.95	5.19
	León	21.11	5.75	6.07		Tampico	22.21	5.05	5.23
Guerrero	Acapulco	16.88	6.19	6.52	Tlaxcala	Tlaxcala	19.32	5.08	5.29
	Chilpancingo	17.54	6.09	6.43	Veracruz	Coatzacoalcos	18.15	4.88	5.00
Hidalgo	Pachuca	20.11	4.96	5.17		Orizaba	18.85	4.64	4.76
Jalisco	Guadalajara	20.69	5.89	6.24		Veracruz	19.20	4.56	4.66
México	Toluca	19.28	5.77	6.09		Xalapa	19.50	4.71	4.84
Michoacán	Morelia	19.71	5.79	6.13	Yucatán	Mérida	20.97	5.94	6.23
Morelos	Cuernavaca	18.92	5.76	6.07	Zacatecas	Zacatecas	22.77	5.86	6.21

Hor = Plano horizontal Inc = Plano inclinado a la latitud de la localidad correspondiente

*De acuerdo con datos del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER) IIE-GENC, y del Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Figura 13. Horas de sol pico por día para la República Mexicana [44].

- **Caso 1: Para un terreno de 1,000 m², con una casa donde habita una familia de cinco adultos y un menor, con un nivel de tensión de 127 V y 220V.**

Para determinar el consumo energético de este caso de estudio se propusieron dos niveles de tensión a 127 y 220 V, para ello se revisaron diferentes recibos tarifarios del

suministro de energía eléctrica de la empresa CFE, la localidad donde se obtuvieron estos recibos fue en el municipio de Jonacatepec de Leandro Valle, en este municipio la tarifa es 1A para servicios domésticos en localidades con temperatura media mínima en verano de 25 grados Celsius. La Tabla 2 representa el periodo, energía KWh y costo de la energía, para este caso se consideran los primeros 6 periodos.

Periodo Adesdo anteriores	kWh	Importe	Pagos	P
del 21 ENE 20 al 20 MAR 20	1362	\$6,384.00	\$6,384.00	
del 20 NOV 19 al 21 ENE 20	1826	\$8,400.00	\$8,400.00	
del 19 SEP 19 al 20 NOV 19	1539	\$7,104.00	\$7,104.00	
del 19 JUL 19 al 19 SEP 19	1990	\$9,401.00	\$9,401.00	
del 21 MAY 19 al 19 JUL 19	1609	\$7,651.00	\$7,651.00	
del 21 MAR 19 al 21 MAY 19	1510	\$7,084.00	\$7,084.00	
del 21 ENE 19 al 21 MAR 19	1316	\$6,130.00	\$6,130.00	
del 20 NOV 18 al 21 ENE 19	1740	\$7,990.00	\$7,990.00	
del 19 SEP 18 al 20 NOV 18	1828	\$9,900.00	\$9,900.00	
del 19 JUL 18 al 19 SEP 18	1422	\$7,108.00	\$7,108.00	
del 21 MAY 18 al 19 JUL 18	1756	\$7,427.00	\$7,427.00	

Periodo	Energía KWh	Costo por bimestre
1°	1362	\$6,384
2°	1826	\$8,400
3°	1539	\$7,104
4°	1990	\$9,401
5°	1609	\$7,651
6°	1510	\$7,084
Consumo total	9836 KWh	
Costo total anual		\$46,024

Tabla 2. Costos de energía eléctrica por bimestre.

Para un nivel de tensión de 127 V.

Para el terreno se dispone de un 60% del consumo total de la casa. En la ecuación (1) se muestra el resultado obtenido.

$$(9836KWh)(0.60) = 5901.6 KWh/anuales. \quad (1)$$

El consumo total, el cual comprende los 9836 kWh anuales y lo correspondiente al consumo del terreno (5901.6 kWh) anuales, se muestra en la ecuación (2)

$$9836 KWh/anuales + 5901.6 KWh/anuales = 15737.6 KWh/anuales. \quad (2)$$

Para el cálculo del consumo diario se hace uso de la ecuación (3).

$$Consumo\ diario = \frac{consumo\ anual\ (KWh)}{365\ días\ del\ año} = \frac{15737.6\ KWh}{365\ días} = 43.1167123\ KWh. \quad (3)$$

Considerando las horas promedio solares (HSP) que son equivalentes a 6.07 horas (ver Figura 13), se puede determinar la eficiencia del sistema, para ello se considera un factor de pérdidas establecido por normas reguladoras igual a 0.77.

Con base a esto, se calcula la potencia fotovoltaica haciendo uso de la ecuación (4)

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{Consumo\ diario\ (KWh)}{(HSP)(eficiencia\ del\ sistema)} = \frac{43.1167123\ KWh}{(6.07\ h)(0.77)} = 9.22499675\ KW.$$

(4)

Para determinar la potencia a cubrir, primero se debe calcular el número de paneles, para ello se utiliza la ecuación (5). Para esto se seleccionó el proveedor y tipo de panel a utilizar, en este caso el proveedor es IUSA (PV-11-350) y el panel fotovoltaico es monocristalino – bifacial de 350 Watts con un precio de \$2,851 MXN. Para conocer la potencia, corriente y tensión debemos consultar la ficha técnica proporcionada por el proveedor, la cual se muestra en el Anexo 1.

$$N_{paneles} = \frac{Potencia\ fotovoltaica\ (W)}{Potencia\ de\ panel\ seleccionado\ (W)} = \frac{9224.99675\ W}{350\ W} = 26.357\ paneles =$$

$$26\ paneles\ de\ 350\ W. \quad (5)$$

Los paneles tienen una dimensión de 1.968 m de largo, 0.992 m de ancho y un peso de 27.8 Kg. La superficie que cubren los paneles es de 50.75 m².

Para determinar el voltaje de CD en la entrada de un inversor es fundamental para garantizar el buen funcionamiento del sistema, Para ello podemos considerar los siguientes pasos:

1) Identificar el tipo de inversor, el cual puede ser un inversor de onda sinusoidal; un inversor de onda cuadrada o un inversor de alta frecuencia.

2) Revisar la ficha técnica del inversor, para lo cual se debe tomar en cuenta la siguiente información: el voltaje de entrada mínimo y máximo; la corriente de entrada máxima y la potencia de entrada máxima.

3) Medir el voltaje de entrada de CD.

4) Revisar que el voltaje de CD de entrada sea compatible con el intervalo de voltaje de entrada que admite el inversor.

5) Si el voltaje que se midió en el paso 3 no es admitido por el inversor, ajustarlo utilizando un transformador o un regulador de voltaje.

La ecuación que nos permite calcular el voltaje de CD en la entrada del inversor se determina de la siguiente manera:

$$\text{Voltaje CD} = \frac{(VL)(2\pi)}{4} = \frac{(127V)(2\pi)}{4} = 200 \text{ V.} \quad (5a)$$

Se propone el uso de microinversores modelo BDM 600LV, para 26 paneles bifaciales monocristalinos de 350 W marca IUSA. El Anexo 2 muestra la ficha técnica del microinversor. El cálculo del inversor se muestra en la ecuación (6), donde el cálculo del sobredimensionado=560 WP.

$$\text{relación (CD:CA)} = \frac{(PCD)(2)}{(P_{\max(A)})(\cos \theta)} = \frac{(350 \text{ W})(2)}{(560 \text{ W})(\cos(1))} = 1.25. \quad (6)$$

Para calcular el número de módulos en serie y en paralelo se utilizan las siguientes expresiones

$$N_s = \frac{\text{Voltaje CD}}{V_{mp}}, \quad (6a)$$

$$N_p = \frac{N_{\text{paneles}}}{N_s}, \quad (6b)$$

donde N_s = Número de módulos en serie, N_p = Número de módulos en paralelo. *Voltaje CD* = Voltaje requerido en el bus de CD y V_{mp} = Punto de máximo voltaje del módulo fotovoltaico obtenido de la ficha técnica proporcionada por el proveedor, la cual se muestra en el Anexo 1.

Debido a que se considera que el convertidor este operando al 50% el número de módulos conectados en serie se redefine como la expresión (6c), obteniendo el siguiente arreglo fotovoltaico en serie y paralelo

$$N_s = \frac{\text{Voltaje CD}}{V_{mp}} = \frac{(200V/2)}{38.8V} = 2.57 \approx 2, \quad (6c)$$

$$N_p = \frac{N_{\text{paneles}}}{N_s} = \frac{26}{2} = 13. \quad (6d)$$

A cada microinversor se le pueden conectar dos paneles fotovoltaicos, por lo que se requiere de 13 microinversores para 26 módulos fotovoltaicos o paneles solares.

Para la corriente nominal de salida se consideró un nivel de tensión de 127 V, el cálculo se muestra en la ecuación (7).

$$\text{Corriente nominal de salida} = \frac{\text{Potencia de salida continua máxima (VA)}}{\text{Tensión de servicio (127 V)}} = \frac{560 \text{ VA}}{127 \text{ V}} = 4.40 \text{ A.}$$

(7)

En la Figura 14 se representa la configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos.

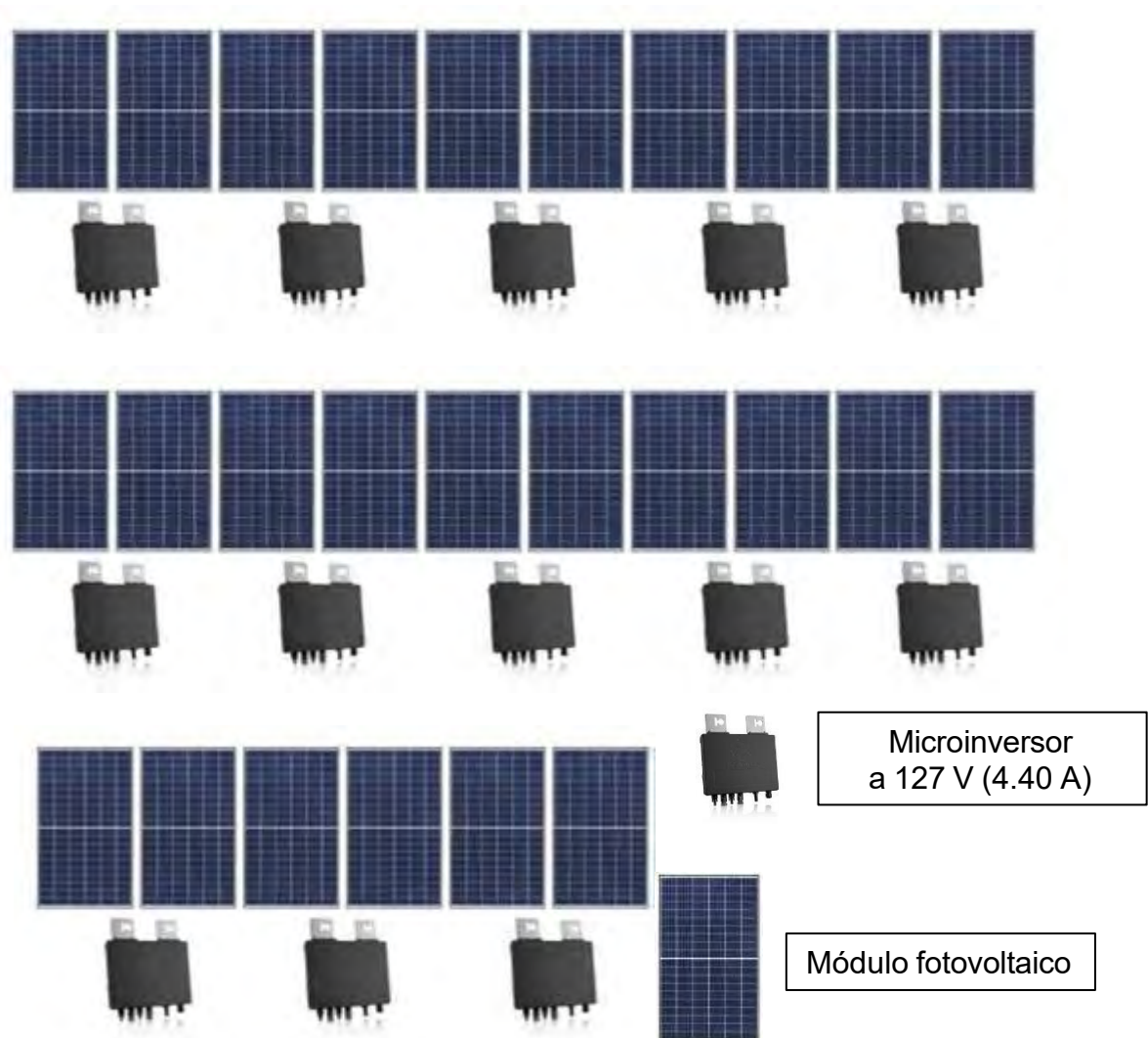


Figura 14. Configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos, nivel de tensión 127 V.

Este inversor permite 4 unidades por ramal, en este caso tenemos 4 ramales. Para determinar la corriente nominal por ramal se hace uso de la ecuación (8).

$$\begin{aligned} I \text{ nominal por ramal} &= \\ &= (Corriente nominal de salida)(\text{Número de inversores por ramal}) = \\ &= (4.40 A)(4 \text{ microinversores}) = 17.6 A. \end{aligned} \quad (8)$$

Para determinar el valor de la capacidad del interruptor, se utiliza la ecuación (9).

$$\begin{aligned} \text{Valor nominal del dispositivo contra sobrecorriente} &= \\ &= (I \text{ nominal por ramal})(\text{factor de seguridad}) = (17.6 A)(1.25) = 22 A, \end{aligned} \quad (9)$$

donde el factor de seguridad=1.25.

En el Anexo 3 se muestra la Tabla 240-6 (A), la cual nos ayuda a la selección de fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo, para nuestro caso de estudio seleccionamos uno de 25 A.

Para el cálculo de conductores por ampacidad se utiliza la ecuación (10), obteniendo los siguientes valores.

$$\begin{aligned} \text{Ampacidad requerida} &= (I \text{ nominal por ramal})(\text{factor de seguridad}) = \\ &= (17.6 A)(1.25) = 22 A. \end{aligned} \quad (10)$$

De acuerdo a la Tabla (310-15 (b)(16)) mostrada en el Anexo 4, se elige un conductor calibre 12 AWG/cobre/75 °C. Se aplicó el factor de ajuste de temperatura por canalización, este factor se aplica por tener la tubería en el piso, por ejemplo, 10 cm debajo del piso, debido a esto, la Tabla 310-15(b)(3)(c) mostrada en el Anexo 5 nos recomienda sumar 17 °C más.

Para el factor de corrección por temperatura se suman 28 °C más (ya que es la temperatura promedio anual en la región Sur del estado de Morelos), datos reportados por la CONAGUA. El cálculo se muestra en la ecuación (11).

$$28^{\circ}\text{C} + 17^{\circ}\text{C} = 45^{\circ}\text{C}. \quad (11)$$

Consultando la Tabla 310-15(b)(2)(a) mostrada en el Anexo 6, le corresponde un valor de ajuste de 0.75. Para el cálculo de la ampacidad requerida ajustada, el resultado se muestra en la ecuación (12).

$$\text{Ampacidad requerida ajustada} = \frac{\text{Ampacidad requerida}}{(FT)(FC)} = \frac{22 A}{(0.75)(1)} = 29.33 A, \quad (12)$$

donde: FT=0.75 y FC=1.

Para la caída de tensión, el Anexo 7 presenta la Tabla 310-15(b)(16), la cual muestra las ampacidades permisibles en conductores asilados, con base a esta información se recomienda un cable de calibre 10 AWG/cobre que permite 35 A.

Para el cálculo de la impedancia del conductor, el Anexo 8 muestra la Tabla 8. La ecuación (13) permite calcular la caída de tensión (pérdidas por el transporte de la energía). La ecuación (14) muestra los resultados obtenidos.

$$e\% = \frac{(Z)(I)(L)}{5(Er)} \quad (13)$$

$$e\% = \frac{(4.226 \frac{\Omega}{\text{Km}})(17.6 \text{ A})(25\text{m})}{5(127 \text{ V})} = 2.928\%. \text{ El rango máximo para } e\% = 2 - 3\%, \quad (14)$$

Donde: L=Longitud donde se encuentra el interruptor hasta el tablero general del lugar, para este caso se sugieren 25 m, Z=Impedancia, I= corriente nominal por ramal y Er= Tensión de servicio.

Para determinar cuántos volts se pierden en el tránsito de energía, se utiliza la ecuación (15). Para un nivel de tensión de 127 V el resultado se muestra en la ecuación (16).

$$Et = \frac{(e\%)(er)}{100}, \quad (15)$$

$$Et = \frac{(2.928\%)(127 \text{ V})}{100} = 3.718 \text{ V}, \quad (16)$$

Donde er=127 V, por lo tanto, tenemos una pérdida de 3.718 V en el transporte de energía.

Para determinar el conductor de puesta a tierra a equipos, en el Anexo 9 se muestra la Tabla 250-122 la cual muestra el calibre del cable que utilizaremos. El interruptor elegido es de 25 A y utilizaremos un conductor calibre 12/AWG/cobre.

Para la canalización, utilizaremos un tubo conduit de pared gruesa. El número de conductores totales = 3 (L1, L2, Tierra). Para el cable calibre 10 el área aproximada se obtiene al utilizar la ecuación (17).

$$\text{Área aproximada } (L1, L2) = 55.68 \text{ mm}^2. \quad (17)$$

El cálculo del área total se obtiene utilizando la ecuación (18) y los resultados se presentan en la ecuación (19).

$$\text{Área Total} = N \text{ de conductores } (L1, L2)(\text{aprox}) + (\text{Tierra})(\text{aprox}), \quad (18)$$

$$AT = 2 \text{ conductores } (55.68 \text{ mm}^2) + (11.68 \text{ mm}^2) = 123.04 \text{ mm}^2. \quad (19)$$

El Anexo 10 muestra la Tabla 344 para tubos Conduit metálico pesados. Con base a esta información, se considera un valor comercial de 141 mm^2 y cables de tamaño comercial de $\frac{3}{4}$.

Para la generación del sistema, se requiere la potencia nominal de salida del sistema, esta se obtiene de la ficha técnica del proveedor=500 W. El cálculo se obtiene utilizando la ecuación (20), donde: Potencia nominal de salida AC del microinversor=500W, HSP=6.07 horas, el número de microinversores=13. El resultado es mostrado en la ecuación (21).

$$\text{Potencia de salida SFV} = (\text{potencia nominal de salida AC microinversores})(N. \text{micros}), \quad (20)$$

$$\text{SFV} = (500 \text{ W})(13 \text{ micros}) = 6500 \text{ W}. \quad (21)$$

La generación de energía eléctrica por día, mes y año se calcula utilizando la ecuación (22) y los resultados se muestran en las ecuaciones (23), (24) y (25), respectivamente.

$$\text{Generación por día} = (\text{potencia de salida SFV})(HSP), \quad (22)$$

$$\text{Generación por día} = (6500 \text{ W})(6.07h) = 39.455 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} \quad (23)$$

$$\text{Generación por mes} = (39.455 \frac{\text{KWh}}{\text{día}})(30 \text{ días}) = 1,183.65 \frac{\text{KWh}}{\text{mes}} \quad (24)$$

$$\text{Generación anual} = (39.455 \frac{\text{KWh}}{\text{día}})(365 \text{ días}) = 14,401.075 \frac{\text{KWh}}{\text{anual}} \quad (25)$$

Para un nivel de tensión de 220 V.

