



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO
COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE ENERGÍA**

**Análisis de factibilidad económica para
instalar un sistema fotovoltaico en la Escuela
Preparatoria Tlalpan II “Otilio Montañó” del
IEMS-CDMX**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA
(ORIENTACIÓN EN EFICIENCIA)

P R E S E N T A :

Eduardo Corona Reyes

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Carlos Chávez Baeza

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS ©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Integración del jurado:

Presidente: Dr. Eduardo A. Rincón Mejía, PEUACM
Secretario: Dr. Carlos Chávez Baeza, PEUACM
Vocal: Mtra. Donají Melchor Quintas, IEMS
1^{er}. Suplente: Dr. Manuel Antonio Corona Sánchez, PEUACM
2^{do}. Suplente: Dra. Ma. Claudia Roldán Ahumada, PEUACM

Lugar donde se realizó el posgrado:

Plantel Del Valle, UACM.

Director de tesis:

Dr. Carlos Chávez Baeza
Programa de Energía, UACM

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) plantel Del Valle por haberme aceptado en el Programa de Energía para continuar con mis estudios de Maestría. La UACM además de brindarme conocimiento científico y experiencia por medio de los docentes, me permitió conocer personas excepcionales con los cuáles compartí trabajos en equipos que más que trabajos fueron experiencias y consejos que me ayudaron en la conclusión del presente escrito. Gracias, compañeros.

Agradezco a CONAHCYT por haberme apoyado con una beca de estudio, dicha beca me dio la oportunidad de poder tomar una certificación y poder aportar mayor sustentabilidad a este proyecto. Así mismo, a la UACM que me otorgó una beca al inicio del posgrado, lo cual me ayudó mucho para dedicarme por completo al estudio del 1er semestre de la Maestría. Ambas becas me ayudaron de sobremanera para poder llevar a buen término este proyecto, mil gracias.

Quiero expresar mi más sincera gratitud al Instituto de Educación Media Superior de la Ciudad de México (IEMS) por darme las facilidades para realizar este proyecto. Gracias a la invaluable colaboración de las autoridades por permitirme el acceso a la información, la cual fue primordial para llevar a cabo mi investigación de manera exitosa.

Agradezco de todo corazón la enseñanza brindada por cada uno de mis profesores, a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí. Sin ustedes los conceptos serían solo palabras, y las palabras ya sabemos quién se las lleva, el viento...

Quiero expresar mi total agradecimiento a la Maestra Donají Melchor Quintas, por su asesoramiento, recomendación y espléndida orientación en el campo de los sistemas fotovoltaicos. Sus comentarios fueron sin duda parte importante en la culminación de este proyecto. Gracias infinitas.

Deseo extender mi gratitud a los lectores de esta tesis. Dr. Manuel Antonio Corona Sánchez y Dr. Eduardo A. Rincón Mejía por su invaluable orientación, apoyo y confianza a lo largo de este

proceso. Sus consejos y críticas constructivas han sido fundamentales para la conclusión de este trabajo.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Claudia Chávez Correa, asistente académico del Programa de Energía. Aprecio profundamente su orientación, esfuerzo y compromiso con nosotros los estudiantes, su apoyo hizo más fácil y enriquecedora esta experiencia académica.

Finalmente, agradezco muy profundamente al Dr. Carlos Chávez Baeza por haber sido mi guía y apoyo durante todo el desarrollo de mi tesis. Reconozco su dedicación y paciencia, sin sus palabras, comentarios, observaciones y correcciones precisas no hubiese podido lograr la conclusión de este proyecto. Gracias por sus recomendaciones y sobre todo por sus consejos, esta experiencia me ha enriquecido tanto a nivel personal como profesional.

Dedicatorias

Dedico esta tesis de maestría al ser que ha estado a mi lado durante este exigente proceso... Dios.

A mi familia...

A mi Esposa *Ma. Teresa Flores*, a mi hija *Zuly Shadanny Corona Flores* y a mi hijo *Eduardo Gabriel Corona Flores* por su incondicional apoyo, amor y comprensión. Gracias por ser mi roca en los momentos difíciles y por celebrar juntos mis logros.

A las personas más lindas y hermosas del mundo mundial, mi abuelita Lupita Juárez López y mi abuelito Andrés Reyes Morales, por guiarme en el camino del estudio y no soltarme nunca...

A mis amigos, por brindarme su amistad y su ánimo constante. Por escucharme, motivarme y recordarme que siempre hay una luz al final del túnel.... Muchas gracias.

A mis profesores, por su guía y conocimiento compartido. Gracias por enseñarme a pensar críticamente y por brindarme las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos académicos.

A mi director de tesis, por su orientación, paciencia y apoyo incondicional. Gracias por creer en mí y por guiarme a lo largo de este proceso de investigación.

Este proyecto es el resultado de mucho esfuerzo y sacrificio, pero sobre todo es un tributo a todas aquellas personas que han sido parte de mi camino hacia la realización de este sueño. A todos ustedes, ¡gracias!

Contenido

Resumen	11
Introducción	12
Capítulo 1. Marco Contextual	14
1.1. Antecedentes	14
1.2. Planteamiento del Problema	21
1.3. Justificación.....	22
1.4. Objetivos	24
1.4.1. Objetivo general.....	24
1.4.2. Objetivos específicos.....	24
Capítulo II. Marco Teórico	25
2.1. Energía del Sol.....	25
2.2. Radiación.....	26
2.2.1. Radiación y panorama en México.....	28
2.2.2. Radiación en la Preparatoria Tlalpan II “Otilio Montañaño”	30
2.3. Horas Solares Pico (HSP)	33
2.4. Análisis de la factura del consumo eléctrico proporcionado por la CFE.....	37
2.5. Sistema Fotovoltaico.....	44
2.5.1. Celdas Solares Fotovoltaicas	45
2.5.2. Módulos fotovoltaicos	45
2.5.3. Paneles solares fotovoltaicos.....	46
2.5.4. Inversor	47
2.5.5. Optimizadores de electrónica de potencia	49
2.5.6. Cableado, tubería y sujetadores	49

2.6. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	50
2.7. Módulo solar elegido del mercado de paneles solares	52
2.7.1. Características del panel elegido	53
2.8. Inversor fotovoltaico propuesto para el SFI.....	54
2.8.1. Características del inversor elegido	54
2.9. Características del sistema de sujeción de los paneles	55
2.10. Cajas Combinadas	55
2.11. Normatividad en sistemas fotovoltaicos	56
2.11.1 Artículo 690 “Sistemas Solares Fotovoltaicos”	56
2.11.2 Artículo 705 “Fuentes de generación de energía eléctrica interconectadas.....	58
2.11.3 Comisión Reguladora de Energía CRE	59
2.11.4 Unidad de Verificación de Instalaciones Eléctricas (UVIE).....	63
2.11.5 Certificaciones para Instaladores de Sistemas Fotovoltaicos	64
2.12. Software de simulación.....	65
2.13. Teoría sobre el análisis económico	66
Capítulo III. Metodología	68
Capítulo IV. Diseño, Cálculo, Desarrollo y Simulación del Sistema Fotovoltaico.....	70
4.1. Edificios donde se propone la instalación de los Sistemas Fotovoltaicos	70
4.2. Pérdidas en el Sistema Fotovoltaico propuesto	72
4.3. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico	74
4.3.1. Consumo de energía eléctrica anual del año 2019.....	75
4.3.2. Consumo de energía mensual y promedio diario	75
4.3.3. Inversor seleccionado	80
4.3.4 Configuración y conexión de los módulos	83
4.3.5 Corrección de la tensión a baja temperatura ambiente	84
4.3.6 Estructura de soporte de paneles fotovoltaicos.....	86

4.3.7 Cajas Combinadoras.....	86
4.3.8 Conectores Fotovoltaicos.....	87
4.3.9 Simulación HeliosCope.....	88
4.3.10 Comparación simulación vs dimensionamiento manual	93
4.3.11 Diagrama unifilar del Sistema Fotovoltaico propuesto por la simulación	95
4.3.12 Modelo de contrato de contraprestación con CFE	96
Capítulo V. Análisis económico.....	98
5.1 Costos.....	98
5.2 Evaluación Financiera	99
5.2.1 Evaluación con Beneficios Fiscales.....	99
5.2.2. Evaluación sin Beneficios Fiscales.....	105
5.3 VPN Y TIR del proyecto	108
5.3.1 VPN y TIR del proyecto con deducción fiscal	108
5.3.2 VPN y TIR del Proyecto sin deducción fiscal	111
Conclusiones.....	115
Bibliografía.....	119
Anexos	124

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Onda Electromagnética. (Radianza, 2023)	26
Ilustración 2. Tipos de Radiación (Corona R. E., 2022)	28
Ilustración 3. Radiación solar. (Atlas, 2023)	30
Ilustración 4. Ubicación del plantel. (Maps, 2023)	31
Ilustración 5. Vista aérea plantel Tlalpan 2. (Maps, 2023).....	31
Ilustración 6. Ubicación del plantel (Geográfica, 2022)	35
Ilustración 7. Factura eléctrica enero 2020 (CFE F. , enero 2020)	39
Ilustración 8. Componentes del módulo fotovoltaico (Romero, 2019)	46
Ilustración 9. Cadenas o string de módulos fotovoltaicos (Energy, 2021).....	47
Ilustración 10. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red (casas, 2023)	51
Ilustración 11. Circuitos de una fuente fotovoltaica NOM 001 art. 690 (Energía, 2012)	57
Ilustración 12. Componentes de un sistema fotovoltaico interconectado a la red (Energía, 2012)	58
Ilustración 13. Vista aérea plantel Tlalpan 2 (Maps, 2023)	70
Ilustración 14. Esquema superior de los edificios donde se desea instalar el SFI (Corona E. , 2022)	71
Ilustración 15. Vista hacia el norte de los edificios donde se instalará el SFI (Corona E. , 2022)	71
Ilustración 16. Inversor Solis (BayWa.re, 2023)	82
Ilustración 17. Diagrama de strings o cadenas	85
Ilustración 18. Características de la estructura para montar paneles fotovoltaicos SunforSon (Solar B. , 2023)	86
Ilustración 19. Caja combinada 1 in-1 out (Oumefar, 2024).....	87
Ilustración 20. Conectores fotovoltaicos hembra-macho (Sustentable, 2016)	88
Ilustración 21. Instalación de módulos fotovoltaicos (HeliosCope, Helioscope, 2024)	89
Ilustración 22. Posicionamiento de módulos e inversores fotovoltaicos HeliosCope	92
Ilustración 23. Diagrama unifilar Helioscope	96