Ahora vamos a considerar que el usuario pidiera su instalación a un nivel de tensión de 220 V (desea instalar un pequeño negocio), por ejemplo, una tienda de abarrotes, carnicería, etc. Se considera la misma lectura reportada en la Tabla 2 para hacer la estimación del consumo. Al igual que en el primer caso, para el resto del terreno se dispone de un 60% del consumo total del recibo. En la ecuación (1) se muestra el resultado obtenido, el cual corresponde a 5901.6 KWh/anuales. El consumo total está dado por la ecuación (2) y corresponde a la suma de los 9836 kWh/anuales y lo correspondiente al consumo del terreno (5901.6 KWh/anuales), dando como resultado 15737.6 KWh/anuales. El cálculo del consumo diario se obtiene en la ecuación (3) y es equivalente a 43.1167123 KWh .

Considerando las mismas horas promedio solares (HSP)=6.07 horas y el factor de pérdidas establecido por normas reguladoras de 0.77, la potencia fotovoltaica se calcula en la ecuación (4). El resultado obtenido es igual a 9.22499675 KW .

Para determinar la potencia a cubrir, primero se calculó el número de paneles, representado en la ecuación (26). Para obtener el número de paneles solares, se seleccionó el proveedor y tipo de panel a utilizar, en este caso el proveedor es JA SOLAR (JAM72S30 525-550 MR) y el panel fotovoltaico es monocristalino – bifacial de 550 Watts con un precio de \$3,353 MXN. Para conocer la potencia, corriente y tensión debemos consultar la ficha técnica proporcionada por el proveedor, la cual se muestra en el Anexo 11.

$$N_{\text{paneles}} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica (KW)}}{\text{Potencia de panel seleccionado (W)}} = \frac{9.22499675 \text{ KW}}{550 \text{ W}} = 16.7727214 \text{ paneles} = 17 \text{ paneles de } 550 \text{ W.} \quad (26)$$

Los paneles tienen una dimensión de 2.456 m de largo, 1.134 m de ancho y un peso de 30.5 Kg. La superficie que cubren los paneles es de 47.34 m².

La ecuación que nos permite calcular el voltaje de CD en la entrada del inversor se determina de la siguiente manera:

$$\text{Voltaje CD} = \frac{(VL)(2\pi)}{4} = \frac{(220V)(2\pi)}{4} = 345.57 \text{ V.} \quad (26a)$$

Se propone un microinversor modelo BDM-800, para 17 paneles bifaciales monocristalinos de 550 W marca JA SOLAR. El cálculo del inversor se muestra en la ecuación (27). Cálculo del sobredimensionado = 800 WP.

$$\text{relación (CD:CA)} = \frac{(PCD)(2)}{(P_{\text{max}}(A))\cos\theta} = \frac{(550 \text{ W})(2)}{(800 \text{ W})\cos(1)} = 1.375 \quad (27)$$

Para calcular el número de módulos en serie y en paralelo se utilizan las expresiones (6a) y (6b).

Debido a que se considera que el convertidor este operando al 50% el número de módulos conectados en serie se redefine como la expresión (27a), obteniendo el siguiente arreglo fotovoltaico en serie y paralelo

$$N_s = \frac{\text{Voltaje CD}}{V_{mp}} = \frac{(346 \text{ V}/2)}{41.96 \text{ V}} = 4.12 \approx 4, \quad (27a)$$

$$N_p = \frac{N_{\text{paneles}}}{N_s} = \frac{17}{4} = 4.25 \approx 4. \quad (27b)$$

V_{mp} = Punto de máximo voltaje del módulo fotovoltaico obtenido de la ficha técnica proporcionada por el proveedor, la cual se muestra en el Anexo 11.

Se requiere de 9 microinversores para 17 módulos fotovoltaicos o paneles solares.

Para la corriente nominal de salida se consideró un nivel de tensión de 220 V, el cálculo se muestra en la ecuación (28).

$$\text{Corriente nominal de salida} = \frac{\text{Potencia de salida continua máxima (VA)}}{\text{Tensión de servicio (220 V)}} = \frac{800 \text{ VA}}{220 \text{ V}} = 3.63 \text{ A.}$$

(28)

En la Figura 15 se representa la configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos.



Figura 15. Configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos, nivel de tensión 220 V.

Este inversor permite 5 unidades por ramal, en este caso tenemos 2 ramales. Para determinar la corriente nominal por ramal se hace uso de la ecuación (29).

$$\begin{aligned} I_{\text{nominal por ramal}} &= \\ &= (\text{Corriente nominal de salida})(\text{Número de inversores por ramal}) = \\ &= (3.63 \text{ A})(5 \text{ microinversores}) = 18.15 \text{ A.} \end{aligned}$$

(29)

Para determinar el valor de la capacidad del interruptor, se utiliza la ecuación (30).

$$\begin{aligned} \text{Valor nominal del dispositivo contra sobrecorriente} &= (I_{\text{nominal por ramal}})(1.25) = \\ &= (18.15 \text{ A})(1.25) = 22.6875 \text{ A,} \end{aligned}$$

(30)

donde el factor de seguridad=1.25.

En el Anexo 3 se muestra la Tabla 240-6 (A), la cual nos ayuda a la selección de fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo, para nuestro caso de estudio seleccionamos uno de 25 A.

Para el cálculo de conductores por ampacidad se utiliza la ecuación (31), obteniendo

$$\begin{aligned} \text{Ampacidad requerida} &= (I \text{ nominal por ramal})(\text{factor de seguridad}) = \\ &= (18.15 \text{ A})(1.25) = 22.6875 \text{ A} \end{aligned} \quad (31)$$

De acuerdo a la Tabla (310-15 (b)(16)) mostrada en el Anexo 4, se elige un conductor calibre 12 AWG/cobre/75 °C. Se aplicó el factor de ajuste de temperatura por canalización, este factor se aplica por tener la tubería en el piso, por ejemplo, 10 cm debajo del piso, debido a esto, la Tabla 310-15(b)(3)(c) mostrada en el Anexo 5 nos recomienda sumar 17 °C más.

Para el factor de corrección por temperatura se suman 28 °C más, el cálculo se muestra en la ecuación (11) y la temperatura ahora es de 45 °C.

Consultando la Tabla 310-15(b)(2)(a) mostrada en el Anexo 6, le corresponde un valor de ajuste de 0.75. Para el cálculo de la ampacidad requerida ajustada, el resultado se muestra en la ecuación (32).

$$\text{Ampacidad requerida ajustada} = \frac{\text{Ampacidad requerida}}{(FT)(FC)} = \frac{22.6875 \text{ A}}{(0.75)(1)} = 30.25 \text{ A}, \quad (32)$$

donde: FT=0.75 y FC=1.

Para la caída de tensión, el Anexo 7 presenta la Tabla 310-15(b)(16), la cual muestra las ampacidades permisibles en conductores asilados. Con base a esta información se recomienda un cable de calibre 10 AWG/cobre que permite 35 A.

Para el cálculo de la impedancia del conductor, el Anexo 8 muestra la Tabla 8. La ecuación (13) permite calcular la caída de tensión (pérdidas por el transporte de la energía). La ecuación (33) muestra los resultados obtenidos.

$$e\% = \frac{(4.226 \frac{\Omega}{\text{Km}})(18.15 \text{ A})(25\text{m})}{5(220 \text{ V})} = 1.743\%. \text{ El rango máximo para } e\% = 2 - 3\%. \quad (33)$$

Para determinar cuántos volts se pierden en el tránsito de energía, se utiliza la ecuación (15). Para un nivel de tensión de 220 V se obtiene el resultado mostrado en la ecuación (34).

$$E_t = \frac{(1.743\%)(220 \text{ V})}{100} = 3.83 \text{ V}. \quad (34)$$

Tenemos una pérdida de 3.83 V en el transporte de energía.

Para determinar el conductor de puesta a tierra a equipos, en el Anexo 9 se muestra la Tabla 250-122 la cual muestra el calibre del cable que utilizaremos. El interruptor elegido es de 25 A y utilizaremos un conductor calibre 12/AWG/cobre.

Para la canalización, utilizaremos un tubo conduit de pared gruesa. El número de conductores totales = 3 (L1, L2, Tierra). Para el cable calibre 10 el área aproximada se obtiene al utilizar la ecuación (17) y es de aproximadamente 55.68 mm^2 . El cálculo del área total se obtiene utilizando la ecuación (19) y es igual a 123.04 mm^2 .

El Anexo 10 muestra la Tabla 344 para tubos conduit metálico pesado. Con base a esta información, se considera un valor comercial de 141 mm^2 y cables de tamaño comercial de $\frac{3}{4}$.

Para la generación del sistema, se requiere la potencia nominal de salida del sistema, esta se obtiene de la ficha técnica del proveedor=750 W. El cálculo se obtiene utilizando la ecuación (20), donde: Potencia nominal de salida AC del microinversor=500W, HSP=6.07 horas, el número de microinversores=9. El resultado es mostrado en la ecuación (35).

$$\text{SFV} = (750 \text{ W})(9 \text{ micros}) = 6750 \text{ W.} \quad (35)$$

La generación de energía eléctrica por día, mes y año se calcula utilizando la ecuación (22), y los resultados se muestran en las ecuaciones (36), (37) y (38), respectivamente.

$$\text{Generación por día} = (6750 \text{ W})(6.07h) = 40.972 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} \quad (36)$$

$$\text{Generación por mes} = (40.972 \frac{\text{KWh}}{\text{día}})(30 \text{ días}) = 1,229.16 \frac{\text{KWh}}{\text{mes}} \quad (37)$$

$$\text{Generación anual} = (40.972 \frac{\text{KWh}}{\text{día}})(365 \text{ días}) = 14,954.78 \frac{\text{KWh}}{\text{anual}} \quad (38)$$

- **Caso 2: Para un terreno de 600 m^2 , con una casa donde habita una familia de dos adultos y un menor, con un nivel de tensión de 127 V y 220V.**

Para determinar el consumo energético de este caso de estudio se propusieron dos niveles de tensión a 127 y 220 V, para ello se revisaron diferentes recibos tarifarios del suministro de energía eléctrica de la empresa CFE, la localidad donde se obtuvieron estos recibos fue en el municipio de Jonacatepec de Leandro Valle, en este municipio la tarifa es 1A para servicios domésticos en localidades con temperatura media mínima en verano de 25 grados celsius. La Tabla 3 representa el periodo, energía KWh y costo de la energía, para este caso se consideran los primeros 6 periodos.

Período	Energía (kWh)
del 11 MAY 18 al 11 JUL 18	1365
del 13 MAR 18 al 11 MAY 18	863
del 11 ENE 18 al 13 MAR 18	696
del 09 NOV 17 al 11 ENE 18	844
del 11 SEP 17 al 09 NOV 17	708
del 12 JUL 17 al 11 SEP 17	887
del 12 MAY 17 al 12 JUL 17	1181
del 13 MAR 17 al 12 MAY 17	485
del 11 ENE 17 al 13 MAR 17	531
del 11 NOV 16 al 11 ENE 17	530
del 12 SEP 16 al 11 NOV 16	746

Periodo	Energía KWh	Costo por bimestre
1°	1365	\$ 5429
2°	863	\$3103
3°	696	\$ 2329
4°	844	\$ 3015
5°	708	\$ 2384
6°	887	\$ 3214
Consumo total KWh	5363 KWh	
Costo total anual		\$ 19474

Tabla 3. Costos de energía eléctrica por bimestre .

Para un nivel de tensión de 127 V.

Para el terreno se dispone de un 50% del consumo total de la casa. En la ecuación (39) se muestra el resultado obtenido

$$(5363KWh)(0.50) = 2681.5 \text{ KWh/anuales.} \quad (39)$$

El consumo total, el cual comprende los 5363 kWh/anuales y lo correspondiente al consumo del terreno (2681.5 kWh/anuales), se muestra en la ecuación (40)

$$5363 \text{ KWh/anuales} + 2681.5 \text{ KWh/anuales} = 8044.5 \text{ KWh/anuales.} \quad (40)$$

El cálculo del consumo diario se obtiene aplicando la ecuación (41).

$$\text{Consumo diario} = \frac{\text{consumo anual (KWh)}}{365 \text{ días del año}} = \frac{8044.5 \text{ KWh}}{365 \text{ días}} = 22.039726 \text{ KWh.} \quad (41)$$

Considerando las horas promedio solares (HSP) que son equivalentes a 6.07 horas (ver Figura 13), se puede determinar la eficiencia del sistema, para ello se considera un factor de pérdidas establecido por normas reguladoras igual a 0.77.

Considerando esto, se calcula la potencia fotovoltaica haciendo uso de la ecuación (42).

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{\text{Consumo diario (KWh)}}{(\text{HSP})(\text{eficiencia del sistema})} = \frac{22.039726 \text{ KWh}}{(6.07 \text{ h})(0.77)} = 4.71548942 \text{ KW.} \quad (42)$$

Para determinar la potencia a cubrir, se va a calcular el número de paneles necesarios utilizando la ecuación (43). Para ello se selecciona el proveedor y tipo de panel a utilizar, al igual que en el primer caso, se seleccionaron paneles fotovoltaicos de tipo monocristalino – bifacial de 350 Watts marca IUSA (PV-11-350), con un precio de \$2,851 MXN. Para conocer la potencia, corriente y tensión debemos consultar la ficha técnica proporcionada por el proveedor, la cual se muestra en el Anexo 1.

$$N_{\text{paneles}} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica (KW)}}{\text{Potencia de panel seleccionado (W)}} = \frac{4.7154 \text{ KW}}{350 \text{ W}} = 13.47 \text{ paneles} = 13 \text{ paneles de 350 W.} \quad (43)$$

Los paneles tienen una dimensión de 1.968 m de largo, 0.992 m de ancho y un peso de 27.8 Kg. La superficie que cubren los paneles es de 25.37 m².

La ecuación que nos permite calcular el voltaje de CD en la entrada del inversor se determina de la siguiente manera:

$$\text{Voltaje CD} = \frac{(VL)(2\pi)}{4} = \frac{(127V)(2\pi)}{4} = 200 \text{ V.} \quad (43a)$$

Se propone el uso de microinversores modelo BDM 600LV, para 13 paneles bifaciales monocristalinos de 350 W marca IUSA. El Anexo 2 muestra la ficha técnica del microinversor. El cálculo del inversor se muestra en la ecuación (44), donde el cálculo del sobredimensionado=560 WP.

$$relaci3n (CD: CA) = \frac{(PCD)(2)}{(P_{max}(A))\cos\theta} = \frac{(350)(2)}{(560W)(\cos(1))} = 1.25. \quad (44)$$

Para calcular el n3mero de m3dulos en serie y en paralelo se utilizan las expresiones (6a) y (6b).

Debido a que se considera que el convertidor este operando al 50% el n3mero de m3dulos conectados en serie se redefine como la expresi3n (44a), obteniendo el siguiente arreglo fotovoltaico en serie y paralelo

$$N_s = \frac{Voltaje\ CD}{V_{mp}} = \frac{(200V/2)}{38.8\ V} = 2.57 \approx 2, \quad (44a)$$

$$N_p = \frac{N_{paneles}}{N_s} = \frac{13}{2} = 6.5 \approx 7. \quad (44b)$$

V_{mp} = Punto de m3ximo voltaje del m3dulo fotovoltaico obtenido de la ficha t3cnica proporcionada por el proveedor, la cual se muestra en el Anexo 1.

A cada microinversor se le puede conectar dos paneles fotovoltaicos, por lo que se requiere de 7 microinversores para 13 m3dulos fotovoltaicos o paneles solares.

Para la corriente nominal de salida se consider3 un nivel de tensi3n de 127 V, el c3lculo se muestra en la ecuaci3n (45).

$$Corriente\ nominal\ de\ salida = \frac{Potencia\ de\ salida\ continua\ m3xima\ (VA)}{Tensi3n\ de\ servicio\ (127V)} = \frac{560\ VA}{127\ V} = 4.40\ A \quad (45)$$

En la Figura 16 se representa la configuraci3n de los microinversores respecto a los m3dulos fotovoltaicos.

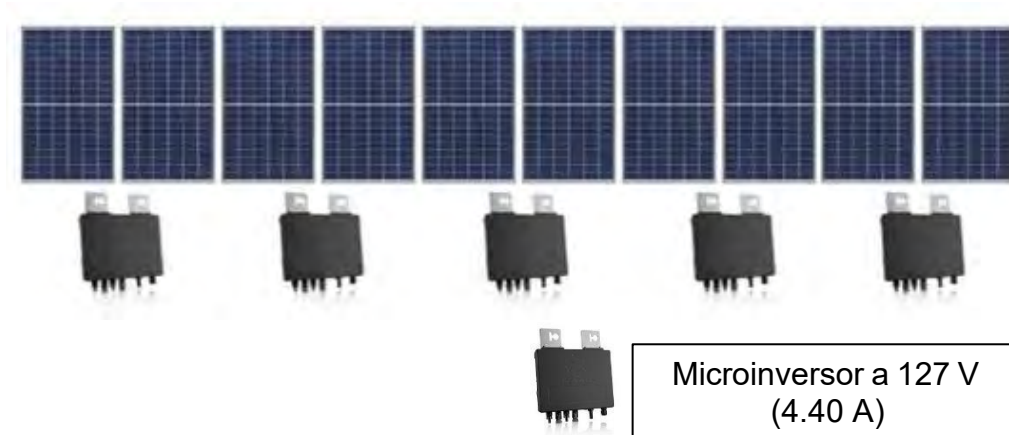




Figura 16. Configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos, nivel de tensión 127 V.

Este inversor permite 4 unidades por ramal, en este caso tenemos 2 ramales. Para determinar la corriente nominal por ramal se hace uso de la ecuación (46).

$$I \text{ nominal por ramal} = (Corriente \text{ nominal de salida})(Número \text{ de inversores por ramal}) = (4.40 \text{ A})(4 \text{ microinversores}) = 17.6 \text{ A.} \quad (46)$$

Para determinar el valor de la capacidad del interruptor, se utiliza la ecuación (47).

$$\text{Valor nominal del dispositivo contra sobrecorriente} = (I \text{ nominal por ramal})(factor \text{ de seguridad}) = (17.6 \text{ A})(1.25) = 22 \text{ A,} \quad (47)$$

donde el factor de seguridad=1.25.

En el Anexo 3 se muestra la Tabla 240-6 (A), esta tabla nos permite seleccionar fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo, para este caso se selecciona uno de 25 A.

Para el cálculo de conductores por ampacidad se utiliza la ecuación (48), obteniendo los siguientes valores

$$Ampacidad \text{ requerida} = (I \text{ nominal por ramal})(factor \text{ de seguridad}) = (17.6 \text{ A})(1.25) = 22 \text{ A.} \quad (48)$$

En el Anexo 4, se muestra la Tabla (310-15 (b)(16)), con base a esta información se elige un conductor calibre 12 AWG/cobre/75 °C. Se aplicó el factor de ajuste de temperatura por canalización, este factor se aplica por tener la tubería en el piso, por ejemplo, 10 cm debajo del piso, la Tabla 310-15(b)(3)(c) mostrada en el Anexo 5 nos recomienda sumar 17 °C más.