Índice de Tablas

Tabla 1. Temperatura 1er trimestre, 2023	33
Tabla 2. Horas Solares Pico	36
Tabla 3. Costo de energía eléctrica de CFE (Negocios, 2023)	38
Tabla 4. Consumo energético y costo económico, 2019	44
Tabla 5. Características del módulo fotovoltaico (Ficha técnica- Anexo 1)	53
Tabla 6. Características eléctricas del inversor (Ficha técnica Anexo 1).....	55
Tabla 7. Tiempos de atención para la interconexión.....	62
Tabla 8. Consumo mensual de energía eléctrica del plantel y HSP por mes	75
Tabla 9 Cálculo del número de módulos fotovoltaicos.....	77
Tabla 10. Energía Fotovoltaica generada por los módulos fotovoltaicos.....	78
Tabla 11 Energía proporcionada a CFE	79
Tabla 12 Características eléctricas del inversor (Ficha técnica anexo 1).....	82
Tabla 13. Número de módulos, tensión y corriente por cadena que ingresa al inversor	84
Tabla 14. Componentes físicos utilizados en la simulación HeliosCope.....	90
Tabla 15. Generación eléctrica- Simulación vs. manual	93
Tabla 16. Diferencias simulación vs. Dimensionamiento manual	94
Tabla 17. Costos de material para el SF	98
Tabla 18. Materiales fotovoltaicos deducibles	101
Tabla 19. Desglose de la deducción con respecto a la inversión.....	102
Tabla 20. Análisis de ahorro total mensual.....	102
Tabla 21. Facturas de energía eléctrica año 2019	103
Tabla 22. Cálculo del Periodo de Recuperación.....	104
Tabla 23. Periodo de Recuperación sin Beneficios fiscales.....	106
Tabla 24. Tasa Real para el cálculo del VPN y TIR	108
Tabla 25. VPN para un periodo de 48 meses	109
Tabla 26. Cálculo del TIR de la inversión.....	110
Tabla 27. VPN sin deducción fiscal.....	112
Tabla 28. TIR sin deducción fiscal.....	113

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Radiación solar en la preparatoria	32
Gráfica 2. Radiación Solar 1er trimestre 2023	32
Gráfica 3. Temperatura promedio en el plantel	33
Gráfica 4. Horas Solares Pico en plantel	34
Gráfica 5. Horas Solares Pico por mes	37
Gráfica 6. Consumo energético, 2019.....	40
Gráfica 7. Consumo energético, 2020.....	41
Gráfica 8. Consumo energético, 2021.....	41
Gráfica 9. Consumo energético, 2022.....	42
Gráfica 10. Consumo energético, 2023.....	42
Gráfica 11. Costo económico por consumo eléctrico	43
Gráfica 12. Pérdidas eléctricas del SFI	74
Gráfica 13. Consumo eléctrico del plantel vs. Generación del SFI.....	80
Gráfica 14. Producción de energía eléctrica mensual HeliosCope	91
Gráfica 15. Pérdidas eléctricas Simulación HeliosCope	91
Gráfica 16. Generación eléctrica simulación vs. dimensionamiento manual.....	94
Gráfica 17. Periodo de Recuperación de la Inversión	105
Gráfica 18. Periodo de Recuperación de la inversión sin deducción fiscal.....	107
Gráfica 19. TIR con VPN=0	111
Gráfica 20. TIR sin deducción fiscal.....	114

Resumen

El presente trabajo de investigación se enfoca en analizar la factibilidad económica de instalar un sistema fotovoltaico en una preparatoria del Instituto de Educación Media Superior (IEMS-CDMX), con el objetivo principal de satisfacer la demanda de energía eléctrica por medio de energía renovable y por consecuencia contribuir al cuidado del medio ambiente. Se concluye con el resultado de la factibilidad de instalar el sistema fotovoltaico con una inversión total inicial de \$1,212,358 pesos. Se realizaron dos análisis financieros, el primero tiene que ver con los beneficios fiscales y la deducción del 100% de la inversión total (para obtener este beneficio se debe tener en funcionamiento constante durante 5 años el sistema fotovoltaico), el cual nos da un periodo de recuperación de 20 meses y el segundo sin beneficios fiscales en el cual se obtuvo un periodo de recuperación de 30 meses. A partir del mes 21 y/o 31 respectivamente se considerará ganancia por un periodo de más de 25 años. (La vida útil de un sistema fotovoltaico que cumple con sus mantenimientos periódicos es de 25 a 30 años). Ambas evaluaciones financieras son viables, lo cual hace que sea un proyecto confiable y económicamente posible.

Summary

The present research work focuses on analyzing the economic feasibility of installing a photovoltaic system in a high school of the Institute of Higher Secondary Education (IEMS-CDMX), with the main objective of satisfying the demand for electrical energy through renewable energy and by consequently contribute to the care of the environment. It concludes with the result of the feasibility of installing the photovoltaic system with a total initial investment of \$1,212,358 pesos. Two financial analyzes were carried out, the first has to do with the tax benefits and the deduction of 100% of the total investment (to obtain this benefit the photovoltaic system must be in constant operation for 5 years), which gives us a period recovery period of 20 months and the second without tax benefits in which a recovery period of 30 months was obtained. Starting from the 21st and/or 31st month respectively, it will be considered a gain for a period of more than 25 years. (The useful life of a photovoltaic system that meets its periodic maintenance is 25 to 30 years). Both financial evaluations are viable, which makes it a reliable and economically possible project.

Introducción

La investigación del presente trabajo nace con la necesidad de promover el amplio campo de oportunidades que ofrecen las energías renovables. Existen múltiples áreas donde se puede implementar y aprovechar al máximo. Se debe cambiar la cultura tradicional de utilizar combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas, etcétera) y enfocarse en el cuidado del medio ambiente, pues de él depende la vida de las futuras generaciones.

Este proyecto se enfoca en el análisis de factibilidad económica para instalar un sistema fotovoltaico en una preparatoria de IEMS-CDMX para satisfacer la demanda de energía eléctrica que se requiere para su buen funcionamiento.

En el estudio de factibilidad fue necesario partir de las condiciones actuales del plantel, es decir, población, infraestructura y consumo eléctrico. En el capítulo 1 se presenta una investigación acerca de diferentes lugares de México y del mundo donde ya se haya realizado alguna instalación fotovoltaica en escuelas de educación, de nivel primaria hasta el nivel de educación superior con la intención de conocer los resultados, ventajas y desventajas. Posteriormente se concreta el objetivo general y objetivos particulares necesarios para llevar a buen término la investigación, los objetivos particulares son dependientes entre ellos y descendentes, es decir, para avanzar se tuvo que haber logrado el objetivo anterior inmediato.

En el capítulo 2, Marco Teórico, se describen los elementos necesarios para implementar un sistema fotovoltaico. Partiendo de la energía del sol, la radiación, la temperatura, ubicación geográfica y análisis de consumo por medio de la factura eléctrica hasta definición de una célula solar, módulo, sistema fotovoltaico y los componentes necesarios que marca la norma oficial mexicana vigente para su implementación.

El capítulo 3, Metodología, se definen los pasos que se seguirán para lograr que se cumplan los objetivos particulares planteados anteriormente, de tal manera, que la única causa de ello sea concretar el objetivo general.

Con respecto al capítulo 4, Diseño y Cálculo del dimensionamiento, se realizan los cálculos necesarios para realizar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico. Iniciando con el análisis del consumo eléctrico del año 2019 al 2022 obtenido de las facturas eléctricas que proporciona la CFE al plantel, se continuó con el estimado del número de módulos fotovoltaicos necesarios para satisfacer la demanda eléctrica del plantel, se seleccionó el tipo de inversor dependiendo del número de módulos, se eligió la estructura más adecuada para la fijación de los módulos y finalmente, se buscó la mejor área del plantel para instalar los módulos fotovoltaicos. Para corroborar los cálculos anteriores se realiza un dimensionamiento por medio del software HelioScope, los resultados de la simulación, así como, la comparación de ambos dimensionamientos se encuentra de manera detallada en este capítulo.

En el capítulo 5, análisis económico, se realiza un estudio detallado sobre el costo – beneficio que se tendría de llevarse a cabo la implementación del sistema fotovoltaico. Dicho estudio, conlleva el cálculo para determinar el tiempo requerido para el retorno de la inversión inicial y los costos anuales. Así mismo, el año a partir del cual se generan las ganancias, es decir, ya se recuperó la inversión y se empieza a disfrutar de energía eléctrica limpia sin costo económico alguno para el plantel (sólo el costo del mantenimiento anual del sistema fotovoltaico). También se realiza el cálculo del Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Rendimiento (TIR) para conocer la rentabilidad del proyecto.

Capítulo 1. Marco Contextual

1.1. Antecedentes

En este mundo donde se mezclan los conocimientos de la sociedad, interesada en el propósito de conocer por completo la vida de la humanidad en el futuro inmediato, tiene una clara coincidencia en que el papel principal del futuro es la ciencia y la tecnología. A lo largo de la vida humana, la historia nos ha confirmado que la energía ha sido y será el motor de progreso y de bienestar social.

Desde una perspectiva actual, volcar la mirada hacia un modelo energético sustentable es, evidentemente, el nuevo imperativo categórico para salvar al planeta y será por muchos años la decisión más inteligente para dejar un mundo mejor a las futuras generaciones (Perino, 2021).

El cuidado del medio ambiente debe convertirse en una prioridad no solo para los gobiernos de las naciones, sino para la humanidad por completo, desde el niño que apenas pronuncia una palabra hasta las generaciones de edad más avanzada. Es la población la que debe reclamar y exigir una ética medioambiental. El interés en el despliegue de las energías renovables demuestra que el camino hacia un modelo energético sostenible no es un problema meramente técnico o económico, sino un problema sociocultural que es necesario abordar, trabajar, desarrollar y ejecutar; de tal manera que los responsables de tomar decisiones energéticas lo hagan desde una visión sustentable con el fin de preservar los factores bióticos, abióticos y socioeconómicos (Perino, 2021).

En algunas partes del mundo ya se trabaja en edificar sociedades sustentables, más justas e igualitarias, y que exige recurrir a energías amigables con el medio ambiente. Estas nuevas sociedades buscan reivindicar los criterios éticos basados en el respeto, solidaridad e igualdad para una distribución más justa de los recursos naturales (Beauregard, 2022).

Este cambio energético que se da en el mundo ha permitido comprobar que es posible encontrar los medios necesarios para vivir de manera sostenible, caracterizados por el acceso equitativo a la salud, alimentación, vivienda, energía y educación. En este último es donde se debe enfocar la sociedad y los gobiernos encargados de brindar la educación. Ya que esto les permitirá entender la importancia de cuidar el medio ambiente y por ende garantizar una vida energética a futuras generaciones.

Uno de los principales países, líderes en energías renovables es Alemania. Desde el año 2000, Alemania inicio un camino firme para producir su propia energía, siendo la solar la principal fuente de abastecimiento a todo el país. Lo anterior ha dado pie a que 160 escuelas alemanas de nivel superior triunfen en áreas especializadas en sectores de energías renovables. De estas 160 aproximadamente 50 son privadas. Esto habla del interés de Alemania por educar a su población dentro de la ética ambiental y del uso adecuado de las energías renovables.

Un ejemplo de muchos que existen en Alemania se puede mencionar a la Escuela Técnica Superior de Eberswalde, en Brandeburgo, es un centro líder en este contexto y desde el 2010 utiliza energía renovable para satisfacer su demanda energética (Osel, Johan, 2012).