Para el factor de corrección por temperatura se suman 28 °C más (ya que es la temperatura promedio anual en la región Sur del estado de Morelos), datos reportados por la CONAGUA. El cálculo se muestra en la ecuación (11) y da como resultado 45 °C.

En el Anexo 6, se muestra la Tabla 310-15(b)(2)(a), con base a esta tabla le corresponde un valor de ajuste de 0.75. Para el cálculo de la ampacidad requerida ajustada, el resultado se muestra en la ecuación (49).

$$\text{Ampacidad requerida ajustada} = \frac{\text{Ampacidad requerida}}{(FT)(FC)} = \frac{22 \text{ A}}{(0.75)(1)} = 29.33 \text{ A}, \quad (49)$$

donde: FT=0.75 y FC=1.

Para la caída de tensión, el Anexo 7 presenta la Tabla 310-15(b)(16), la cual muestra las ampacidades permisibles en conductores asilados. Con base a esta información se recomienda un cable de calibre 10 AWG/cobre que permite 35 A.

El Anexo 8 muestra la Tabla 8, la cual permite obtener el cálculo de la impedancia del conductor. La ecuación (13) permite calcular la caída de tensión (pérdidas por el transporte de la energía) y la ecuación (50) muestra los resultados obtenidos.

$$e\% = \frac{(4.226 \frac{\Omega}{\text{Km}})(17.6 \text{ A})(25\text{m})}{5(127 \text{ V})} = 2.928\%. \text{ El rango máximo para } e\% = 2 - 3\%, \quad (50)$$

donde: L=Longitud donde se encuentra el interruptor hasta el tablero general del lugar, para este caso se sugieren 25 m, Z=Impedancia, I= corriente nominal por ramal y Er= Tensión de servicio.

Para determinar cuántos volts se pierden en el tránsito de energía, se utiliza la ecuación (15). Para un nivel de tensión de 127 V el resultado se muestra en la ecuación (51).

$$E_t = \frac{(2.928\%)(127 \text{ V})}{100} = 3.718 \text{ V}, \quad (51)$$

donde er=127 V, por lo tanto, tenemos una pérdida de 3.718 V en el transporte de energía.

Para determinar el conductor de puesta a tierra a equipos, en el Anexo 9 se muestra la Tabla 250-122 la cual muestra el calibre del cable que utilizaremos. El interruptor elegido es de 25 A y utilizaremos un conductor calibre 12/AWG/cobre.

Para la canalización, utilizaremos un tubo conduit de pared gruesa. El número de conductores totales = 3 (L1, L2, Tierra). Para el cable calibre 10 el área aproximada se obtiene al utilizar la ecuación (52).

$$\text{Área aproximada } (L1, L2) = 55.68 \text{ mm}^2. \quad (52)$$

El cálculo del área total se obtiene utilizando la ecuación (18) y los resultados se presentan en la ecuación (53).

$$AT = 2 \text{ conductores } (55.68 \text{ mm}^2) + (11.68 \text{ mm}^2) = 123.04 \text{ mm}^2. \quad (53)$$

El Anexo 10 muestra la Tabla 344 para tubos conduit metálico pesado. Con base a esta información, se considera un valor comercial de 141 mm^2 y cables de tamaño comercial de $\frac{3}{4}$.

Para la generación del sistema, se requiere la potencia nominal de salida del sistema, esta se obtiene de la ficha técnica del proveedor=500 W. El cálculo se obtiene utilizando la ecuación (20), donde: Potencia nominal de salida AC del microinversor=500W, HSP=6.07 horas, el número de microinversores=7. El resultado es mostrado en la ecuación (54).

$$SFV = (500 \text{ W})(7 \text{ micros}) = 3500 \text{ W}. \quad (54)$$

La generación de energía eléctrica por día, mes y año se calcula utilizando la ecuación (22), y los resultados se muestran en las ecuaciones (55), (56) y (57), respectivamente.

$$\text{Generación por día} = (3500 \text{ W})(6.07h) = 21.245 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} \quad (55)$$

$$\text{Generación por mes} = (21.245 \frac{\text{KWh}}{\text{día}})(30 \text{ días}) = 637.35 \frac{\text{KWh}}{\text{mes}} \quad (56)$$

$$\text{Generación anual} = (21.245 \frac{\text{KWh}}{\text{día}})(365 \text{ días}) = 7,754.425 \frac{\text{KWh}}{\text{anual}} \quad (57)$$

Para un nivel de tensión de 220 V.

Como se había planteado, al igual que en el caso de estudio anterior, vamos a considerar que el usuario pidiera su instalación a un nivel de tensión de 220 V. Se considera la misma lectura reportada en la Tabla 3 para hacer la estimación del consumo. Para el resto del terreno se dispone de un 50% del consumo total del recibo. En la ecuación (39) se muestra el resultado obtenido, el cual corresponde a 2681.5 KWh/anuales. El consumo total esta dado por la ecuación (40) y corresponde a la suma de los 5363 kWh/anuales y lo correspondiente al consumo del terreno (2681.5 KWh/anuales), dando como resultado 8044.5 KWh/anuales. El cálculo del consumo diario se obtiene en la ecuación (41) y es equivalente a 22.039726 KWh.

Considerando las mismas horas promedio solares (HSP)=6.07 horas y el factor de pérdidas establecido por normas reguladoras de 0.77, la potencia fotovoltaica se calcula en la ecuación (42). El resultado obtenido es igual a 4.71548942 KW.

Para determinar la potencia a cubrir, primero se calculó el número de paneles, representado en la ecuación (58). Se seleccionó el proveedor y tipo de panel a utilizar, en este caso el proveedor es JA SOLAR (JAM72S30 525-550 MR) y el panel fotovoltaico es monocristalino – bifacial de 550 *Watts* con un precio de \$3,353 MXN. Para conocer la potencia, corriente y tensión debemos consultar la ficha técnica proporcionada por el proveedor, la cual se muestra en el Anexo 11.

$$N_{\text{paneles}} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica (KW)}}{\text{Potencia de panel seleccionado (W)}} = \frac{4.7154 \text{ KW}}{550 \text{ W}} = 8.57 \text{ paneles} = 8 \text{ paneles de } 550 \text{ W} \quad (58)$$

Los paneles tienen una dimensión de 2.456 m de largo, 1.134 m de ancho y un peso de 30.5 Kg. La superficie que cubren los paneles es de 22.28 m².

La ecuación que nos permite calcular el voltaje de CD en la entrada del inversor se determina de la siguiente manera:

$$\text{Voltaje CD} = \frac{(V_L)(2\pi)}{4} = \frac{(220V)(2\pi)}{4} = 345.57 \text{ V.} \quad (58a)$$

Se propone un microinversor modelo BDM-800, para 8 paneles bifaciales monocristalinos de 550 W marca JA SOLAR. El cálculo del inversor se muestra en la ecuación (59). Cálculo del sobredimensionado = 800 WP.

$$\text{relación (CD: CA)} = \frac{(PCD)(2)}{(P_{\text{max}}(A))\cos\theta} = \frac{(550 \text{ W})(2)}{(800 \text{ W})\cos(1)} = 1.375. \quad (59)$$

Para calcular el número de módulos en serie y en paralelo se utilizan las expresiones (6a) y (6b).

Debido a que se considera que el convertidor este operando al 50% el número de módulos conectados en serie se redefine como la expresión (59a), obteniendo el siguiente arreglo fotovoltaico en serie y paralelo

$$N_S = \frac{\text{Voltaje CD}}{V_{mp}} = \frac{(346 \text{ V}/2)}{41.96 \text{ V}} = 4.12 \approx 4, \quad (59a)$$

$$N_p = \frac{N_{\text{paneles}}}{N_S} = \frac{8}{4} = 2. \quad (59b)$$

V_{mp} = Punto de máximo voltaje del módulo fotovoltaico obtenido de la ficha técnica proporcionada por el proveedor, la cual se muestra en el Anexo 11.

Se requiere de 4 microinversores para 8 módulos fotovoltaicos o paneles solares. Para la corriente nominal de salida se consideró un nivel de tensión de 220 V, el cálculo se muestra en la ecuación (60).

$$\begin{aligned} \text{Corriente nominal de salida} &= \frac{\text{Potencia de salida continua máxima (VA)}}{\text{Tensión de servicio (220V)}} = \frac{800 \text{ VA}}{220 \text{ V}} \\ &= 3.63 \text{ A} \quad (60) \end{aligned}$$

En la Figura 17 se representa la configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos.



Figura 17. Configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos, nivel de tensión 220 V.

Este inversor permite 5 unidades por ramal, en este caso tenemos 1 ramal. Para determinar la corriente nominal por ramal se hace uso de la ecuación (61).

$$\begin{aligned} I_{\text{nominal por ramal}} &= \\ &= (\text{Corriente nominal de salida})(\text{Número de inversores por ramal}) = \\ &= (3.63 \text{ A})(5 \text{ microinversores}) = 18.15 \text{ A.} \end{aligned} \quad (61)$$

Para determinar el valor de la capacidad del interruptor se hace uso de la ecuación (62).

$$\begin{aligned} \text{Valor nominal del dispositivo contra sobrecorriente} &= (I_{\text{nominal por ramal}})(1.25) = \\ &= (18.15 \text{ A})(1.25) = 22.6875 \text{ A,} \end{aligned} \quad (62)$$

donde el factor de seguridad=1.25.

La Tabla 240-6 (A) mostrada en el Anexo 3 nos ayuda a la selección de fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo, en este caso seleccionamos uno de 25 A.

Para el cálculo de conductores por ampacidad se utiliza la ecuación (63), obteniendo

$$\begin{aligned} \text{Ampacidad requerida} &= (I_{\text{nominal por ramal}})(\text{factor de seguridad}) = \\ &= (18.15 \text{ A})(1.25) = 22.6875 \text{ A} \end{aligned} \quad (63)$$

La Tabla (310-15 (b)(16)) mostrada en el Anexo 4 recomienda el uso de un conductor calibre 12 AWG/cobre/75 °C. Se aplicó el factor de ajuste de temperatura por canalización, este factor se aplica por tener la tubería en el piso, por ejemplo, 10 cm debajo del piso. La Tabla 310-15(b)(3)(c) mostrada en el Anexo 5 nos recomienda sumar 17 °C más. Debido a esto, para el factor de corrección por temperatura se suman 28 °C más, el cálculo se muestra en la ecuación (11) y la temperatura ahora es de 45 °C.

Consultando la Tabla 310-15(b)(2)(a) mostrada en el Anexo 6, le corresponde un valor de ajuste de 0.75. Para el cálculo de la ampacidad requerida ajustada, el resultado se muestra en la ecuación (64).

$$\text{Ampacidad requerida ajustada} = \frac{\text{Ampacidad requerida}}{(FT)(FC)} = \frac{22.6875 \text{ A}}{(0.75)(1)} = 30.25 \text{ A}, \quad (64)$$

donde: FT=0.75 y FC=1.

El Anexo 7 presenta la Tabla 310-15(b)(16), la cual muestra las ampacidades permisibles en conductores asilados. Con base a esta información se recomienda un cable de calibre 10 AWG/cobre que permite 35 A.

Para el cálculo de la impedancia del conductor, el Anexo 8 muestra la Tabla 8. La ecuación (13) permite calcular la caída de tensión (pérdidas por el transporte de la energía). La ecuación (65) muestra los resultados obtenidos.

$$e\% = \frac{(4.226 \frac{\Omega}{\text{Km}})(18.15 \text{ A})(25\text{m})}{5(220 \text{ V})} = 1.743\%. \text{ El rango máximo para } e\% = 2 - 3\%. \quad (65)$$

Para determinar cuántos volts se pierden en el tránsito de energía, se utiliza la ecuación (15). Para un nivel de tensión de 220 V se obtiene el resultado mostrado en la ecuación (66).

$$E_t = \frac{(1.743\%)(220 \text{ V})}{100} = 3.83 \text{ V}. \quad (66)$$

Tenemos una pérdida de 3.83 V en el transporte de energía.

Para determinar el conductor de puesta a tierra a equipos, la Tabla 250-122 mostrada en el Anexo 9 define el calibre del cable que utilizaremos. El interruptor elegido es de 25 A y utilizaremos un conductor calibre 12/AWG/cobre.

Para la canalización, utilizaremos un tubo conduit de pared gruesa. El número de conductores totales = 3 (L1, L2, Tierra). Para el cable calibre 10 el área aproximada se obtiene al utilizar la ecuación (17) y es de aproximadamente 55.68 mm². El cálculo del área total se obtiene utilizando la ecuación (19) e igual a 123.04 mm².

El Anexo 10, muestra la Tabla 344 para tubos conduit metálico pesado. Con base a esta información, se considera un valor comercial de 141 mm^2 y cables de tamaño comercial de $\frac{3}{4}$.

Para la generación del sistema, se requiere la potencia nominal de salida del sistema, esta se obtiene de la ficha técnica del proveedor=750 W. El cálculo se obtiene utilizando la ecuación (20), donde: Potencia nominal de salida AC del microinversor=500W, HSP=6.07 horas, el número de microinversores=4. El resultado es mostrado en la ecuación (67).

$$SFV = (750 \text{ W})(4 \text{ micros}) = 3000 \text{ W.} \quad (67)$$

La generación de energía eléctrica por día, mes y año se calcula utilizando la ecuación (22), y los resultados se muestran en las ecuaciones (68), (69) y (70), respectivamente.

$$\text{Generación por día} = (3000 \text{ W})(6.07 \text{ h}) = 18.210 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} \quad (68)$$

$$\text{Generación por mes} = (18.210 \frac{\text{KWh}}{\text{día}}) (30 \text{ días}) = 546.3 \frac{\text{KWh}}{\text{mes}} \quad (69)$$

$$\text{Generación anual} = (18.210 \frac{\text{KWh}}{\text{día}}) (365 \text{ días}) = 6,646.65 \frac{\text{KWh}}{\text{anual}} \quad (70)$$

- **Caso 3: Para un terreno de 300 m^2 , con una casa donde habita una familia de dos adultos y un menor, con un nivel de tensión de 127 V.**

Para determinar el consumo energético de este caso de estudio se propuso un nivel de tensión igual a 127 V, para ello se revisaron diferentes recibos tarifarios del suministro de energía eléctrica de la empresa CFE, la localidad donde se obtuvieron estos recibos fue en el municipio de Jonacatepec de Leandro Valle, en este municipio la tarifa es 1A para servicios domésticos en localidades con temperatura media mínima en verano de 25 grados celsius. La Tabla 4 representa el periodo, energía KWh y costo de la energía, para este caso se consideran los primeros 6 periodos.

Periodo	kWh	Importe	P
del 23 ENE 24 al 21 MAR 24	250	\$1,206.00	\$
del 24 NOV 23 al 23 ENE 24	335	\$1,670.00	\$
del 25 SEP 23 al 24 NOV 23	281	\$1,452.00	
del 25 JUL 23 al 25 SEP 23	284	\$1,472.00	
del 25 MAY 23 al 25 JUL 23	317	\$1,617.00	
del 24 MAR 23 al 25 MAY 23	327	\$1,618.00	
del 24 ENE 23 al 24 MAR 23	292	\$1,436.00	
del 24 NOV 22 al 24 ENE 23	335	\$1,563.00	
del 26 SEP 22 al 24 NOV 22	341	\$1,586.00	
del 25 JUL 22 al 26 SEP 22	202	\$989.00	
del 24 MAY 22 al 25 JUL 22	208	\$993.00	

Periodo	Energía KWh	Costo por bimestre
1°	250	\$1206
2°	335	\$1670
3°	281	\$1452
4°	284	\$1472
5°	317	\$1617
6°	327	\$1618
Consumo total KWh	1794 KWh	
Costo total anual		\$9,035

Tabla 4. Costos de energía eléctrica por bimestre.

Para un nivel de tensión de 127 V.

Para el terreno se dispone de un 40% del consumo total de la casa. En la ecuación (71) se muestra el resultado obtenido

$$(1794KWh)(0.40) = 717.6 \text{ KWh/anuales.} \quad (71)$$

El consumo total, el cual comprende los 1794 kWh anuales y lo correspondiente al consumo del terreno (717.6 KWh) anuales, se muestra en la ecuación (72)

$$1794 \text{ KWh/anuales} + 717.6 \text{ KWh/anuales} = 2511.6 \text{ KWh/anuales.} \quad (72)$$

Para el cálculo del consumo diario se hace uso de la ecuación (73).

$$\text{Consumo diario} = \frac{\text{consumo anual (KWh)}}{365 \text{ días del año}} = \frac{2511.6 \text{ KWh}}{365 \text{ días}} = 6.8810 \text{ KWh.} \quad (73)$$

Considerando las horas promedio solares (HSP) que son equivalentes a 6.07 horas (ver Figura 13), se puede determinar la eficiencia del sistema, para ello se considera un factor de pérdidas establecido por normas reguladoras igual a 0.77.

La potencia fotovoltaica haciendo uso de la ecuación (4)

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{\text{Consumo diario (KWh)}}{(\text{HSP})(\text{eficiencia del sistema})} = \frac{6.8810 \text{ KWh}}{(6.07 \text{ h})(0.77)} = 1.4722 \text{ KW.} \quad (74)$$

Para determinar la potencia a cubrir, se debe calcular el número de paneles, para ello se utiliza la ecuación (75). Ahora, seleccionamos el proveedor y tipo de panel a utilizar, en este caso el proveedor es IUSA (PV-11-350) y el panel fotovoltaico es monocristalino – bifacial de 350 Watts con un precio de \$2,851 MXN. Para conocer la potencia, corriente y tensión debemos consultar la ficha técnica proporcionada por el proveedor, la cual se muestra en el Anexo 1.

$$N_{\text{paneles}} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica (KW)}}{\text{Potencia de panel seleccionado (W)}} = \frac{1.4722 \text{ KW}}{350 \text{ W}} = 4.20 \text{ paneles} = 4 \text{ paneles de 350 W.} \quad (75)$$

Los paneles tienen una dimensión de 1.968 m de largo, 0.992 m de ancho y un peso de 27.8 Kg. La superficie que cubren los paneles es de 7.80 m².

La ecuación que nos permite calcular el voltaje de CD en la entrada del inversor se determina de la siguiente manera:

$$\text{Voltaje CD} = \frac{(V_L)(2\pi)}{4} = \frac{(127V)(2\pi)}{4} = 200 \text{ V.} \quad (75a)$$

Se propone el uso de microinversores modelo BDM 600LV, para 4 paneles bifaciales monocristalinos de 350 W marca IUSA. El Anexo 2 muestra la ficha técnica del microinversor. El cálculo del inversor se muestra en la ecuación (76), donde el cálculo del sobredimensionado=560 WP.

$$\text{relación (CD: CA)} = \frac{(PCD)(2)}{(P_{\text{max}}(A))(\cos \theta)} = \frac{(350 \text{ W})(2)}{(560 \text{ W})(\cos(1))} = 1.25. \quad (76)$$

Para calcular el número de módulos en serie y en paralelo se utilizan las expresiones (6a) y (6b).