Otro país, que debería considerarse ejemplo a seguir por su cercanía con México es Estados Unidos de América. En este país, el estado de California ha conseguido cubrir casi el 100% de la demanda eléctrica con energía renovable. Casi los 40 millones de personas que viven en el estado utilizan energía renovable, pero este logro se ha dado poco a poco, en el 2015 las renovables apenas rozaban un 25% de la demanda, en el 2017 llegaron a generar el 67%, en el 2020 generaron 81% y en el año 2022 llegó al 97%. Por lo que la mayoría de sus instituciones gubernamentales, así como, las instituciones de educación son uno de los principales beneficiarios (Beauregard, 2022).

Por otro lado, en el mismo país de Estados Unidos, casi 1 de cada 10 colegios de primaria y secundaria utilizan energía solar, esto se ha triplicado desde el 2015 y ahora el 9% de las escuelas

se abastecen de este tipo de energía. Según el NREL, el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos, la energía es la segunda fuente de costos, después de los salarios de los profesores, y las escuelas estadounidenses gastan más de 6000 millones de dólares al año en esta partida (Kennedy, 2022).

Por lo que la energía solar representa una oportunidad para que los colegios alivien la presión presupuestaria, a menudo con un costo inicial mínimo o nulo, liberando fondos para más beneficios educativos (Kennedy, 2022).

“Los beneficios de la energía solar están llegando a una amplia gama de escuelas de todo el país, incluyendo las escuelas en las comunidades de bajos recursos que pueden ganar más de los ahorros de costos de energía y las oportunidades educativas que la tecnología solar proporciona. Nos esforzamos para que todas las escuelas y comunidades, independientemente de su tamaño, geografía o riqueza, tengan acceso a una energía limpia y asequible. Dijo Tish Tablan, autora principal del informe y directora del programa Solar For All Schools de Generación180” (Kennedy, 2022).

Dicho informe revela que en Estados Unidos hay 8409 escuelas solares, a las que asisten más de 6.1 millones de estudiantes. Por ejemplo, en la Academia de Energías Renovables de las Escuelas Públicas de la ciudad de Denver (Colorado), los estudiantes de secundaria empiezan a prepararse para trabajar como instaladores solares. Por lo que se espera que la instalación solar se convierta en una de las profesiones de más rápido crecimiento del país durante la próxima década (Kennedy, 2022).

Se podría continuar hablando de países con una gran trayectoria de éxito en la implementación de energía solar (Costa Rica, China, Noruega, Dinamarca, etc.) pero no es el fin de este trabajo.

En México, la situación es un poco diferente, se encuentra en proceso de desarrollo en la implementación de energías renovables. A pesar de ser un país con una radiación solar muy alta, (por encima de Alemania) no la ha sabido explotar. Aún se sigue dependiendo en su mayoría de

la energía eléctrica producida por combustibles fósiles, distribuida y comercializada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), ente encargado de satisfacer la demanda eléctrica a la población del país (que no están clasificados como grandes usuarios).

En México, la mayoría de sus instituciones de gobierno funcionan con energía convencional, las nuevas edificaciones que se encuentran en proceso de construcción o que son relativamente nuevas ya se les ha dotado de paneles solares para que puedan generar su propia energía eléctrica, por ejemplo, la Auditoría Superior de la Federación (sede Picacho-Ajusco). Cuenta con 480 paneles fotovoltaicos con una capacidad de generación de 156.96 kW. (ASF, 2019). Lamentablemente no significa un cambio considerable en el consumo de energía convencional para el país.

Un sector que se considera se le debe de dar prioridad para el uso de energías limpias, es el sector educación como sucede en otros países. En México existen en operación 266 mil 32 planteles de educación básica, media superior, superior y normales para el ciclo 2022 – 2023 (SEP, 2023). Todos los planteles consumen energía eléctrica proporcionada por la CFE, la Secretaría de Educación Pública (SEP) es la entidad responsable de gestionar el pago de las facturas de energía eléctrica de las escuelas públicas que administra directamente el gobierno municipal, estatal y federal, a través de convenios y recursos asignados a los distintos órdenes de gobierno, así como a partir de presupuestos específicos. Sin embargo, existen escuelas públicas descentralizadas del gobierno o autónomas que absorben el pago de la factura de energía eléctrica gracias al presupuesto asignado de manera anual. Por otro lado, a través del Programa Escuelas al CIEN, se destinan recursos para el mantenimiento y adecuación de las instalaciones escolares, incluyendo el pago de servicios básicos como la energía eléctrica. (Gob, 2023).

Con el uso de fuentes renovables se puede evitar el pago de la energía eléctrica en los planteles educativos, existen múltiples alternativas para lograrlo, además del enorme beneficio ambiental. Las autoridades de gobierno deberían considerar esta situación como una emergencia y buscar alternativas energéticas limpias, lamentablemente por el momento, no es prioridad ni de interés

para implementarse en corto tiempo. Sin embargo, no todo es malo, y se empieza a ver una luz al final del túnel, y lo mejor de todo es que se parte de mejoras a las instalaciones educativas. Por ejemplo, el gobierno de Puebla firmó un programa llamado “Escuelas Solares”, el cual consiste en instalar más de mil paneles solares, así como 600 luminarias eficientes, por lo que se prevé que el proyecto, beneficie a 12 mil familias poblanas con ahorros anuales de 2.4 millones de pesos (Gobierno de Puebla, 2023).

La instalación del sistema fotovoltaico distribuido estará a cargo de la Agencia de Energías del Estado de Puebla. En esta primera etapa se implementará en 18 centros educativos y 12 instituciones educativas públicas.

“Escuelas solares” es un proyecto de inversión para el desarrollo energético sustentable. Durante su intervención, la secretaria de Economía, Olivia Salomón, quien asistió en representación del gobernador Sergio Salomón destacó el legado del exmandatario Miguel Barbosa Huerta y el impulso de la actual administración de priorizar el compromiso con el medio ambiente en beneficio de las nuevas generaciones, y establecer mecanismos de promoción de energías limpias para crear las condiciones de desarrollo sostenible.

Asimismo, José Luis Sorcia Ramírez, encargado del despacho de la Secretaría de Educación, invitó a las y los estudiantes, así como a los docentes a tomar conciencia de la importancia de la energía limpia, y de la contribución de este proyecto para tener espacios educativos modernos, eficientes y conectados con la conciencia ecológica. (Gobierno de Puebla, 2023).

Otro ejemplo con un valor enorme al ser una institución educativa la que lo implementó es la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Campus Iztapalapa. La Comisión para el Desarrollo Sostenible de la UAM-I, diseñó e implementó un Laboratorio de Energía Fotovoltaica de generación eléctrica solar (UAM-I, 2023). Dicho diseño se creó en el año 2007, con los siguientes objetivos:

- Promover en la comunidad y en la sociedad patrones sustentables de consumo y un estilo ecológico de vida. Transformar la unidad Iztapalapa en un espacio sustentable

y no sólo restringirse a formar profesionales e investigadores, y generar o modificar tecnologías.

- Disminuir el consumo de combustibles fósiles.
- Evaluar el desempeño de un sistema fotovoltaico trifásico de 60 kWp.
- Realizar prácticas de campo para la formación de recursos humanos que habiliten a los estudiantes a diseñar sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

El laboratorio de energía fotovoltaica entró en operación en octubre de 2009, se ubica en la azotea del edificio B, consta de 286 módulos de 210 Wp y 21 inversores, para una potencia de 60 kWp. La comunidad universitaria puede consultar por medio de una pantalla la potencia generada en tiempo real. Se estima que de 2009 a 2019 ha generado 843,000 kWh, lo que representa un ahorro de más de 2 millones de pesos y ha dejado de emitir a la atmósfera alrededor de 469 toneladas de CO_2 .

Lamentablemente no todo es positivo, también tiene un lado negativo:

- No tiene asignado un presupuesto para mantenimiento preventivo especializado
- No se tiene bitácora ni calendario para hacer limpieza
- Carece de acceso a internet

Actualmente el sistema fotovoltaico ya requiere una actualización de equipos, se necesitan 6 inversores Fronius de 5.0 kW para reemplazar 12 inversores Tenesol de 2.5 kW. Además de la contratación de un servicio de mantenimiento preventivo – correctivo (UAM-I, 2023).

Por otro lado, el Tecnológico Nacional de México (TecNM) campus Iztapalapa inició en el año 2019 los trabajos para la instalación de un sistema fotovoltaico, con la finalidad de optimizar los recursos financieros y realizar actividades – enseñanza con el uso de tecnología para generar energía no contaminante (TecNM, 2021).

Los principales resultados de la implementación del sistema son:

- Se dejó de emitir 34 Toneladas de CO_2 a la atmósfera
- Se redujo la facturación de consumo de energía eléctrica de la institución hasta un 95%
- Actualmente el sistema de energía solar sirve de laboratorio para los estudiantes de la institución.

Debido al éxito del sistema, ya se está planeando la construcción de un sistema biodigestión que procesará las aguas negras de la institución y los residuos orgánicos de la cafetería (TecNM, 2021).

Lo anterior, son algunos ejemplos exitosos de la implementación de sistemas fotovoltaicos en escuelas de educación en los distintos niveles. Así mismo, existen innumerables propuestas de estudiantes para el diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos en estas áreas, esto es una muestra del compromiso y la responsabilidad social que tienen los futuros profesionales con el medio ambiente y la sociedad.

En la Ciudad de México se lleva a cabo un programa energético renovable que se llama “Ciudad Solar” el cual promueve el uso eficiente de la energía y de fuentes renovables en los sectores público y privado de la Ciudad de México. Dicho programa realiza su labor sobre cinco ejes: Capacitación, Energía Solar para MIPyMES, Calentamiento Solar de Agua, Generación Eléctrica y Biodiésel. Actualmente el programa se encuentra trabajando para lograr la meta de instalar sistemas fotovoltaicos en 300 edificios de gobierno y de esta manera ahorrar aproximadamente 600 mil pesos al año (Solar C. , 2022).

Desafortunadamente el programa “Ciudad Solar” se enfoca en edificios de gobierno y no ha realizado ningún diseño e implementación en escuelas públicas. El problema no es falta de

presupuesto (ya se mencionó anteriormente en donde se están enfocando), el problema es que no es una “prioridad” para el gobierno, lo cual es muy desafortunado.

Por consiguiente y considerando los casos de éxito que se han obtenido al instalar sistemas fotovoltaicos en escuelas públicas, se presenta una propuesta con un análisis detallado que incluye información clara sobre la factibilidad económica de instalar un sistema fotovoltaico en una escuela preparatoria. Se busca ser ejemplo para las demás escuelas de esta ciudad, y que partan del presente trabajo para que empiecen una nueva era en el uso de energías renovables.

1.2. Planteamiento del Problema

La Escuela Preparatoria Tlalpan II “Otilio Montañó” perteneciente al Instituto de Educación Media Superior de la Ciudad de México (IEMS-CDMX), se ubica geográficamente en la alcaldía de Tlalpan, Pueblo de San Miguel Topilejo. Actualmente cuenta con una población aproximada de 1,200 personas, considerando alumnas, alumnos, personal docente, administrativo, cocina, intendencia y vigilancia.