Debido a que se considera que el convertidor este operando al 50% el número de módulos conectados en serie se redefine como la expresión (76a), obteniendo el siguiente arreglo fotovoltaico en serie y paralelo

$$N_s = \frac{\text{Voltaje CD}}{V_{mp}} = \frac{(200V/2)}{38.8V} = 2.57 \approx 2, \quad (76a)$$

$$N_p = \frac{N_{paneles}}{N_s} = \frac{4}{2} = 2. \quad (76b)$$

V_{mp} = Punto de máximo voltaje del módulo fotovoltaico obtenido de la ficha técnica proporcionada por el proveedor, la cual se muestra en el Anexo 1. Se requiere de 2 microinversores para 4 módulos fotovoltaicos o paneles solares.

Para la corriente nominal de salida se consideró un nivel de tensión de 127 V, el cálculo se muestra en la ecuación (77).

$$\text{Corriente nominal de salida} = \frac{\text{Potencia de salida continua máxima (VA)}}{\text{Tensión de servicio (127 V)}} = \frac{560 \text{ VA}}{127 \text{ V}} = 4.40 \text{ A.}$$

(77)

En la Figura 18 se representa la configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos.



Figura 18. Configuración de los microinversores respecto a los módulos fotovoltaicos, nivel de tensión 127 V.

Este inversor permite 4 unidades por ramal, en este caso tenemos 1 ramal. Para determinar la corriente nominal por ramal se hace uso de la ecuación (78).

$$\begin{aligned} I_{\text{nominal por ramal}} &= \\ &= (\text{Corriente nominal de salida})(\text{Número de inversores por ramal}) = \\ &= (4.40 \text{ A})(4 \text{ microinversores}) = 17.6 \text{ A.} \end{aligned} \quad (78)$$

Para determinar el valor de la capacidad del interruptor, se utiliza la ecuación (79).

$$\text{Valor nominal del dispositivo contra sobrecorriente} = (I \text{ nominal por ramal})(\text{factor de seguridad}) = (17.6 \text{ A})(1.25) = 22 \text{ A}, \quad (79)$$

donde el factor de seguridad=1.25.

En el Anexo 3 se muestra la Tabla 240-6 (A), la cual nos ayuda a la selección de fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo, para nuestro caso de estudio seleccionamos uno de 25 A.

Para el cálculo de conductores por ampacidad, se utiliza la ecuación (80), obteniendo los siguientes valores

$$\text{Ampacidad requerida} = (I \text{ nominal por ramal})(\text{factor de seguridad}) = (17.6 \text{ A})(1.25) = 22 \text{ A}. \quad (80)$$

De acuerdo a la Tabla (310-15 (b)(16)) mostrada en el Anexo 4, se elige un conductor calibre 12 AWG/cobre/75 °C. Se aplicó el factor de ajuste de temperatura por canalización, este factor se aplica por tener la tubería en el piso, por ejemplo, 10 cm debajo del piso, debido a esto, la Tabla 310-15(b)(3)(c) mostrada en el Anexo 5 nos recomienda sumar 17 °C más.

Para el factor de corrección por temperatura se suman 28 °C más, dando como resultado 45 °C. Consultando la Tabla 310-15(b)(2)(a) mostrada en el Anexo 6, le corresponde un valor de ajuste de 0.75.

Para el cálculo de la ampacidad requerida ajustada, el resultado se muestra en la ecuación (81).

$$\text{Ampacidad requerida ajustada} = \frac{\text{Ampacidad requerida}}{(FT)(FC)} = \frac{22 \text{ A}}{(0.75)(1)} = 29.33 \text{ A}, \quad (81)$$

donde: FT=0.75 y FC=1.

Para la caída de tensión, el Anexo 7 presenta la la Tabla 310-15(b)(16), la cual muestra las ampacidades permisibles en conductores asilados, con base a esta información se recomienda un cable de calibre 10 AWG/cobre que permite 35 A.

Para el cálculo de la impedancia del conductor, el Anexo 8 muestra la Tabla 8. La ecuación (13) permite calcular la caída de tensión (pérdidas por el transporte de la energía). La ecuación (82) muestra los resultados obtenidos.

$$e\% = \frac{(4.226 \frac{\Omega}{\text{Km}})(17.6 \text{ A})(25\text{m})}{5(127 \text{ V})} = 2.928\%. \text{ El rango máximo para } e\% = 2 - 3\%, \quad (82)$$

donde: L=Longitud donde se encuentra el interruptor hasta el tablero general del lugar, para este caso se sugieren 25 m, Z=Impedancia, I= corriente nominal por ramal y Er= Tensión de servicio.

Para determinar cuántos volts se pierden en el tránsito de energía, se utiliza la ecuación (15). Para un nivel de tensión de 127 V el resultado se muestra en la ecuación (83).

$$E_t = \frac{(2.928\%)(127 \text{ V})}{100} = 3.718 \text{ V}, \quad (83)$$

donde $E_r=127 \text{ V}$, por lo tanto, tenemos una pérdida de 3.718 V en el transporte de energía.

Para determinar el conductor de puesta a tierra a equipos, en el Anexo 9 se muestra la Tabla 250-122 la cual muestra el calibre del cable que utilizaremos. El interruptor elegido es de 25 A y utilizaremos un conductor calibre 12/AWG/cobre.

Para la canalización, utilizaremos un tubo conduit de pared gruesa. El número de conductores totales = 3 (L1, L2, Tierra). Para el cable calibre 10 el área aproximada se obtiene al utilizar la ecuación (84).

$$\text{Área aproximada (L1, L2)} = 55.68 \text{ mm}^2. \quad (84)$$

El cálculo del área total se obtiene utilizando la ecuación (18) y los resultados se presentan en la ecuación (85).

$$AT = 2 \text{ conductores } (55.68 \text{ mm}^2) + (11.68 \text{ mm}^2) = 123.04 \text{ mm}^2. \quad (85)$$

El Anexo 10, muestra la Tabla 344 para tubos conduit metálico pesado. Con base a esta información, se considera un valor comercial de 141 mm^2 y cables de tamaño comercial de $\frac{3}{4}$.

Para la generación del sistema, se requiere la potencia nominal de salida del sistema, esta se obtiene de la ficha técnica del proveedor=500 W. El cálculo se obtiene utilizando la ecuación (20), donde: Potencia nominal de salida AC del microinversor=500W, HSP=6.07 horas, el número de microinversores=2. El resultado es mostrado en la ecuación (86).

$$SFV = (500 \text{ W})(2 \text{ micros}) = 1000 \text{ W}. \quad (86)$$

La generación de energía eléctrica por día, mes y año se calcula utilizando la ecuación (22), y los resultados se muestran en las ecuaciones (87), (88) y (89), respectivamente.

$$\text{Generación por día} = (1000 \text{ W})(6.07 \text{ h}) = 6.070 \frac{\text{KWh}}{\text{día}} \quad (87)$$

$$\text{Generación por mes} = (6.070 \frac{\text{KWh}}{\text{día}})(30 \text{ días}) = 182.10 \frac{\text{KWh}}{\text{mes}} \quad (88)$$

$$Generación\ anual = (6.070 \frac{KWh}{día}) (365\ días) = 2215.55 \frac{KWh}{anual} \quad (89)$$

Algunos proyectos utilizan herramientas tecnológicas más complejas, como aplicaciones de software instalados a los paneles solares, que mejoran la eficiencia de captación de los rayos solares. Esta aplicación tecnológica mantiene en movimiento rotacional los paneles solares y no fijos como generalmente están instalados, esto permite captar más energía solar siguiendo la posición de los rayos solares. Mientras que, para el caso de proyectos donde se tengan paneles ubicados en posiciones fijas o estáticas, es necesario encontrar cuál es la posición y ubicación óptima de los paneles.

Para encontrar la inclinación más viable se utilizó la ecuación (90), resultado del análisis de cálculos de irradiación global horizontal para diferentes inclinaciones del panel, aplicable a los tres casos de estudio.

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.3 |\varphi| = 4, \quad (90)$$

donde: β_{opt} = Inclinación óptima para maximizar la captación de energía anual en grados sexagesimales y φ = Latitud del lugar en grados sexagesimales.

En la Figura 19 se representa el resultado de la conversión de latitud $18^{\circ}43'38''$ de la comunidad de Jonacatepec de Leandro Valle a grados sexagesimales [45].

$18^{\circ}43'38''$ minuto = 0.3 grado sexagesimal

De:	A:
18°43'38	0.3
grado sexagesimal radián grado centesimal gon minuto segundo signo	grado sexagesimal radián grado centesimal gon minuto segundo signo

Figura 19. Resultado de la conversión de coordenadas de latitud a grado sexagesimal.

Ahora bien, para encontrar la orientación de los paneles fotovoltaicos primero se debe obtener el ángulo óptimo, el cual se calcula utilizando la ecuación (91), aplicable a los tres casos de estudio. [46].

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 |\varphi|. \quad (91)$$

Una vez que se obtienen las coordenadas, se puede verificar el ángulo de inclinación recomendado, considerando que la orientación es hacia el Sur preferentemente y con coordenadas: Latitud: $18^{\circ}43'38''$, Longitud: $98^{\circ}44'52''$. Mediante el uso de la ecuación

(92) se obtiene que el ángulo óptimo para este proyecto (aplicable a los tres casos), el cual es igual a 11° .

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 |184338| = 11^\circ. \quad (92)$$

En las Tablas 5, 6 y 7 se presenta un resumen del dimensionamiento para los 3 casos de estudio. No se consideran baterías ya que el sistema se mantiene conectado a la red y el exceso de energía se regresa a la red eléctrica mediante el uso de un medidor bidireccional.

ESPECIFICACIONES	CASO DE ESTUDIO 1 a 127 V.	CASO DE ESTUDIO 1 a 220 V.
Superficie	1,000 m ²	1,000 m ²
Potencia panel	350 W	550 W
Consumo diario	43.1167123 KWh	69.4136986 KWh
Número de módulos fotovoltaicos.	26 -marca IUSA (PV-11-350) monocristalino – bifacial de 350 Watts	17-JA SOLAR (JAM72S30/525-550MR) panel monocristalino – bifacial de 550 Watts
Número de microinversores	13- (BDM 600LV) marca Zus ASOL-PV-17 con dos puertos a 127 V.	9 (modelo BDM-800) marca Zus ASOL-PV-17 con dos puertos a 220V.
Horas solar pico	6.07 h	6.07 h
Conductores	L1 y L2 de 10 AWG/cobre. Conductor de tierra calibre 12 AWG/ cobre.	L1 y L2 de 10 AWG/cobre. Conductor de tierra calibre 12 AWG/ cobre.
Canalización	$\frac{3}{4}$ de pulgada, para 25 m de longitud.	$\frac{3}{4}$ de pulgada, para 25 m de longitud.
Generación del sistema fotovoltaico por día	$39.455 \frac{KWh}{día}$	$40.972 \frac{KWh}{día}$
Generación del sistema fotovoltaico por mes	$1,183.65 \frac{KWh}{mes}$	$1,229.16 \frac{KWh}{mes}$
Generación del sistema fotovoltaico anual	$14,401.075 \frac{KWh}{anual}$	$14,954.78 \frac{KWh}{anual}$
Inclinación óptima en grados sexagesimales	4	4
Ángulo de inclinación	11°	11°

Tabla 5. Resumen del sistema para el caso de estudio 1.

ESPECIFICACIONES	CASO DE ESTUDIO 2 a 127 V	CASO DE ESTUDIO 2 a 220 V.
Superficie	600 m ²	600 m ²
Potencia panel	350 W	550 W
Consumo diario	22.039726 KWh.	22.03 KWh
Número de módulos fotovoltaicos.	13- marca IUSA (PV-11-350) monocristalino – bifacial de 350 Watts	8-JA SOLAR (JAM72S30/525-550MR) monocristalino – bifacial de 550 Watts
Número de microinversores	7- (BDM 600LV) marca Zus ASOL-PV-17 con puertos a 127 V.	4- modelo (BDM 800LV) marca Zus ASOL-PV-17 puertos a 220V.
Horas solar pico	6.07 h	6.07 h
Conductores	L1 y L2 de 10 AWG/cobre. Conductor de tierra calibre 12 AWG/ cobre.	L1 y L2 de 10 AWG/cobre. Conductor de tierra calibre 12 AWG/ cobre.
Canalización	¾ de pulgada, para 25 m de longitud.	¾ de pulgada, para 25 m de longitud.
Generación del sistema fotovoltaico por día	21.245 $\frac{KWh}{día}$,	18.210 $\frac{KWh}{día}$,
Generación del sistema fotovoltaico por mes	637.35 $\frac{KWh}{mes}$,	546.3 $\frac{KWh}{mes}$,
Generación del sistema fotovoltaico anual	7,754.425 $\frac{KWh}{anual}$	6,646.65 $\frac{KWh}{anual}$
Inclinación óptima en grados sexagesimales	4	4
Ángulo de inclinación	11°	11°

Tabla 6. Resumen del sistema para el caso de estudio 2.

ESPECIFICACIONES	CASO DE ESTUDIO 3 a 127 V.
Superficie	300 m ²
Potencia panel	350 W
Consumo diario	6.8810 KWh
Número de módulos fotovoltaicos.	4- IUSA (PV-11-350) monocristalino – bifacial de 350 Watts
Número de microinversores	2- modelo BDM 600LV, marca IUSA puertos a 127V.
Horas solar pico	6.07 h
Conductores	L1 y L2 de 10 AWG/cobre. Conductor de tierra calibre 12 AWG/ cobre.
Canalización	¾ de pulgada, para 25 m de longitud.
Generación del sistema fotovoltaico por día	6.070 $\frac{KWh}{día}$
Generación del sistema fotovoltaico por mes	182.10 $\frac{KWh}{mes}$
Generación del sistema fotovoltaico anual	2215.55 $\frac{KWh}{anual}$
Inclinación óptima en grados sexagesimales	4
Ángulo de inclinación	11°

Tabla 7. Resumen del sistema para el caso de estudio 3.

En las Tablas 8 y 9 se presenta la cantidad de material requerido y su cotización para el caso de estudio 1 a niveles de tensión de 127 V y 220 V, respectivamente. En el Anexo 13 se presenta una cotización de un kit solar.

Componente	Cantidad	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)	Vida Útil (años)
Módulos solares marca IUSA 350W	26	\$2,851	\$74,126	10
Inversor (BDM 600LV) marca Zus ASOL-PV-17 con dos puertos a 127 V.	13	\$4,219	\$54,847	10
Estructura metálica galvanizada	10	\$1,050	\$10,500	10
ITM (25ª)	1	\$381	\$381	
Cable calibre 10	25 m	\$26	\$650	
Cable calibre 12	25 m	\$16	\$400	
Tubería 66onduit ¾	10 m	\$210	\$2100	
Conectores	10	\$20	\$200	
Mano de obra		\$14,399.18	\$14,399.18	
			\$157,603.18	

Tabla 8. Determinación de los costos para el caso de estudio 1 a 127 V. Elaboración propia.

Componente	Cantidad	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)	Vida Útil (años)
Módulos solares marca SOLAR 550W	17	\$3,353	\$57,001	10
Inversor (BDM 800LV) marca Zus ASOL-PV-17 con dos puertos a 220 V.	9	\$5,120	\$46,080	10
Estructura metálica galvanizada	10	\$1,050	\$10,500	10
ITM (25ª)	1	\$381	\$381	
Cable calibre 10	25 m	\$26	\$650	
Cable calibre 12	25 m	\$16	\$400	
Tubería 66onduit ¾	10 m	\$210	\$2100	
Conectores	10	\$20	\$200	
Mano de obra		\$14,399.18	\$14,399.18	
			\$131,912.18	

Tabla 9. Determinación de los costos para el caso de estudio 1 a 220 V. Elaboración propia.

Las Tablas 10 y 11 se presenta la cantidad de material requerido y su cotización para el caso de estudio 2 a niveles de tensión de 127 V y 220 V, respectivamente.

Componente	Cantidad	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)	Vida Útil (años)
Módulos solares marca IUSA 350W	13	\$2,851	\$37,063	10
Inversor (BDM 600LV) marca IUSA a 127 V.	7	\$4,219	\$29,533	10
Estructura metálica galvanizada	9	\$1,050	\$9,450	10
ITM (25A)	1	\$381	\$381	
Cable calibre 10	25 m	\$26	\$650	
Cable calibre 12	25 m	\$16	\$400	
Tubería conduit $\frac{3}{4}$	10 m	\$210	\$2100	
Conectores	10	\$20	\$200	
Mano de obra		\$14,399.18	\$14,399.18	
			\$94,176.18	

Tabla 10. Determinación de los costos para el caso de estudio 2 a 127 V. Elaboración propia.

Componente	Cantidad	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)	Vida Útil (años)
Módulos solares marca SOLAR 550W	8	\$3,353	\$26,824	10
Inversor (BDM 800LV) marca IUSA a 220 V.	4	\$5,120	\$20,480	10
Estructura metálica galvanizada	9	\$1,050	\$9,450	10
ITM (25A)	1	\$381	\$381	
Cable calibre 10	25 m	\$26	\$650	
Cable calibre 12	25 m	\$16	\$400	
Tubería conduit $\frac{3}{4}$	10 m	\$210	\$2100	
Conectores	10	\$20	\$200	
Mano de obra		\$14,399.18	\$14,399.18	
			\$74,884.18	

Tabla 11. Determinación de los costos para el caso de estudio 2 a 220 V. Elaboración propia.

La Tabla 12 presenta la cantidad de material requerido para el caso de estudio 3 a un nivel de tensión de 127 V y su cotización.

Componente	Cantidad	Precio Unitario (MXN)	Precio Total (MXN)	Vida Útil (años)
Módulos solares marca IUSA de 350W	4	\$2,851	\$11,404	10
Inversor (BDM 600LV) marca Zus ASOL-PV-17 con dos puertos a 127 V ó 220V, según sea el caso.	2	\$4,219	\$8,438	10
Estructura metálica galvanizada	9	\$1,050	\$9,450	10
ITM (25A)	1	\$381	\$381	
Cable Calibre 10	25 m	\$26	\$650	
Cable calibre 12	25 m	\$16	\$400	
Tubería conduit ¾	10 m	\$210	\$2100	
Conectores	10	\$20	\$200	
Mano de obra		\$14,399.18	\$7,199.59	
			\$40,222.59	

Tabla 12. Determinación de los costos para el caso de estudio 3. Elaboración propia.

3.2. Plan de sembrado del cultivo.

Como se definió en la sección 2.2 un plan de siembra es un dibujo a escala que detalla los cultivos que se plantarán, cuándo se plantarán, cómo se plantarán y cómo se cuidarán. A continuación, se propone un plan de sembrado para el parque agrovoltaico del ejemplo 1 considerando una superficie designada para sembrar de 50.75 m², con la opción de sembrar dos cultivos en la misma superficie. La propuesta de plan de sembrado para uso agrícola para la estación de primavera que inicia el 21 de marzo y finaliza el 20 de junio se presenta a continuación y la Tabla 13 muestra la matriz de gastos e ingresos para el plan de sembrado.

A	Lechuga romana
B	Menta

A	B
---	---

Cultivo	Precio de venta MXN (pieza /ramo)	Superficie para cosecha	Gastos de materia prima (fertilizante, composta, semilla)	Instrucciones de siembra	Ingreso aproximado por la venta del cultivo
Lechuga romana	\$15	25 m ² Aproximadamente	* Fertilizante de liberación controlada diluido en agua por periodos de hasta 6 meses Nitro Tabs = \$49. (\$49)(2 paquetes) = \$98. * Composta: Cantidad recomendada: 2 Kg por m² al año. (2 Kg)(25 m²) = 50 Kg. Aproximadamente \$230. * Semilla marca Vita, empaque con 2,400 semillas = (\$55)(3 cosechas al año) = \$165 Total: \$98+\$230+\$165 = \$493.	Distancia entre planta y planta 50 cm. Se recomienda sembrar entre 10 y 40 plantas por metro cuadrado (elegiremos 20 plantas por metro cuadrado) y el equivalente de 4 a 6 semillas cada surco (elegiremos 4 semillas), en total tenemos: 2000 semillas en 25 m².	Se estima una producción de 42,880 unidades por hectárea, entonces en 25 m² tenemos aproximadamente 100 unidades. (100 unidades)(\$15) = \$1,500 – \$493 (Gastos) = \$1,007 (Pueden obtenerse de 2 – 4 cosechas por año), aproximadamente. Estableciendo un aproximado de 3 cosechas al año tenemos: (\$1,007)(3) = \$3,021.
Menta	\$10	25 m ² Aproximadamente	* Fertilizante de liberación controlada diluido en agua por periodos de hasta 6 meses Nitro Tabs = \$49. (\$49)(2 paquetes) = \$98. * Composta: Cantidad recomendada: 2 Kg por m² al año. (2 Kg)(25 m²) = 50 Kg. Aproximadamente \$230. * Semilla marca Vita, empaque con 650 semillas = (\$27)(4 cosechas al año) = \$108. Total: \$98+\$230+\$108 = \$436.	Distancia entre planta y planta 50 cm. Se recomienda sembrar entre 6 y 8 plantas por metro cuadrado (elegiremos 8 plantas por metro cuadrado) y el equivalente de 2 a 3 semillas cada surco (elegiremos 3 semillas), en total tenemos: 600 semillas en 25 m².	Se estima una producción de 70,000 – 100,000 plantas por hectárea, (elegiremos en promedio 90,000) por hectárea, entonces en 25 m² tenemos aproximadamente 225 plantas/2 plantas por ramo = 112.5. (112 Ramos)(\$10)= \$1120 – \$436 (Gastos) = \$684 cada 80 días aproximadamente. 365 días/80 días = 4.56 cosechas al año aproximadamente, redondeando a 4 cosechas tenemos: (\$684)(4) = \$2,736.
Ingreso anual aproximado por la venta del cultivo					Lechuga romana \$3,021 Menta \$2,736 TOTAL = \$5,757.

Tabla 13. Matriz de gastos e ingresos para el caso 1, este corresponde al nivel de tensión de 127 V.

A continuación, se propone un segundo plan de sembrado para el parque agrovoltáico del ejemplo 1 para una superficie destinada a la siembra de 47.34 m². La Tabla 14 muestra la matriz de gastos e ingresos para el plan de sembrado.

A	Perejil
B	Romero

A	B
---	---

Cultivo	Precio de venta MXN (ramo)	Superficie para cosecha	Gastos de materia prima (fertilizante, composta, semilla)	Instrucciones de siembra	Ingreso aproximado por la venta del cultivo
Perejil	\$10	24 m ² aproximadamente	* Fertilizante de liberación controlada diluido en agua por periodos de hasta 6 meses Nitro Tabs = \$49. (\$49)(2 paquetes) = \$98. * Composta: Cantidad recomendada: 2 Kg por m² al año. (2 Kg)(25 m²) = 50 Kg. Aproximadamente \$230. *Semilla – Su costo es de aproximadamente \$67 por cada 100 gramos, lo requerido por las 3 cosechas anuales Total: \$98+\$230+\$67 = \$395.	Distancia entre planta y planta 5 – 8 cm. Se recomienda sembrar el equivalente de 1 a 1.5 gramos por m². (elegiremos 1.5 gramos), en total tenemos que sembrar 36 gramos de semillas en 24 m².	Se estima una producción de 1 a 1.2 millones de plantas por hectárea, (elegiremos en promedio 1 millón) por hectárea entonces en 25 m² tenemos aproximadamente 2500 plantas/18 plantas por ramo = 138 ramos. (138 Ramos)(\$10) = \$1,380 – \$395 (Gastos) = \$985 (Pueden obtenerse de 2 – 4 cosechas por año), aproximadamente. Estableciendo un aproximado de 3 cosechas al año tenemos: (\$985)(3) = \$2,955.
Romero	\$6	23 m ² aproximadamente	* Fertilizante de liberación controlada diluido en agua por periodos de hasta 6 meses Nitro Tabs = \$49. (\$49)(2 paquetes) = \$98. * Composta: cantidad recomendada: 2 Kg por m² al año. (2 Kg)(25 m²) = 50 Kg.	Distancia de planta y p cm. Se recomienda se equivalente de 0.5 gra 200 plantas, tenemos sembrar 0.5 gramos de en 23 m².	Se estima una producción de 40,000 a 60,000 plantas por hectárea, (elegiremos en promedio 50,000) por hectárea entonces en 25 m² tenemos aproximadamente 125 plantas/0.5 plantas por ramo = 250 ramos. (250 ramos)(\$6) = \$1,500 – \$580 (Gastos)

			Aproximadamente \$230. *Semilla – Su costo es de aproximadamente \$21 por cada 0.05 gramos/sobre, se requieren 12 sobres por año. Total: \$98+\$230+\$252 = \$580.		= \$920 (pueden obtenerse de 2 – 4 cosechas por año), aproximadamente. Estableciendo un aproximado de 3 cosechas al año tenemos: (\$920)(3) = \$2,760.
Ingreso anual aproximado por la venta del cultivo					Perejil \$2,955. Romero \$2,760. TOTAL = \$5,715.

Tabla 14. Matriz de gastos e ingresos para el caso 1, este corresponde al nivel de tensión de 220 V.

El siguiente plan de sembrado se propone para el ejemplo 2 considerando una superficie designada para sembrar de 25.37 m². La propuesta de plan de sembrado para uso agrícola para la estación de primavera que inicia el 21 de marzo y finaliza el 20 de junio se presenta a continuación y la Tabla 15 muestra la matriz de gastos e ingresos para el plan de sembrado.

A	Acelga
B	Brócoli

A	B
---	---

Cultivo	Precio de venta MXN (ramo/Kg)	Superficie para cosecha	Gastos de materia prima (fertilizante, composta, semilla)	Instrucciones de Siembra	Ingreso aproximado por la venta del cultivo
Acelga	\$10	12 m ² Aproximadamente	* Fertilizante de liberación controlada diluido en agua por periodos de hasta 6 meses Nitro Tabs = \$49. (\$49)(2 paquetes) = \$98. * Composta: Cantidad recomendada: 2 Kg	Distancia de planta y planta 25 cm, aproximadamente 7 plantas por m ² . Se recomienda sembrar el equivalente de 16 a 20 kilogramos por hectárea (elegiremos en promedio 18 kilogramos)	Se estima una producción de 40,000 a 60,000 plantas por hectárea, (elegiremos en promedio 50,000) por hectárea entonces en 12 m ² tenemos aproximadamente 60 plantas/0.3 plantas por ramo = 200 ramos.

			por m² al año (2 Kg)(12 m²) = 24 Kg. Aproximadamente \$120. * Semilla marca Var Ford Hook, empaque con 60 semillas/gramo = (\$15)(22 empaques) (4 cosechas al año) = \$1,320. Total: \$98+\$120+\$1,320 = \$1,538.	por hectárea, entonces en 12 m² necesitamos aproximadamente 22 gramos de semilla.	(200 ramos)(\$10) = \$2,000 – \$1,538 (Gastos) = \$462 (Pueden obtenerse de 2 – 4 cosechas por año), aproximadamente. Estableciendo un aproximado de 4 cosechas al año tenemos: (\$462)(4) = \$1,848.
Brócoli	\$30	13 m ² Aproximada mente	* Fertilizante de liberación controlada diluido en agua por periodos de hasta 6 meses Nitro Tabs = \$49. (\$49)(2 paquetes) = \$98. * Composta: Cantidad recomendada: 2 Kg por m² al año (2 Kg)(13 m²) = 26 Kg. Aproximadamente \$130. * Semilla marca Var Waltham 29, empaque con 60 semillas/gramo = (\$20.5)(4 cosechas al año) = \$82. Total: \$98+\$130+\$82 = \$310.	Distancia de planta y planta 30 cm. Se recomienda sembrar el equivalente de 200 a 250 gramos de semilla por hectárea (elegiremos en promedio 220 gramos) por hectárea, entonces en 13 m² necesitamos aproximadamente 0.286 gramos de semilla.	Se estima una producción de 30,000 a 80,000 plantas por hectárea, (elegiremos en promedio 50,000) por hectárea entonces en 13 m² tenemos aproximadamente 65 plantas, cada planta produce en promedio 0.7 kilogramos. (65 plantas) (0.7 Kg) = 45.5 Kg. (45.5 Kg)(\$30) = \$1,365 – \$310 (Gastos) = \$1,055. El tiempo necesario de crecimiento oscila entre 50 y 100 días (elegiremos en promedio 70 días). 365 días/80 días = 4.56 cosechas al año aproximadamente, redondeando a 4 cosechas tenemos: (\$1,055)(4) = \$4,220.
Ingreso anual aproxima do por la venta del cultivo					Acelga \$1,848. Brócoli \$4,220. TOTAL = \$6,068.

Tabla 15. Matriz de gastos e ingresos para el caso 2, este corresponde al nivel de tensión de 127 V.

Continuando con el ejemplo 2 y considerando una superficie de siembra de 22.28 m². La propuesta de plan de sembrado se presenta a continuación y la Tabla 16 muestra la matriz de gastos e ingresos para el plan de sembrado.

A	Apio
B	Cebolla morada

A	B
---	---

Cultivo	Precio de venta MXN (Kg)	Superficie para cosecha	Gastos de materia prima (fertilizante, composta, semilla)	Instrucciones de siembra	Ingreso aproximado por la venta del cultivo
Apio	\$20	11 m ² Aproximada mente	* Fertilizante de liberación controlada diluido en agua por periodos de hasta 6 meses Nitro Tabs = \$49. (\$49)(2 paquetes) = \$98. * Composta: Cantidad recomendada: 2 Kg por m² al año (2 Kg)(11 m²) = 22 Kg. Aproximadamente \$100. * Semilla marca Var Utah Tall, empaque con 800 semillas/gramo = (\$29)(22 empaques) (4 cosechas al año) = \$2,552. Total: \$98+\$100+\$2,552 = \$2,750.	Distancia de planta y planta 40 cm. Se recomienda sembrar el equivalente de 1 a 2 gramos de semilla por m², entonces en 11 m² necesitamos aproximadamente (2 gramos)(11 m²) = 22 gramos de semilla.	Se estima una producción de 125,000 plantas por hectárea, entonces en 11 m² tenemos aproximadamente 137.5 plantas. Cada planta produce en promedio 1.7 kilogramos. (137.5 plantas) (1.7 Kg) = 233.75 Kg. (233.75 Kg)(\$20) = \$4,675 – \$2,750 (Gastos) = \$1,925. El tiempo necesario de crecimiento oscila entre 50 y 80 días (elegiremos en promedio 80 días). 365 días/80 días = 4.56 cosechas al año aproximadamente, redondeando a 4 cosechas tenemos: (\$1,925)(4) = \$7,700.
Cebolla morada	\$45	11 m ² Aproximada mente	* Fertilizante de liberación controlada diluido en agua por periodos de hasta 6 meses Nitro Tabs = \$49. (\$49)(2 paquetes) = \$98. * Composta: Cantidad	Distancia de planta y planta 15 cm. Se recomienda sembrar el equivalente de 7 a 10 gramos de semilla por m², entonces en 11 m² necesitamos aproximadamente (10 gramos)(11 m²)	Se estima una producción de 300,000 plantas por hectárea, entonces en 11 m² tenemos aproximadamente 330 plantas. Una planta produce una cebolla y se necesitan aproximadamente de

			recomendada: 2 Kg por m ² al año (2 Kg)(11 m ²) = 22 Kg. Aproximadamente \$100. * Semilla marca Var Red Burgundy, empaquete con 210 semillas/gramo = (\$28.50) (11 empaques) (2 cosechas al año) = \$627. Total: \$98+\$100+\$627 = \$825.	= 110 gramos de semilla.	4 – 6 cebollas por Kilogramo (elegiremos en promedio 5 cebollas por kilogramo) 330 cebollas/5 = 66 Kg. (66 Kg)(\$45) = \$2,970 – \$825 (Gastos) = \$2,145. El tiempo necesario de crecimiento oscila entre 160 y 200 días (elegiremos en promedio 180 días). 365 días/180 días = 2.02 cosechas al año aproximadamente, redondeando a 2 cosechas tenemos: (\$2,145)(2) = \$4,290.
Ingreso anual aproximado venta del cultivo					Apio \$7,700. Cebolla morada \$4,290. TOTAL = \$11,990.

Tabla 16. Matriz de gastos e ingresos para el caso 2, este corresponde al nivel de tensión de 220 V.

Finalmente, el siguiente plan de sembrado se propone para el ejemplo 3 considerando una superficie designada para sembrar de 7.80 m². La propuesta de plan de sembrado para uso agrícola para la estación de primavera que inicia el 21 de marzo y finaliza el 20 de junio se presenta a continuación y la Tabla 17 muestra la matriz de gastos e ingresos para el plan de sembrado.

A	Lechuga Romana
---	----------------

A

Cultivo	Precio de venta MXN (pieza)	Superficie para cosecha	Gastos de materia prima (fertilizante, composta, semilla)	Instrucciones de siembra	Ingreso aproximado por la venta del cultivo
Lechuga romana	\$15	8 m ² Aproximadamente	* Fertilizante de liberación controlada diluido en agua por periodos de hasta 6 meses Nitro Tabs = \$49. (\$49)(1 paquete) = \$49	Distancia entre planta y planta 50 cm. Se recomienda sembrar entre 10 y 40 plantas por metro cuadrado (elegiremos 20 plantas por metro cuadrado) y el equivalente de 4 a 6	Se estima una producción de 42,880 unidades por hectárea, entonces en 25 m ² tenemos aproximadamente 34 unidades (34 unidades)(\$15) = \$510 – \$269 (Gastos) = \$241 (Pueden obtenerse

			* Composta: Cantidad recomendada: 2 Kg por m² al año $(2 \text{ Kg})(8 \text{ m}^2) = 16 \text{ Kg}$. Aproximadamente \$110. * Semilla marca Vita, empaque con 1,400 semillas $= (\\$55)(2 \text{ cultivos al año}) = \\110 Total: $\\$49 + \\$110 + \\$110 = \\269.	semillas cada surco (elegiremos 4 semillas), en total tenemos: 640 semillas en 8 m ² .	de 2 – 4 cosechas por año), aproximadamente. Estableciendo un aproximado de 4 cosechas al año tenemos: $(\$241)(4) = \mathbf{\$964}$.
Ingreso anual aproximado por la venta del cultivo					TOTAL = \$964.

Tabla 17. Matriz de gastos e ingresos para el caso 3, este corresponde al nivel de tensión de 127 V.

3.3. Inversión total y tiempo de recuperación.

La Tabla 18 muestra la inversión total inicial contra el pago anual por el servicio que proporciona la CFE. Con base a eso se puede hacer una estimación del tiempo necesario para recuperar la inversión inicial, lo cual se muestra en la cuarta columna. Para poder estimar el costo del pago anual de servicio a la CFE se hace uso de una calculadora de costo de consumo de energía avalada por la CFE [47].

Nivel de Tensión	Inversión total inicial (Proyecto)	Pago anual de servicio CFE	Tiempo necesario para recuperar la inversión	Ingreso derivado de los cultivos por año (aproximadamente)	Inversión estimada considerando el ingreso por los cultivos y el pago anual a CFE
Caso 1					
127 V	\$157,603.18	15737 Kwh \$67327.22	2 años y 4 meses. 14 bimestres.	\$5,757	$(\$5,757)(2.5 \text{ años}) =$ \$14,392.5 $\$157,603.18 - \$14,392.5 =$ \$143,210.6 $\$143,210.6 / \$67327.22 = 2$ años (12 bimestres aproximadamente).
220 V	\$131,912.18	15737 Kwh \$67327.22	2 años. 12 bimestres.	\$5,715	$(\$5,715)(2 \text{ años}) =$ \$11,430 $\$131,912.18 - \$11,430 =$ \$120,482.18 $\$120,482.18 / \$67327.22 = 1$ año y 9 meses (10 bimestres aproximadamente).
Caso 2					
127 V	\$94,176.18	8044.5 Kwh \$33978.68	2 años y 9 meses. 17 bimestres	\$6,068	$(\$6,068)(2.5 \text{ años}) =$ \$15,170 $\$94,176.18 - \$15,170 =$ \$79,006.18 $\$79,006.18 / \$33978.68 = 2$ años y 4 meses (14 bimestres aproximadamente).
220 V	\$74,884.18	8044.5 Kwh \$33978.68	2 años y 2 meses. 13 bimestres	\$11,990	$(\$11,990)(2 \text{ años}) =$ \$23,980 $\$74,884.18 - \$23,980 =$ \$50,904.18 $\$50,904.18 / \$33978.68 = 1$ año y 6 meses (9 bimestres aproximadamente).
Caso 3					
					$(\$964)(4 \text{ años}) =$ \$3,856 $\$40,222.59 - \$3,856 =$

127 V	\$40,222.59	2511.6 Kwh \$9993.57	4 años. 24 bimestres.	\$964	\$36,366.59 \$36,366.59/\$9993.57 = 3 años y 7 meses (21 bimestres aproximadamente).
-------	--------------------	--------------------------------	--------------------------	--------------	---

Tabla 18. Desglose de inversión inicial para cada caso de estudio. Elaboración propia.

3.4. Modelo de negocio.

A continuación, se describen los 9 pasos plasmados en el modelo Canvas, mismo que se implementan en el proyecto;

1. Propuesta de valor: La propuesta de valor o también llamada ventaja competitiva es la razón por la cual el cliente nos elige, es decir, lo que nos hace diferente e innovador en nuestro proyecto, en este caso son parques agrovoltaicos que trabajan en conjunto con la ganadería y agricultura, además, como un beneficio extra la energía eléctrica generada por los paneles solares se puede ocupar para deshidratación de alimentos, purificación y bombeo de agua, abastecimiento de energía para el hogar, o su venta de este recurso entre muchas otras opciones.

2. Segmento de clientes. En este apartado se busca segmentar nuestro nicho de mercado al que vamos dirigidos, por ejemplo, para este proyecto son personas residentes de la comunidad de Jonacatepec de Leandro Valle, que tengan campos, ranchos o terrenos destinados a la ganadería y agricultura.

3. Canales de distribución. En este apartado se busca definir los diferentes canales de distribución y difusión del parque agrovoltaico, por lo que para el proyecto son, las redes sociales, folletos y ferias ambientales.

4. Relación con los clientes. El objetivo del apartado es mantener la relación y comunicación periódica con los clientes fieles para mantenerlos, por lo que se propone, seguimiento telefónico, encuestas de satisfacción, apoyo técnico y mantenimiento.

5. Fuentes de ingresos. El objetivo principal es monetizar la propuesta mediante la obtención de un flujo de efectivo constante que permita mantener la rentabilidad del negocio. Para ello, se buscará generar ingresos a través de la venta del proyecto en sí, la comercialización de la energía producida, y la venta de los cultivos derivados de las actividades agrícolas.