La infraestructura del plantel está compuesta por 5 laboratorios de cómputo, 2 laboratorios de ciencias, 25 salones de clases, 65 cubículos de profesores, 50 cubículos de estudio, 15 oficinas administrativas, biblioteca, auditorio, cafetería, oficina de servicios escolares, área de mantenimiento, cuarto de máquinas y 2 espacios de vigilancia. Con respecto a las áreas externas se tienen: canchas deportivas, jardines, estacionamiento, auditorio al aire libre y huertos.

La alimentación de energía eléctrica a toda la infraestructura del plantel es por medio de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, empresa pública de carácter social en México, encargada de generar, transmitir, distribuir y comercializar energía eléctrica). El consumo de energía eléctrica mensual es de aproximadamente 10,000 kWh con un costo económico de \$43,485 pesos (factura de la CFE correspondiente al mes de enero de 2020).

Asociado a lo anterior la comunidad estudiantil, además de hacer uso de las instalaciones, hace uso de la energía eléctrica para uso personal, como cargar su dispositivo móvil, laptop, tablet o algún dispositivo de comunicación; lo que causa un aumento de consumo de energía eléctrica.

Como se puede observar, el gasto por energía es muy significativo para el IEMS-CDMX (considerando que cuenta con 25 planteles en la misma condición). Para reducir el consumo eléctrico en lo mayormente posible, se han implementado medidas internas como mantener apagadas la luz de los salones y cubículos estudiantes cuando no estén en uso, desconectar computadoras si no hay clases, reparar y/o colocar sensores de luz en las lámparas exteriores y eliminar 1 de las 4 lámparas de los 65 cubículos de profesores. A pesar de las medidas de ahorro de energía, el consumo de energía eléctrica no ha disminuido de manera considerable.

En este sentido, se propone realizar un análisis de factibilidad económica para instalar un sistema fotovoltaico en el plantel. Si el análisis es favorable económicamente, entonces se podrá utilizar energía solar para la alimentación eléctrica del plantel y reducir en lo mayor posible el consumo de energía eléctrica que nos proporciona la CFE. Esto traerá como consecuencia una reducción económica en la factura mensual, y al mismo tiempo un beneficio al medio ambiente al reducir el uso de energías fósiles que tanto dañan al planeta.

1.3. Justificación

Actualmente la energía eléctrica generada a través de tecnologías limpias, como la energía solar, se encuentra en un momento de apogeo absoluto. El abaratamiento en los últimos años de la tecnología necesaria para instalar sistemas fotovoltaicos ha permitido que sea más accesible, dando lugar a un aumento considerable en la implementación de esta tecnología generadora de energía eléctrica.

En este sentido, resulta importante ser partícipe de esta nueva tecnología y realizar un análisis de factibilidad económica para instalar un sistema fotovoltaico en el plantel Tlalpan II "Otilio

Montaño”. Además, y debido a su ubicación geográfica se puede afirmar que cuenta con todas las características necesarias para ser una instalación educativa generadora de su propia energía eléctrica. Este análisis permitirá conocer la viabilidad de la implementación y los posibles beneficios que traerá al plantel, entre los que se encuentran:

- Medio Ambiente: El IEMS-CDMX pondrá su granito de arena para la reducción del uso de combustibles fósiles que tanto contaminan al planeta y que hoy en día, afectan a toda la población mundial.
- Económico: El IEMS tendrá un ahorro económico considerable, que puede destinar a otras áreas del plantel que demanden alguna necesidad.
- Educación Energética: Los estudiantes del plantel utilizarán energía solar para alimentar sus dispositivos electrónicos personales, lo que repercutirá en el interés de conocer cómo se genera esta energía.

De llevarse a cabo el proyecto, permitirá saber la factibilidad económica del uso de esta tecnología generadora de energía y así evitar en la medida de lo posible el consumo de la energía eléctrica que nos proporciona la CFE. Ya que, de continuar consumiendo esta energía, aumentará económicamente la factura eléctrica mensual ocasionado por la inflación, además, se debe considerar que semestre con semestre aumenta la tecnología actual (computadoras, impresoras, lámparas, etc.) y con el paso del tiempo demandarán mayor consumo de energía. Esto sin considerar la continua afectación al medio ambiente al seguir consumiendo energía fósil.

Finalmente, y antes de llegar a ese inmenso problema energético se debe buscar una posible solución y la que se propone en este trabajo se encuentra en la viabilidad económica de la instalación de un sistema fotovoltaico.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar la factibilidad económica de instalar un sistema fotovoltaico en la Escuela preparatoria Tlalpan II “Otilio Montaño”.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar los resultados de proyectos de paneles solares en instalaciones educativas de México y el mundo
- Definir los principales elementos que conforma un sistema fotovoltaico y su función
- Análisis de la normatividad aplicable a los sistemas fotovoltaicos de energía distribuida con interconexión a la red
- Analizar las facturas eléctricas de la preparatoria que proporciona la CFE de los últimos 3 años
- Calcular las Horas Solares Pico por medio de la radiación solar y compararlas con las obtenidas en la página web PVGIS
- Calcular la potencia fotovoltaica requerida para satisfacer la demanda de energía eléctrica en el plantel
- Evaluar el mercado de paneles solares e inversores en México y seleccionar la mejor opción para el proyecto
- Diseñar el sistema de paneles solares basado en cálculos y compararlo con el obtenido de la simulación en el software HeliosCope
- Determinar el Tiempo de Retorno de la Inversión para instalar paneles solares en el plantel
- Analizar los resultados obtenidos

Capítulo II. Marco Teórico

La energía del Sol es una forma de energía renovable que se obtiene a partir de la radiación solar. Esta energía puede ser aprovechada de varias formas, siendo una de ellas mediante sistemas fotovoltaicos.