6. Recursos clave. Son los recursos esenciales para la operación y funcionamiento del producto o servicio. Para la propuesta del proyecto son el capital humano multidisciplinario, ganaderos, agricultores, apicultores, electricistas, investigadores, los campos de cultivo extensos, paneles solares bifaciales o mono faciales y baterías de energía.

7. Recursos clave. Son las actividades que nos distinguen de nuestros competidores y que permiten llevar a cabo la propuesta de valor. Para este proyecto son el capital humano multidisciplinario; ganaderos, agricultores, electricistas, investigadores, etc.

8. Socios clave. Este apartado involucra los aliados y colaboradores indispensables para poner en marcha el parque agrovoltaico. Los identificados para este caso fueron: Los proveedores de paneles solares, proveedor de materiales eléctricos, conexiones para paneles solares, etc. universidades, centros de Investigación, empresas agrícolas o productores y la comunidad local.

9. Costos. Haciendo referencia a los costos fijos y costos variables que como empresa u organización se deben pagar, para realizar las actividades. Para el parque agrovoltaico se identificaron las siguientes: Costos fijos: impuestos, compra de material (paneles, cableado etc), costos variables y mantenimiento.

A continuación, se representa el lienzo CANVAS para el proyecto en formato plantilla.

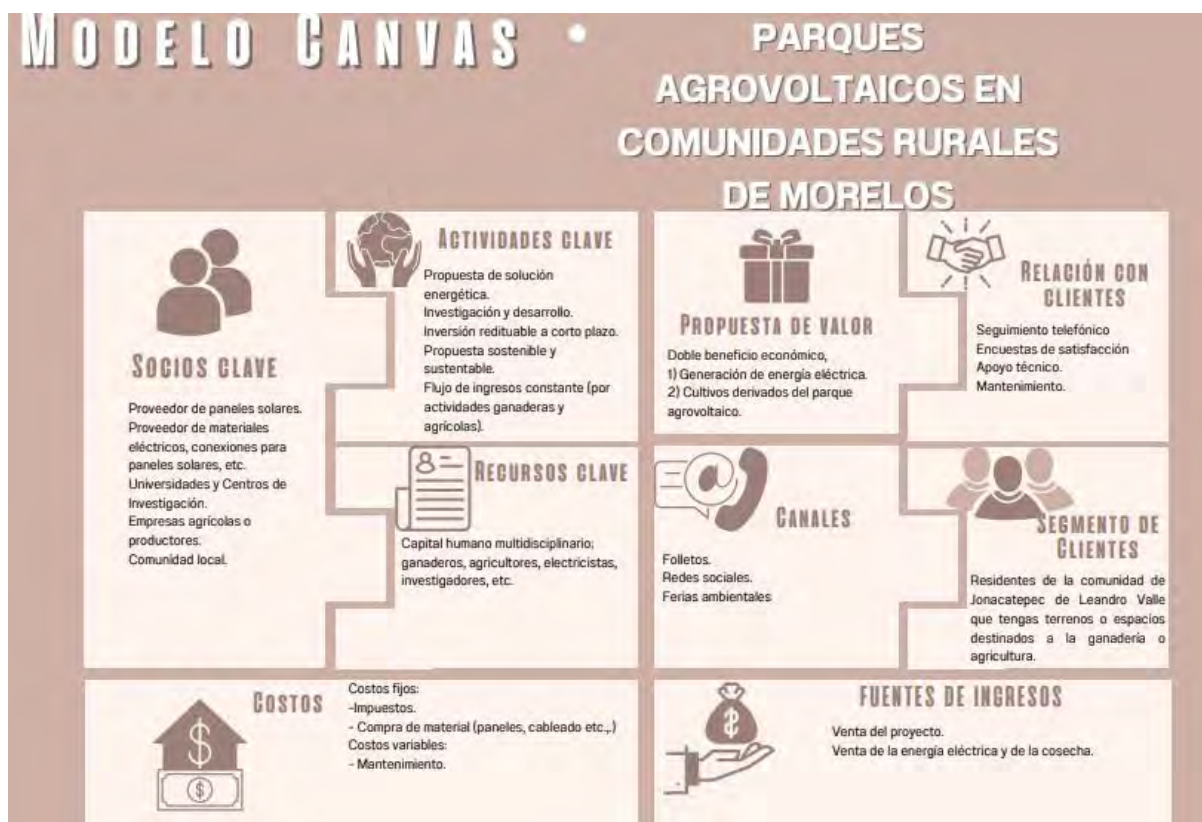


Figura 20. Lienzo Canvas Proyecto de Tesis Estudio de Factibilidad de Mercado Técnico y Económico para la puesta en marcha de Parques Agrovoltaicos en Comunidades Rurales de México.

4. Conclusiones.

Los proyectos agrivoltaicos o agrovoltaicos buscan la máxima sinergia entre la energía fotovoltaica y la agricultura mediante técnicas que consisten en instalar paneles solares en terrenos de cultivo, permitiendo que ambas actividades compartan la misma superficie. Desde esa perspectiva, los proyectos agrovoltaicos ofrecen una solución novedosa al combinar energías renovables con la agricultura sostenible. [48] Los paneles solares generan electricidad mientras los cultivos crecen debajo de estos. Es importante considerar que los paneles se deben instalar sobre estructuras elevadas (generalmente a unos cinco metros del suelo). [49]. Permitiendo el acceso de maquinaria agrícola para su mantenimiento y cuidado, y no entorpecer el crecimiento de los cultivos. La sombra que proyectan los paneles ayuda al crecimiento de las plantas (bloqueando el exceso de radiación solar) y sirve como defensa para la acumulación excesiva de agua y/o granizo en tiempos de lluvia, polvo y/o cenizas volcánica, entre otros fenómenos atmosféricos.

La idea principal de estos proyectos es favorecer el autoconsumo fotovoltaico

cubriendo las necesidades energéticas y fomentando las explotaciones agrícolas de los terrenos, permitiendo a los dueños generar ingresos adicionales mediante la siembra de productos que presenten buena adaptación a la sombra que proyectan los paneles. La implementación de microrredes agrovoltáicas son una excelente opción para ser instaladas en zonas vulnerables energéticamente en las que es difícil llevar los servicios de conexión de energía eléctrica de las empresas suministradoras como la CFE en nuestro país.

Respecto a nuestro proyecto, el estado de Morelos presenta un clima favorable para el aprovechamiento de la energía solar, ya que tiene una temperatura promedio en el verano de 28.6°C y una insolación media anual de 5.4 kWh/m² al día. El estado de Morelos es una buena opción para instalar proyectos de parques agrovoltáicos. Según datos de la Secretaría de Desarrollo Sustentable de Morelos, existen varias comunidades del estado de Morelos que pudieran ser candidatas para instalar parques de generación de energía fotovoltaica (ya sea comunitarios o de manera particular), estas comunidades son Puente de Ixtla, Jojutla, Mazatepec, Xochitepec y Jonacatepec de Leandro Valle. Sin embargo, de todas estas comunidades, la comunidad más coincidente en cuanto a un alto potencial de generación eléctrica, de elevada irradiación solar y aptitud fotovoltaica, y menor número de subestaciones eléctricas y líneas de distribución de energía instaladas es la comunidad de Jonacatepec de Leandro Valle, además, esta comunidad cuenta con disponibilidad de terreno y agricultura de riego para instalar sistemas agrovoltáicos. En el lado este del estado de Morelos ya se ubica un parque fotovoltaico (en el municipio de Xoxocotla), por lo que, la comunidad de Jonacatepec de Leandro Valle al encontrarse al este, posee las mismas condiciones climatológicas y geográficas del parque de Xoxocotla, siendo así muy factible la instalación de este tipo de parques.

Propusimos 3 casos de estudio para evaluar la factibilidad de instalar estos proyectos en el estado de Morelos: el primero considera un terreno de 1,000 m² con una casa donde habita una familia de cinco adultos y un menor. Se hace el diseño para un nivel de tensión de 127 V y 220V. El segundo caso considera un terreno de 600 m² con una casa donde habita una familia de dos adultos y un menor. Se hace el diseño para un nivel de tensión de 127 V y 220V. Finalmente el tercer caso considera un terreno de 300 m² con una casa donde habita una familia de dos adultos y un menor. Se hace el diseño para un nivel de tensión de 127 V.

Como podemos ver en los resultados obtenidos, los beneficios por la venta de los productos agrícolas ayuda a mitigar el impacto de la inversión inicial requerida para la instalación del parque agrovoltáico. En nuestros casos de estudio propusimos diferentes planes de sembrado con la finalidad de que el usuario elija los que le parezcan mas interesantes y le generen la mayor cantidad de recurso económico en

su venta. Cabe mencionar que los precios propuestos están en promedio hasta un 60% más bajos que los reportados en supermercados, tiendas de abarrotes o central de abastos, ya que la finalidad es venderlos rápidamente para poder amortizar la inversión inicial.

Además, los dimensionamientos para el resto del terreno se hicieron de tal manera que hubiera “energía disponible” para la instalación de bombas de agua, molinos de grano o por si los dueños de los terrenos quieren sembrar mas huertos del mismo tipo (aunque ya no ocuparían los paneles solares como sombra) pero se pueden hacer estructuras de la misma altura y cubrirlas con tejas u otros materiales similares y aumentar la producción de alimentos, ya que en los 2 primeros casos de estudio aún sigue quedando mucho terreno disponible para seguir siendo usado para esta actividad. También pueden alternarse otras actividades económicas como la cría de gallinas y/o la ganadería.

Además, se podrían vender productos elaborados con los cultivos, por ejemplo: hacer tamales de acelga, ensaladas y en general productos que lleven como complemento ingredientes de los productos sembrados en los huertos. Los planes de sembrado no están restringidos solo a los casos como fueron descritos, los usuarios pueden elegir entre cuales quiera de las opciones mostradas, sin embargo, hay que tener en cuenta que si son dos cultivos en un mismo terreno se debe considerar principalmente sus similitudes de requerimientos de agua y nutrientes para tener una cosecha lo más homogénea y estable posible. También el dueño del terreno puede buscar las opciones de cultivo más rentables, más resistentes y que en general le presenten el mayor beneficio posible. En la mayoría de los ejemplos que presentamos, la inversión inicial se amortiza entre 2 y 3.5 años, considerando que la vida útil de los componentes instalados es de 10 años. Tenemos una buena oportunidad para que las familias dueñas de estos terrenos generen ingresos que les permitan tener un mejor nivel de vida, favoreciendo el desarrollo de estas comunidades rurales.

Algunos estudios estiman que la electricidad generada por los paneles solares aumenta en más del 30% el valor económico de las explotaciones agrovoltaicas al mejorar la eficiencia y el rendimiento del terreno. [50]. Estos estudios concluyen que gracias a la aplicación combinada de la cosecha de energía fotovoltaica y la agricultura, la eficiencia del uso de la tierra con ambos sistemas se incrementa hasta en un 186%. [51]. Por ejemplo, en una zona costera puede tener un tercer uso ya que la electricidad generada puede alimentar una planta desalinizadora que produce agua, tanto para cultivos como para consumo humano, o las chinampas agrovoltaicas instaladas en Xochimilco, las cuales tienen la capacidad de aumentar la productividad agrícola, purificar agua, reducir el estrés hídrico y mitigar las dispersiones de vapores de efecto invernadero, permitiendo modelos de agricultura

sostenible, resiliente y rentables. [52].

Estos proyectos pueden implementarse en otras zonas del país considerando la metodología propuesta en este reporte, por ejemplo, permitiría que otras comunidades obtengan mayor rendimiento de sus terrenos, menor consumo de agua para el riego gracias a que los módulos fotovoltaicos permiten un sombreado parcial (esto ayudaría en zonas del país donde el recurso hídrico está muy comprometido). En zonas costeras de nuestro país le podemos dar un tercer uso ya que la electricidad generada puede alimentar una planta desalinizadora que produce agua tanto para cultivos como para consumo humano, también en zonas del país donde existan campos de cultivo cerca de ríos o acuíferos contaminados le podemos dar un tercer uso, ya que la electricidad generada puede alimentar una planta tratadora que produce agua descontaminada para los cultivos, entre otras posibles opciones.

En resumen, podemos concluir que la instalación de sistemas agrovoltaicos presentan una estrategia prometedora para hacer más sostenible el sector agrícola, permitiendo obtener una fuente adicional de ingresos para que los agricultores reinviertan en su negocio y aumenten su competitividad, cooperar en la lucha contra el cambio climático en México y disminuir la brecha energética de las comunidades marginadas (principalmente).

Bibliografía.

- [1] N. Panwar, S. Kaushik y K. Kamp, «[1] Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review.,» Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, nº 3, pp. 1513-1524, 2011.
- [2] M. Elborg, «M. Elborg. Reducing Land Competition for Agriculture and Photovoltaic Energy Generation – A Comparison of Two Agro-Photovoltaic Plants in Japan,» 2017.
- [3] ENELGREEN, «<https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2022/06/modelo-agrivoltaica- resultados- experimentacion>».
- [4] Enelgreenpower, «Los numerosos beneficios de la agrivoltaica para el mundo agrícola,» <https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2022/12/ beneficios-agrivoltaica-mundo-agricola>.
- [5] ENELGREEN, «<https://www.enelgreenpower.com/es/learninghub/autores/agrivoltaica- aliada transicion- ecologica>».
- [6] EDP-ENERGÍA, «<https://www.edpenergia.es/es/blog/energia fotovoltaica/beneficios-de-la-agrovoltaica-para-elentornorural/#:~:text=Permite%20nuevos%>».
- [7] ENELGREEN, «<https://www.enelgreenpower.com/es/historias/articles/2021/07/ayudar-abeyas>».
- [8] M. Ferro, El Universo de las Energías Renovables, España: Ediciones José Manuel Ferro Veiga, 2020.
- [9] F. Clandestino, «Generación energética de sistemas agrovoltaicos. bifaciales en el valle de Illuta,» Universidad de Chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería mecánica, 2020.
- [10] International Energy Association, «World Energy Outlook 2019 Summary,» pp. <https://www.iea.org/data-and- statistics/charts/installed-power-generation-capacity-by-source-in-the-stated-policies-scenario-2000-2040>., 2019.
- [11] F. Álvarez, «Evaluación del recurso solar para procesos industriales en zonas factibles en México,» Secretaría de Educación - Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, vol. Tesis de Maestría, pp. 1-81, https://prod-fillout-oregon-s3.s3.us-west-2.amazonaws.com/orgid-2846/flowpublicid-9BexSZBzb5us/42343c16-c0e34a6080ade6b661cf3df6jqY7V0tyJ9uf4TRrjllfmzhmYx3kk3EtVKKalDaVqzJZ8wEb3W7ZSnXHfuiPzZGvMJPMU7QDryJtLXdpgnYS2ffuavfM7ChhM8/MM_Francisco_Ivan, 2017.
- [12] Festival El Aleph, «México, tendencias de las energías fotovoltaicas,» Conversatorio Virtual, 2022.
- [13] Antonio Morales y Claudia Juárez, Ciencia UNAM-DGDC, «Especial Emergencia Climática: Chinampas agrovoltaicas, impulsar la agricultura y la energía solar, » Ciencia UNAM, <https://ciencia.unam.mx/leer/1323/tecnologia-agrovoltaica-la-combinacion-de-agricultura-y-uso-de-la-energia-solar->, 2022.
- [14] Festival El Aleph, «México, tendencias de las energías fotovoltaicas,» Conversatorio Virtual, 2022.
- [15] Sheffi, Y. (2020). Equilibrio verde: Cuando incorporar la sostenibilidad en los negocios (y cuándo no). Argentina: Editorial Temas.
- [16] L. Zhu, M. Zhang, J. Xu y e. al., «Single-junction organic solar cells with over 19% efficiency enabled by a refined double-fibril network morphology,» Nat. Mater, vol. 21, pp. 656-663, <https://doi.org/10.1038/s41563-022-01244-y>, 2022.

- [17] Duque, L. (2023). *Innovaciones que Transformarán Nuestra Vida: Explorando el Universo a Nivel Subatómico*. España: Luis Fernando Duque Martini.
- [18] M. Monteiro, J. Alvarez, J. Bilbao y R. Corkish, A Review of Recycling Processes for Photovoltaic Modules, DOI: 10.5772/intechopen.74390, 2017, p. DOI: 10.5772/intechopen.74390.
- [19] Mascaros, V. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. España: Ediciones Paraninfo, S.A.
- [20] Duque, L. (2023). *Innovaciones que Transformarán Nuestra Vida: Explorando el Universo a Nivel Subatómico*. España: Luis Fernando Duque Martini.
- [21] (7) L. Zhu, M. Zhang, J. Xu y e. al., «Single-junction organic solar cells with over 19% efficiency enabled by a refined double-fibril network morphology,» *Nat. Mater*, vol. 21, pp. 656-663, <https://doi.org/10.1038/s41563-022-01244-y>, 2022.
- [22] Trashorras, J. (2023). *Almacenamiento de energía eléctrica*. España: Ediciones Paraninfo, S.A.
- [23] Departamento técnico de SunFields Europe. “Conceptos fundamentales sobre energía solar fotovoltaica”. [Online] Disponible Febrero, 2019 en: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
- [24] Pareja, M. (2020). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. España: Marcombo.
- [25] Mascaros, V. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. España: Ediciones Paraninfo, S.A.
- [26] D. Ketzer, N. Weinberger, C. Rösch y S. Stephanie. Land use conflicts between biomass and power production – citizens’ participation in the technology development of Agrophotovoltaics. *Journal of Responsible Innovation*, 2019.
- [27] W. Marrou, «How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil–crop system?,» *Eur J Agron*, 2013.
- [28] T. Liang, C. Praveetoni, J. Deline, R. Stein, J. Kopecek, W. Prakash, Y. Luo, A. Wang y S. Khoo, «A review of crystalline silicon bifacial photovoltaic performance characterisation and simulation,» *Energy & Environmental Science*, 2019.
- [29] Venta de Paneles Solares Cuernavaca - Paneles Solares en Cuernavaca. (2024, 8 mayo). Paneles Solares En Cuernavaca. <https://panelessolaresencuernavaca.com/>
- [30] G. Chagolla, «Estudio de la Demanda Energética, la Calidad Térmica y la Calificación Energética de las Viviendas de los estados de Morelos,» *CENIDET*, p. <https://www.cenidet.edu.mx/subplan/biblio/seleccion/Tesis/DM%20Miguel%20Angel%20Chagolla%20Gaona%202012.pdf>, 2012.
- [31] *Dinámica de la población. Población total de Morelos. Los censos de población realizados de 1900 a 2020, muestran el crecimiento de la población en Morelos.* <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mor/poblacion/dinamica.aspx?tema=me&e=17>
- [32] INEGI. *Población total. Número de personas. Indicadores 2020*.
- [33] SDSM. “Mapas Secretaria de Desarrollo Sustentable Morelos”. Programa estatal de acción ante el cambio climático de Morelos. Accedido el 13 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://sustentable.morelos.gob.mx/cc/mapas>
- [34] *Síntesis Estadística Municipal 2022-2024. Jonacatepec de Leandro Valle. Situación*

geográfica.

- [35] R. Abarca Flores, Profesional PTSP. “Estudio de pre factibilidad diseño de planta fotovoltaica Liceo Tecnológico Alfredo Nazar Feres”, Ministerio de energía, Chile, agosto 2017. [Online] Disponible Febrero, 2019 en: <http://www.minenergia.cl/techossolares/wp-content/uploads/2017/10/Estudio-de-prefactibilidad-Liceo-Alfredo-Nazar.pdf>
- [36] PVsyst – Photovoltaic software. (s. f.). <https://www.pvsyst.com/>
- [37] R. Lemus, R. Vega, T. Kim, A. Kimm y L. Shephard, «Bifacial solar photovoltaic - A technology review,» Renewable and sustainable energy reviews, 2016.
- [38] R. Satpathy, «Additional energy yield using bifacial solar PV modules & dependency on albedo,» https://www.ises.org/sites/default/files/webinars/Presentation%20Rabi%20Satpathy_ISESWebinar_0.pdf.
- [39] Departamento técnico de SunFields Europe. “Manual de cálculo de sistemas aislados”. [Online] Disponible Febrero, 2019 en: <https://www.sfesolar.com/baterias-solares/manual-calculo/>
- [40] L. Gómez Navarro. “Estudio de pre-factibilidad de un sistema solar fotovoltaico con conexión a red de 70 KW: Análisis de caso en Valledupar, Colombia”, Centro de estudios de la actividad regulatoria energética universidad de Buenos Aires, 2016. [Online] Disponible Febrero, 2019 en: <http://www.ceare.org/tesis/2016/tes16.pdf>
- [41] M. Méndez y R. Cuervo, Energía Solar Fotovoltaica, Madrid: Editorial Edición Confemetal, 2019.
- [42] Juan Camilo Pérez Álvarez. “Guía para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados y aplicación de la resolución creg 030 de 2018 para inyectar excedentes de energía a la red” Universidad de Antioquia Ingeniería, Ingeniería Eléctrica Medellín, Colombia 2019
- [43] R. Abarca Flores, Profesional PTSP. “Estudio de pre factibilidad diseño de planta fotovoltaica Liceo Tecnológico Alfredo Nazar Feres”, Ministerio de energía, Chile, agosto 2017. [Online] Disponible Febrero, 2019 en: <http://www.minenergia.cl/techossolares/wpcontent/uploads/2017/10/Estudio-de-prefactibilidad-Liceo-Alfredo-Nazar.pdf>
- [44] Horas de sol pico por día para la Republica Mexicana. De acuerdo con datos del sistema de información geográfica para las energías renovables en México (SINGER) IIE-GENC, y del observatorio de radiación solar del instituto de geofísica de la UNAM.
- [45] Convertidor de unidades. Calculadora de equivalencia de grado sexagesimal [°] <—> revolución [r]. julio 2024.
- [46] <https://calculadoraconsumocfe.azurewebsites.net/Home/calcular>
- [47] F. Álvarez, «Evaluación del recurso solar para procesos industriales en zonas factibles en México,» Secretaría de Educación - Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, vol. Tesis de Maestría, pp. 1-81, https://prod-fillout-oregon-s3.s3.us-west-2.amazonaws.com/orgid-2846/flowpublicid-9BexSZBzb5us/42343c16-c0e34a6080ade6b661cf3df6jqY7V0tyJ9uf4TRjllfmzshmYx3kk3EtVKKalDaVqzJZ8wEb3W7ZSnXHfuiPzZGvMJPMU7QDryJtLXdpgnYS2ffuavfM7ChhM8/MM_Francisco_Ivan, 2017.

- [48] A. El Mekaoui, O. Baños, I. Herrera y R. Chaparro, «Megaproyectos de energías renovables: Reflexiones y problemáticas desde los medios de comunicación impresos y virtuales en el estado de Yucatán, México.,» *Ingeniería*, vol. 23, nº 1, pp. 75-92, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46760427006>, 2019.
- [49] Energía Estratégica, «México alcanza los 50 parques fotovoltaicos operativos de gran escala: suman 4549 MW de potencia solar instalada,» pp. <https://www.energiaestrategica.com/mexico-alcanza-los-50-parques-fotovoltaicos-operat>, 2019.
- [50] F. Álvarez, «Evaluación del recurso solar para procesos industriales en zonas factibles en México,» *Secretaría de Educación - Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico*, vol. Tesis de Maestría, pp. 1-81, https://prod-fillout-oregon-s3.s3.us-west-2.amazonaws.com/orgid-2846/flowpublicid-9BexSZBzb5us/42343c16-c0e34a6080ade6b661cf3df6jjqY7V0tyJ9uf4TRjllfmzhmYx3kk3EtVKKalDaVqzJZ8wEb3W7ZSnXHfuiPzZGvMJPMU7QDryJtLXdpgnYS2ffuavfM7ChhM8/MM_Francisco_Ivan, 2017.
- [51] L. Padrón, L. Gutiérrez y J. Valladares, «Sistemas fotovoltaicos con limitaciones de terreno: la doble orientación como alternativa.,» *Ingeniería Energética*, vol. 42, nº 3, pp. 45-55, http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012021000300045&lng=es&tlng=es., 2021.
- [52] Festival El Aleph, «México, tendencias de las energías fotovoltaicas,» *Conversatorio Virtual*, 2022.

Anexos

ANEXO 1

PANEL MONOCRISTALINO 5BB PERC DV BIFACIAL

350 W, 355 W, 360 W, 365 W Y 370 W

IUSASOL-PV-11 **NUEVO**

Panel fotovoltaico Bifacial de Alta Eficiencia doble vidrio apto para aplicaciones arquitectónicas y techos de naves o estacionamientos. Puede producir energía por ambos lados, con la luz solar por el frente y la luz reflejada por la parte posterior simultáneamente. El panel cuenta con 72 celdas de silicio monocristalino y tecnología 5 Bus-Bar Bifacial que permite aprovechar la luz reflejada aumentando la capacidad de producción de energía. Con vidrio de 2.5 mm templado heat-strengthened por

ambos lados que aumenta la protección contra elementos externos alargando así la vida útil, Split j-box IP68 con 3 diodos bypass y conectores compatibles con MC4 para conexión.

NORMAS APLICABLES

UL-1703
NMX-J-643 / NMX-J-618
ISO 9001-2015
IEC 61215 / IEC 61730
PID: IEC-62804

CÓDIGO	POTENCIA	MASTER	PESO POR PALLET
223757	350 W		
223760	355 W		
223763	360 W	10 por pallet	315.5 kg
223772	365 W		
223775	370 W		

Para potencia 370 W solo en EVA blanco

Hasta un 20% adicional
de generación de energía

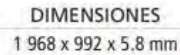
CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

Temperatura de operación	Máximo voltaje del sistema	Clasificación	Tolerancia de potencia
-40 °C ~ +85 °C	1 500 V IEC	Clase A	0 ~ + 5 W

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (STC)

Modelo	PV-11-350	PV-11-355	PV-11-360	PV-11-365	PV-11-370
Potencia nominal (Pmax)	350 W	355 W	360 W	365 W	370 W
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmax)	38.8 V	39.1 V	39.2 V	39.5 V	39.7 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	9.02 A	9.08 A	9.18 A	9.25 A	9.32 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	47.4 V	47.8 V	48.2 V	48.5 V	48.9 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9.42 A	9.45 A	9.48 A	9.52 A	9.56 A
Eficiencia del panel	17.9%	18.2%	18.4%	18.7%	19.0%

Condiciones STC: Irradiancia 1,000 W/m², Temperatura de celda 25 °C, AM1.5



Anexo 1. Ficha técnica panel solar JA SOLAR [30].

ANEXO 2



BDM-600-LV MICROINVERSOR

MODELO		BDM-600-LV		
ENTRADA (CD)	Potencia FV máx. recomendada (Wp)	385 x 2		
	Voltaje de Circuito Abierto máx. CD (Voc)	60		
	Corriente de entrada máx. CD (Iac)	12 x 2		
	Precisión de Rastreo MPPT	>99.5%		
	Rango de Rastreo MPPT (Vcd)	22-35		
	Corriente Corto circuito FV (máxima) (Acd)	14 x 2		
	Corriente de retorno máxima desde inversor hacia el arreglo (Acd)	0		
SALIDA (CA)	Potencia pico de salida CA (Wp)	560		
	Potencia de salida nominal CA (Wp)	500		
	Voltaje nominal de la Red de alimentación (Vca)	127		
	Rango permitido de la Red de alimentación (Vca)	100 – 140*		
	Frecuencia permitida de la Red de alimentación (Hz)	59.3-60.5*		
	Distorsión Total de Armónicos (THD)	<3% (a potencia nominal)		
	Factor de Potencia (cos phi, fixed)	>0.99 (a potencia nominal)		
	Corriente nominal de Salida (Aca)	3.93		
	Corriente (irrupción) (Pico y Duración)	24A, 13s		
	Frecuencia nominal (Hz)	60		
	Corriente máxima de salida en falla (Aca)	3.8A pico		
	Protección máx. de salida contra sobre corriente (Aca)	20		
	Cantidad máx. de unidades por ramal (20A) (Todos los factores de ajuste de NEC han sido considerados)	4		
EFICIENCIA DEL SISTEMA	Eficiencia promedio ponderada (CEC)	95.5%		
	Pérdidas en horario nocturno (Wp)	0.11		
PROTECCIONES Y CARACTERÍSTICAS	Protección contra alto / bajo voltaje	Integrada		
	Protección contra alta / baja frecuencia	Integrada		
	Protección Anti isla	Integrada		
	Protección contra sobre corriente	Integrada		
	Protección contra polaridad inversa CD	Integrada		
	Protección contra sobrecarga	Integrada		
	Grado de Protección	NEMA-6 / IP-66 / IP-67		
	Temperatura Ambiente	-40°F a +149°F (-40°C a +63°C)		
	Temperatura de Operación	-40°F a +185°F (-40°C a +85°C)		
	Indicador	LUZ LED INDICADORA		
	Comunicación	Única Alimentación		
	Dimensiones (L-A-P)	10.91" x 3.10" x 1.97" (277 x 132 x 50 mm)		
	Peso	6.4 lbs. (2.9 kg)		
	Tipo aplicación	Interiores y Exteriores		
	Ubicación Húmeda	Agro		
	Grado de Polución	PD 3		
	Categoría de sobre voltaje	III(PV), III (AC MAINS)		
	Cumplimiento en Seguridad del producto	U L 1741 CSA C22.2 No. 107.1	IEC/EN 62109-1 IEC/EN 62109-2	
	Cumplimiento en Código de red* (Referirse a la etiqueta para la conformidad detallada del código de red)	IEEE 1547	VDE-AR-N 4105* VDE V 0126-1-1/A1 GB3/2, CEI 021 AS 4777.2 & AS 4777.3, EN50438	
	• Parámetros de red configurables a través del gateway BDG-256 o BDG-256P3 • Todos los factores de ajuste requeridos por la NEC han sido considerados en la salida CA. La corriente de salida CA no excederá los valores indicados como corriente de salida nominal CA. Cumplimiento • NEC 2014 Sección 690.11 Protección del circuito contra falla de Arco en CD • NEC 2014 Sección 690.12 Desconexión rápida para sistemas FV en Edificaciones • NEC 2014 Sección 705.12 Punto de Conexión (Protección contra falla de arco en CA)			

Phone: +1 (888)598-9901
Email: info@northernep.com

<http://www.micro-inverter.jp>
<http://www.northernep.com>

Anexo 2. Ficha técnica del microinversor BDM-600-LV.

ANEXO 3

240-6. Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos.

a) Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo. Los valores de corriente normalizados para los fusibles e interruptores automáticos de circuito de tiempo inverso, son: 15, 16, 20, 25, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 60, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000 amperes. Los valores en amperes estandarizados adicionales para fusibles deben ser de 1, 3, 6, 10 y 601. Se permitirá el uso de fusibles e interruptores automáticos de tiempo inverso con valores en amperes no estandarizados.

Anexo 3. Tabla 240-6. Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos.

ANEXO 4

Tabla 310-15(b)(16).- Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la tabla 310-104(a)]					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm ²	AWG o kcmil	TIPOS RHW, THHW, THHW-L5, THW, THW-L5, THWN, XHHW, USE, ZW		TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPS, MS, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW- L5, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW- 2, ZW-2	TIPOS UF		TIPOS SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
		COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.324	18 ⁺	—	—	14	—	—	—
1.31	16 ⁺	—	—	18	—	—	—
2.08	14 ⁺	15	20	25	—	—	—
3.31	12 ⁺	20	25	30	—	—	—
5.26	10 ⁺	30	35	40	—	—	—
8.37 ⁺	8	40	50	55	—	—	—
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	75	85	95	55	65	75
26.7	3	95	100	115	65	75	85
33.8	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	185	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	360	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
390	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480
507	1000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	525	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1013	2000	555	665	750	470	560	630

* Véase 310-15(b)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es diferente a 30 °C.

** Véase 240-4(d) para limitaciones de protección contra sobrecalentamiento del conductor.

Anexo 4. Tabla 310-15 (b)(16). Ampacidades permisibles en conductores aislados.

ANEXO 5

Tipo	Tamaño <i>cc/i b/c</i>		Diámetro aproximado mm	Área aproximada mm²	
	mm²	AWG o kcmil			
Tipo: FFH-2, RFH-1, RFH-2, RHH*, RHW*, RHW-2*, RHH, RHW, RHW-2, SF-1, SF-2, SFF-1, SFF-2, TF, TFF, THHW, THW, THW-2, TW, XF, XFF					
RFH-2, FFH-2	0.824	18	3.454	9.355	
	1.31	16	3.759	11.10	
	2.08	14	4.902	18.9	
	3.31	12	5.385	22.77	
	5.26	10	5.994	28.19	
	6.63	8	8.28	53.87	
	8.37	6	9.246	87.16	
	21.2	4	10.46	86	
	26.7	3	11.18	98.13	
	33.8	2	11.99	112.9	
	42.4	1	14.78	171.6	
	53.5	1/0	15.8	196.1	
	67.4	2/0	16.97	226.1	
	85.0	3/0	18.29	262.7	
	107	4/0	19.76	306.7	
	RHH, RHW, RHW-2	127	250	22.73	405.9
		152	300	24.13	457.3
		177	350	25.43	507.7
		203	400	26.62	556.5
253		500	28.78	650.5	
304		600	31.57	782.9	
355		700	33.38	874.9	
380		750	34.24	920.8	
405		800	35.05	965	
456		900	36.68	1057	
507		1000	38.15	1143	
633		1250	43.92	1515	
760		1500	47.04	1738	
887	1750	49.94	1959		
1013	2000	52.63	2175		
SF-2, SFF-2	0.824	18	3.073	7.419	
	1.31	16	3.378	8.968	
	2.08	14	3.759	11.10	
SF-1, SFF-1	0.824	18	2.311	4.194	
RFH-1, XF, XFF	0.824	18	2.692	5.161	
TF, TFF, XF, XFF	1.31	16	2.997	7.032	
TW, XF, XFF, THHW, THW, THW-2	2.08	14	3.378	8.968	
TW, THHW, THW, THW-2	3.31	12 ✓	3.661	11.68 ✓	
	5.26	10 ✓	4.470	55.68 ✓	
	6.63	8	5.994	28.19	
RHH*, RHW*, RHW-2*	2.08	14	4.140	13.48	

Anexo 5. Tabla 310-15(b)(3)(c).

ANEXO 6

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

Para temperaturas ambiente distintas de 30 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:

Temperatura ambiente (°C)	Rango de temperatura del conductor		
	60 °C	75 °C	90 °C
10 o menos	1.29	1.20	1.15
11-15	1.22	1.15	1.12
16-20	1.15	1.11	1.08
21-25	1.08	1.05	1.04
26-30	1.00	1.00	1.00
31-35	0.91	0.94	0.96
36-40	0.82	0.88	0.91
41-45	0.71	0.82	0.87
46-50	0.58	0.75	0.82
51-55	0.41	0.67	0.76
56-60	-	0.58	0.71
61-65	-	0.47	0.65
66-70	-	0.33	0.58
91-75	-	-	0.50
76-80	-	-	0.41
81-85	-	-	0.29

Anexo 6. Tabla 310-15(b)(2)(a). Factores de corrección basados en una temperatura ambiente de 30°C.

ANEXO 7

(Segunda Sección-Vespertina)

DIARIO OFICIAL

Jueves 29 de noviembre de 2012

d) Protección contra sobrecorriente. Cuando las capacidades nominales o el ajuste de los dispositivos de protección contra sobrecorriente no correspondan con las capacidades nominales y con los valores de ajuste permitidos para esos conductores, se permite tomar los valores inmediatamente superiores, según lo establecido en 240-3(b) y 240-3(c).

Tabla 310-15(b)(16).- Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la tabla 310-104(a)]					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm²	AWG o kcmil		TIPOS RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW- LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW- 2, ZW-2			TIPOS SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
		TIPOS TW, UF	COBRE		ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.824	18 [™]	—	—	14	—	—	—
1.31	16 [™]	—	—	18	—	—	—
2.08	14 [™]	15	20	25	—	—	—
3.31	12 [™]	20	25	30	—	—	—
5.26	10 [™]	30	35	40	—	—	—
8.37	8	40	50	55	—	—	—
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85
33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	350	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480
507	1000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	525	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1013	2000	555	665	750	470	560	630

* Véase 310-15(b)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es diferente a 30 °C.

** Véase 240-4(d) para limitaciones de protección contra sobrecorriente del conductor.

Anexo 7. Tabla 310-15(b)(16). Ampacidades permisibles en conductores aislados.

ANEXO 8

TABLA. 8 Propiedades de los conductores

Tamaño (AWG o kcmil)	Conductores						Resistencia en corriente continua a 75 °C		
	Área		Trenzado		Total		Cobre		Aluminio
			Cantidad de hilos	Diámetro mm	Diámetro mm	Área mm ²	No Cubierto	Recubierto	Aluminio
	mm ²	kcmil					Ω/km	Ω/km	Ω/km
18	0.823	1620	1	—	1.02	0.823	25.5	26.5	—
18	0.823	1620	7	0.39	1.16	1.06	26.1	27.7	—
16	1.31	2580	1	—	1.29	1.31	16	16.7	—
16	1.31	2580	7	0.49	1.46	1.68	16.4	17.3	—
14	2.08	4110	1	—	1.63	2.08	10.1	10.4	—
14	2.08	4110	7	0.62	1.85	2.68	10.3	10.7	—
12	3.31	6530	1	—	2.05	3.31	6.34	6.57	—
12	3.31	6530	7	0.78	2.32	4.25	6.5	6.73	—
10	5.261	10380	1	—	2.588	5.26	3.984	4.148	—
10	5.261	10380	7	0.98	2.95	6.76	4.07	4.226	—
8	8.367	16510	1	—	3.264	8.37	2.506	2.579	—
8	8.367	16510	7	1.23	3.71	10.76	2.551	2.653	—

Anexo 8. Propiedades de los conductores.

ANEXO 9

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. Sin exceder de: Amperes	Tamaño			
	Cobre		Cable de aluminio o aluminio con cobre	
	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
15	2.08	14	—	—
20	3.31	12	—	—
60	5.26	10	—	—
100	8.37	8	—	—
200	13.30	6	21.20	4
300	21.20	4	33.60	2
400	33.60	2	42.40	1
500	33.60	2	53.50	1/0
600	42.40	1	67.40	2/0
800	53.50	1/0	85.00	3/0
1000	67.40	2/0	107	4/0
1200	85.00	3/0	127	250
1600	107	4/0	177	350
2000	127	250	203	400

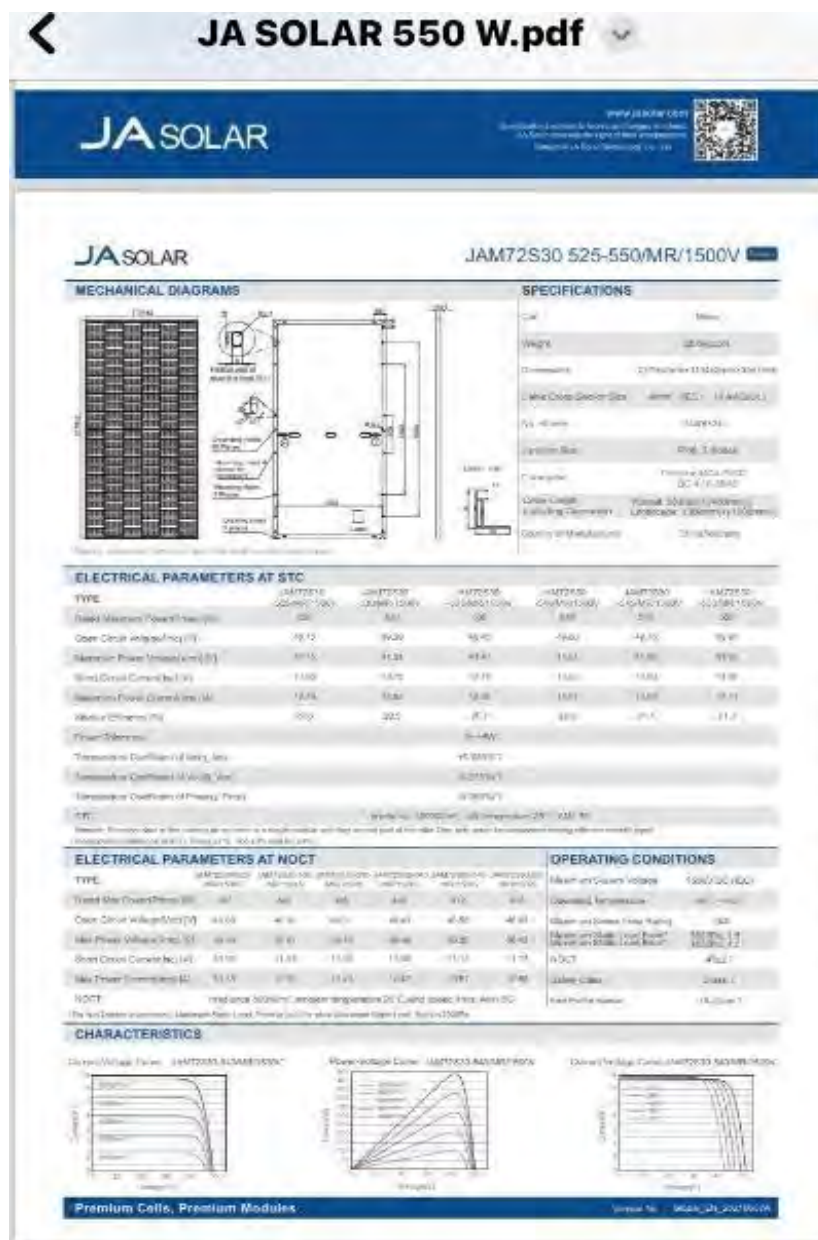
Anexo 9. Tabla 250-122.

ANEXO 10

Artículo 344 –Tubo conduit metálico pesado (RMC)							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno mm	100% del área total mm ²	60% del área total mm ²	Un conductor fr = 53% mm ²	Dos conductores fr = 31% mm ²	Más de 2 conductores fr = 40% mm ²
12	¾	—	—	—	—	—	—
16	¾	16.10	204	122	108	63	81
21	¾	21.20	353	212	187	109	141
27	1	27.00	573	344	303	177	229
35	1 ¼	35.40	984	591	522	305	394
41	1 ½	41.20	1333	800	707	413	533
53	2	52.90	2198	1319	1165	681	879
63	2 ½	63.20	3137	1882	1663	972	1255
78	3	78.50	4840	2904	2565	1500	1936
91	3 ½	90.70	6461	3877	3424	2003	2584
103	4	102.90	8316	4990	4408	2578	3326
129	5	128.90	13050	7830	6916	4045	5220
155	6	154.80	18821	11292	9975	5834	7528

Anexo 10. Tabla 344, tubo conduit metálico pesado.

ANEXO 11



Anexo 11. Ficha técnica panel solar JA SOLAR [30].

ANEXO 12

[illegible]

Modelo		BDM-800
Entrada CG		BDM-800
Potencia máxima recomendada de módulo FV /W		650 x 2
Rango de voltaje MPPT /V		22-55
Voltaje de arranque /V		24
Max. Voltaje de entrada /V		60
Corriente de entrada /A		17 x 2
Protección contra sobretensión		II
Salida CA		
Potencia máxima de salida /VA		800
Potencia continua máxima de salida /VA		800
Voltaje nominal de salida /V		230
Voltaje de salida /V		Configurable
Corriente máx. de salida continua /A		3.26
Frecuencia nominal / Rango /Hz		50 / Configurable
Factor de potencia (nominal/intervalo ajustable)		1.0/0.9 de adelanto...0.9 de retraso
Corriente de cortocircuito de CA sobre 3 ciclos /Arms		8.2
THDi a Potencia nominal		<3%
Máx. Unidades por rama 20A		5 @240vac
Categoría de protección contra sobretensión		III
Eficiencia		
Eficiencia máxima		97.3%
Eficiencia de MPPT		>99.5%
Consumo de energía nocturno /mW		110
Datos generales		
Rango de temperatura ambiente de funcionamiento /		-40-65
Rango de humedad relativa		0-100%
Dimensiones /mm		268 x 250 x 42
Peso /kg		2.9
Tipo de conector CG		MC4
Tipo de conexión CA (inversor-inversor)		Cable troncal o en cadena (solo 12 AWG)
Método de comunicación		PLC o WiFi (Diferentes modelos)
Clase de protección		IP-67

Copyright Northern Electric Power Technology Inc. 2022

es-la.northernen.com

Anexo 12. Ficha técnica del microinversor BDM-800.

ANEXO 13



COTIZACIÓN KIT SOLAR

Cantidad	Descripción		Unidad	Precio Unitario	Total
15	Módulo Solar I Monocristalino 550 Watts . Certificaciones CFE, ISO 900, ISO 14001, IEC, UL. Incluye accesorios, Garantía por defectos de fabricación 10 años y garantía de potencia de generación 25 años al 80% lineal en el tiempo. Certificación Alemana TUV.		Pza	\$3,100.00	\$46,500.00
2	INVERSOR 3.6 KW INCLUYE MONITOREO WIFI	Inversor marca SOLIS para interconexión a red. 40°C, LCD, UL1741. Salida en 220/240 VCA, Sello FIDE. Garantía Original de 5 años. Certificación Alemana TUV.	Pza	\$13,900.00	\$27,800.00
15	Estructura metálica 100% aluminio para soporte de los paneles, fabricado de acuerdo a los requerimientos de orientación y ángulo adaptado al área de instalación. 10 años de Garantía.		Pza	\$1,050.00	\$15,750.00
1	Proyecto, construcción de Instalación eléctrica y Mano de obra sistema del alambrado, cableado, tierras y protecciones requeridas para una instalación de acuerdo a la NOM-001-SEDE-2012. Garantía de 10 años. Incluye interconexión a CFE		Lote	\$14,399.18	\$14,399.18
8.25 kW POTENCIA TOTAL		ENERGÍA PRODUCIDA AL AÑO KIWHANO: 12,702WH ENERGÍA PRODUCIDA PROMEDIO AL BIMESTRE 2,117		SUBTOTAL	\$104,449.18
VIDA ÚTIL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO:30 AÑOS				IVA	\$16,711.87
				<u>TOTAL</u>	<u>\$121,161.05</u>

NOTA: SE REQUIERE VISITA TÉCNICA

CONDICIONES DE VENTA

- Se requiere el 70% de anticipo al iniciar trabajos, el 30% al término de la obra
- Tiempo de ejecución: La instalación se realiza paralelamente y tendrá un tiempo máximo de 2 semanas, el trámite con CFE tiene un tiempo estimado entre 14 y 30 días pero esta sujeto a la atención de CFE. Cabe la posibilidad de que se extienda este periodo.
- Garantía por escrito de acuerdo a lo especificado en cada concepto.
- Incluye toda la Gestión y trámites requeridos por CFE.

Vigencia: De acuerdo al tipo de cambio, un alza subita del dólar modificara los precios.

ATENTAMENTE
ING. CORINA HERNANDEZ APONTE

55 7997 07 01

ATENDEMOS TODA LA REPUBLICA

PLAZA AVERANDA KIOSCO 5, CARRETERA MEXICO-ACAPULCO, COL. VILLAS DEL LAGO CUERNAVACA MORELOS
TEL (777) 389 08 41 | (777) 350 28 77  ventas@solar7.mx  www.solar7.mx  Paneles Solar 7i

Anexo 13. Cotización Kit SOLAR

ANEXO 14

Productos Obtenidos

**EDUCACIÓN**
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

**EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
A TRAVÉS DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO**

OTORGA EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO

A

**Marcían Adriana García Ávila, D. Hernández-Castañeda, J.F.
Gómez-Aguilar**

Por su invaluable presentación del artículo Agrivoltaic Parks an Alternative for Energy Transition Applied to the Agriculture en el 1er Congreso Internacional de Tecnología y Ciencia Aplicada, desarrollado en el Tecnológico Nacional de México/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, TecNM/CENIDET, del 15 al 17 de noviembre de 2023.

Cuernavaca, Morelos, Noviembre de 2023


M0237623
<http://obanofanolas.cenidet.tecnm.mx>

DR. ARTURO ERNESTO MARES GARDEA
**DIRECTOR DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO**

Sello Digital:
T2DfzDN3zD44ymUv8F/W/11Rzn9v/LAewDuPVvoWwspJNlcyPw01BwpYCEM0m7CURNaLkYWz1E+LUCy3Fangpt
wEM3GNTpB6hpgVHYzVGAMalzQQbvcvXn1MAz03Mg+7DQ115z4BY+edcNS50Ie8C9QFxpL6uygCo4FHzuFvN1z
UyGoz/7AOm1A0ZFPqCvLd88N5c1kokaGHTALjgFFk5FoztDuQ6wQweLUh/W6bnG4ghh5WbYzwULBoCLDaMMJIR
Fh+e0AGRzjpaMGAzW09F50E0zR1RqXNFTN3AI+eyAL8B00v18KO6SCE1Nwg/P9ymD1cGSL7WANAjd++dRig==


cenidet
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico


100%
LIBRO
PLÁSTICO



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO A TRAVÉS DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

OTORGA EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO

A

**Marcian Adriana García Avila, Daniela Hernández Castañeda,
José Francisco Gómez Aguilar**

Por su invaluable presentación del Artículo:
Agrivoltaic parks: An alternative for energy sustainability in the state of Morelos
En el II Congreso Internacional de Tecnología y Ciencia Aplicada, desarrollado en el Tecnológico
Nacional de México/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, TecNM/CENIDET,
del 22 al 24 de mayo de 2024.

Cuernavaca, Morelos, 24 de mayo de 2024

DR. ARTURO ERNESTO MARES GARDEA
DIRECTOR DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

DR. ARTURO ABÚNDEZ PLIEGO
COORDINADOR GENERAL
II CITCA



Sello Digital:

#RiC0NwYd1cHIOzREhFzmSBdLhmC+e+rovti15ePUJC8NayenB03b5NgF7-euAkFyp+EVPQDK+e3WSPu0P2NReRa
u/OTD8ACpQm5e3d75e/+C6bn12Y0LmQW52B4Ew7+8y/ueWlqG4WpNW2B6TLVd8V/4n1Cg3n67eULv8LbUc
T28nF0yEUVNMK2ND8M4e3e0WY0Kj6WAggQ6F7V00e8U0rse+8E4J0UvgtO1W2qgq8TQUR+VRIgq48XDVLS3n
k8e7e0EN5oLmvgE20+7pL2U5e285Gj72gt38bU6b01e6E6auFLnesQ+EMo4Dng4F0LbLxodgAt13v8N0hrw==

<http://www.tecnm.mx/cenidet>
CITCA00270124

cenidet
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

CITCA
CONGRESO INTERNACIONAL DE TECNOLOGÍA Y CIENCIA APLICADA



EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO A TRAVÉS DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

OTORGA EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO

A

**Marcian Adriana Garcia Avila, Daniela Hernández
Castañeda, José Francisco Gómez Aguilar**

Por su destacada participación con la presentación del Artículo
en el área Ciencias de la Ingeniería, eje estratégico Energía y Cambio Climático titulado:
Análisis costo-beneficio de la implementación de parques agrovoltaicos en comunidades rurales de México
En el marco del 3er Congreso Internacional de Tecnología y Ciencias Aplicadas (CITCA), celebrado en el
Tecnológico Nacional de México, campus Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
(TecNM/CENIDET), del 19 al 22 de noviembre de 2024

Cuernavaca, Morelos, 22 de noviembre de 2024



CITCA47324
<http://constanotas.cenidet.tecnm.mx>

LORENZO O. HERNÁNDEZ
DIRECTOR DEL CENTRO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

ALICIA MARTÍNEZ REBOLLAR
COORDINADORA GENERAL
III CITCA

Sello Digital:

Nr7G0aENKv+pVg27EYv1AYRz9085FDxT9JIMCgRUF+343IVSENAeNCS6eglJchVFWRnLP0cZaBDgnQ+1qGJnTn
speNeVbc4LM1D0sQkw48aEJ4RC/SweNeYF3oKa4G5VADwEE5RbG4gOgScYgnPFVUXGON8KvNOD4Lc0Fm0cNzK55
g1u0ghuVWQ4w5L1EHahNocUn1m2b5CNEI2IDnqka+7hNA6RRc6gr7aEK/pVhKwglR77Y0c5Pz+5wmpSDVUVd
6PD/c5e6PVL9TQGU43u3e140uFup18nn5EMZK756STCv40cUC28CgCFHd1+5DcV6/Ve1FL5H10gtwyeUaFeQ==

cenidet
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico

CITCA
III CONGRESO INTERNACIONAL
DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS



Parques agro voltaicos una alternativa sustentable para mitigar el cambio climático

AGROVOLTAIC PARKS A SUSTAINABLE ALTERNATIVE TO MITIGATE CLIMATE CHANGE

Recibido:21-06-2024

Aceptación:30-09-2024

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13995954>

Resumen

El presente artículo examina y documenta el potencial de aprovechamiento de la energía derivada de fenómenos naturales como una vía fundamental para abordar la crisis energética y el cambio climático. Mediante una revisión documental, se analizan las tecnologías existentes y emergentes en la captura y conversión de energía solar, así como innovaciones en la generación de energía. Este estudio destaca la importancia de la eficiencia energética, la innovación tecnológica, y la sostenibilidad ambiental en el desarrollo de soluciones energéticas renovables como los sistemas agro voltaicos. Discutiendo como estas tecnologías no solo ofrecen alternativas sostenibles para satisfacer la demanda energética global, sino que también promueven la conservación del medio ambiente y la reducción de la dependencia de fuentes de energía fósiles. El análisis concluye subrayando el rol crítico de la investigación y el desarrollo tecnológico en la optimización de estas fuentes de energía y en la transición hacia un futuro energético más sostenible y resiliente.

Palabras Claves: Conversión fotovoltaica; Eficiencia energética; Innovación Tecnológica; Sostenibilidad Ambiental; Tecnologías Renovables; Sistemas Agro voltaicos.

**Marcian Adriana García Ávila agradece el apoyo brindado por el CONAHCYT mediante la asignación de una beca de maestría. José Francisco Gómez Aguilar agradece el apoyo brindado por el SNII-CONAHCYT.*

Marcian García
Ávila

 <https://orcid.org/0009-0000-2488-833X>
m23ce030@cenidet.tecnm.mx

Daniela Hernández
Castañeda

 <https://orcid.org/0009-0005-6538-4679>
daniela.hc@cenidet.tecnm.mx

José F. Gómez
Aguilar

 <https://orcid.org/0000-0001-9403-3767>
jose.ga@cenidet.tecnm.mx



Esta obra está bajo una Licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0
Internacional

Anexo 15

Actividades académicas realizadas

Actividad	Institución	Fecha	Horas
Asistente del curso: cálculo diferencial y sus aplicaciones	Cenidet	9 al 27 de enero de 2023.	30
Asistente del curso intersemestral: Introducción a la simulación dinámica de sistemas solares usando TRNSYS para aplicaciones de refrigeración.	Cenidet	15 de marzo de 2024.	50
Asistente curso: Revisión de la búsqueda bibliográfica y escritura de tesis	Cenidet	7 de Agosto de 2023.	50
Tallerista: "Revisión de la búsqueda bibliográfica de tesis".	Cenidet	7 al 11 de agosto de 2023	30
Tallerista: "Estrategias de investigación para desarrollo de tesis".	Cenidet	26 de octubre de 2023.	50
Publicación del artículo "Agrovoltaic parks an alternative for energy transition applied to the agriculture".	1er Congreso Internacional de Tecnología y Ciencia Aplicada. Tecnológico Nacional de México/Centro Nacional de Investigación y Tecnológico, TecNM/CENIDET.	15 al 17 de noviembre de 2023.	
Tallerista: "Estrategias de investigación para el desarrollo de artículos científicos"	Cenidet	15 de noviembre de 2023.	50
Tallerista: "Estrategias de investigación para	Cenidet	8 de noviembre de 2023.	50

generar la tabla del estado del arte".			
Publicación de Artículo: "Parques agrivoltaicos Una alternativa sustentable para mitigar el cambio climático"	Revista AVANTE		
Publicación de Artículo: "Agrivoltaic parks: An alternative for energy sustainability in the state of Morelos".	II Congreso Internacional de Tecnología y Ciencia Aplicada. Tecnológico Nacional de México/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, TecNM/CENIDET.	24 de mayo de 2024.	
Tallerista: "Estructura de tesis y creación de la tabla del estado del arte de una manera innovadora. utilizando I.A."	Cenidet.	14 de marzo de 2024.	50
Conferensista: Parques agrivoltaicos una alternativa energética sustentable".	Congreso Nacional de Innovación, Tecnología, Liderazgo y Sostenibilidad Zacatepec, Morelos.	23 de abril de 2024.	2
Tallerista: "Estrategias de investigación para el desarrollo de la tesis".	Cenidet.	3 de octubre de 2024.	50
Cost-benefit analysis implementation of agrovoltaic in rural communities in Mexico	III Congreso Internacional de Tecnología y Ciencia Aplicada. Tecnológico Nacional de México/Centro Nacional de	21 de noviembre de 2024.	

	Investigación y Desarrollo Tecnológico, TecNM/CENIDET.		
Participación como Personal de Apoyo en la organización y desarrollo del 3er Congreso Internacional de Tecnología y Ciencia Aplicada (CITCA)	Cenidet	19 de noviembre de 2024.	5

Anexo 15. Actividades académicas realizadas.