2.1. Energía del Sol

El Sol es una de las más de dos mil millones de estrellas de la vía láctea y es la más cercana a nosotros, se encuentra a 150 millones de kilómetros de la tierra, casi la distancia que correspondería en darle 4,000 vueltas al planeta tierra. No obstante, y a pesar de la distancia, la luz solar sólo tarda 8 minutos en llegar a nuestro planeta. Dicho tiempo es imperceptible para nosotros, debido a que los rayos solares son constantes y así será por los cuatro mil quinientos millones de años que le quedan de vida al Sol (Messenger, 2005).

Para conocer esta energía basta con exponerse al Sol, sentir su calor, su iluminación, observar los rayos solares producidos durante el día y principalmente al atardecer. Cada partícula de luz solar que llega a nuestro planeta, se le llama fotón, y ésta contiene la energía que alimenta nuestra vida.

Durante muchos años la energía solar se ha desperdiciado, a pesar de que es la fuente de energía más abundante en la tierra, es renovable, disponible, gratuita y en cantidad muy superior a las necesidades energéticas de la población mundial.

La tierra recibe la energía del Sol mediante la radiación electromagnética, que es la combinación de ondas eléctricas y magnéticas oscilantes que se propagan a través del espacio transportando energía (ver ilustración 1).

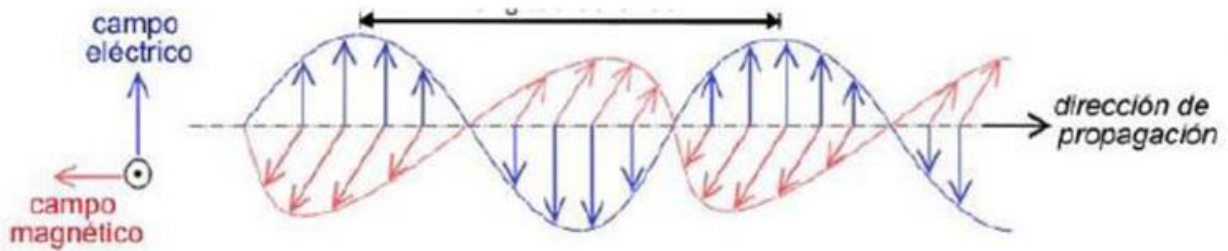


Ilustración 1. Onda Electromagnética. (Radianza, 2023)

2.2. Radiación

La radiación solar es la energía electromagnética que se emite desde el Sol y se propaga a través del espacio hasta llegar a la tierra. Esta radiación está compuesta por diferentes longitudes de onda, desde las radiaciones infrarrojas y visibles hasta las radiaciones ultravioletas y otras formas de radiación electromagnética. La radiación solar es la principal fuente de energía para la mayoría de los procesos biológicos y geológicos en nuestro planeta (Sánchez, 2017).

La radiación que llega en la parte superior de la atmósfera (terrestre) trae consigo una cantidad de energía solar aproximadamente de 1367 W/m^2 , parámetro que se conoce como insolación o constante solar. En la superficie de la Tierra el flujo de radiación solar disminuye debido a la absorción y dispersión en la atmósfera terrestre, y es, por término medio de 800 a 900 W/m^2 .

La energía solar incidente en la superficie terrestre se manifiesta de cuatro maneras diferentes (Ilustración 2):

- **Radiación Directa:** Aquella que viene directamente del Sol
- **Radiación Difusa:** Aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del Sol en la misma. Es decir, la luz llega irregularmente dispersa y sin una dirección uniforme. Esta energía va variando de acuerdo con los días nublados o soleados, por ejemplo, en los días nublados la

radiación difusa es mayor y en los días soleados es mucho menor. Además, las superficies (colectores solares) que se encuentran de manera horizontal (0°) son las que más radiación difusa reciben, debido a que ven toda la semiesfera celeste, conforme el ángulo va aumentando (hasta llegar a 90° con respecto a la superficie) van recibiendo menos radiación debido a que se acorta la visibilidad de la semiesfera hasta llegar a ver sólo la mitad de la semiesfera celeste. (Sanchez. J Aarón. Martinez E Dalia, 2017)

- **Radiación reflejada:** Es aquella energía solar reflejada, es decir, dirigida hacia arriba, tras haber sido reflejada o difundida por la atmósfera y por la superficie de la tierra. La cantidad de radiación reflejada dependerá del tipo de superficie y de su coeficiente de reflexión, por otra parte, las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven la superficie terrestre, mientras que las superficies verticales son las que más reciben. (Sanchez. J Aarón. Martinez E Dalia, 2017)
- **Radiación Global:** Es toda la radiación solar que llega a la tierra y que se mide sobre una superficie horizontal en un ángulo de 180 grados, resultado de la componente vertical de la radiación directa más la radiación difusa y las múltiples reflexiones que sufre la radiación a su paso por la atmósfera (difusa). Matemáticamente podemos expresarla de la siguiente manera: (Sanchez. J Aarón. Martinez E Dalia, 2017)

$$\text{Radiación Global} = Q+q$$

Q: Radiación directa

q: Radiación difusa

Por lo anterior, es fácil determinar que, bajo un cielo claro, la radiación difusa se debe a la reflexión y la dispersión ocasionada por las partículas del aire, afectando principalmente a las longitudes cortas (el cielo se ve azul). En cambio, cuando en la atmósfera hay nubes (vapor de agua y otros componentes), la reflexión y dispersión es mayor, afectando a las radiaciones del

espectro electromagnético visible al ojo humano (cielo con tonalidad blanquecina) (Sanchez. J Aarón. Martínez E Dalia, 2017)

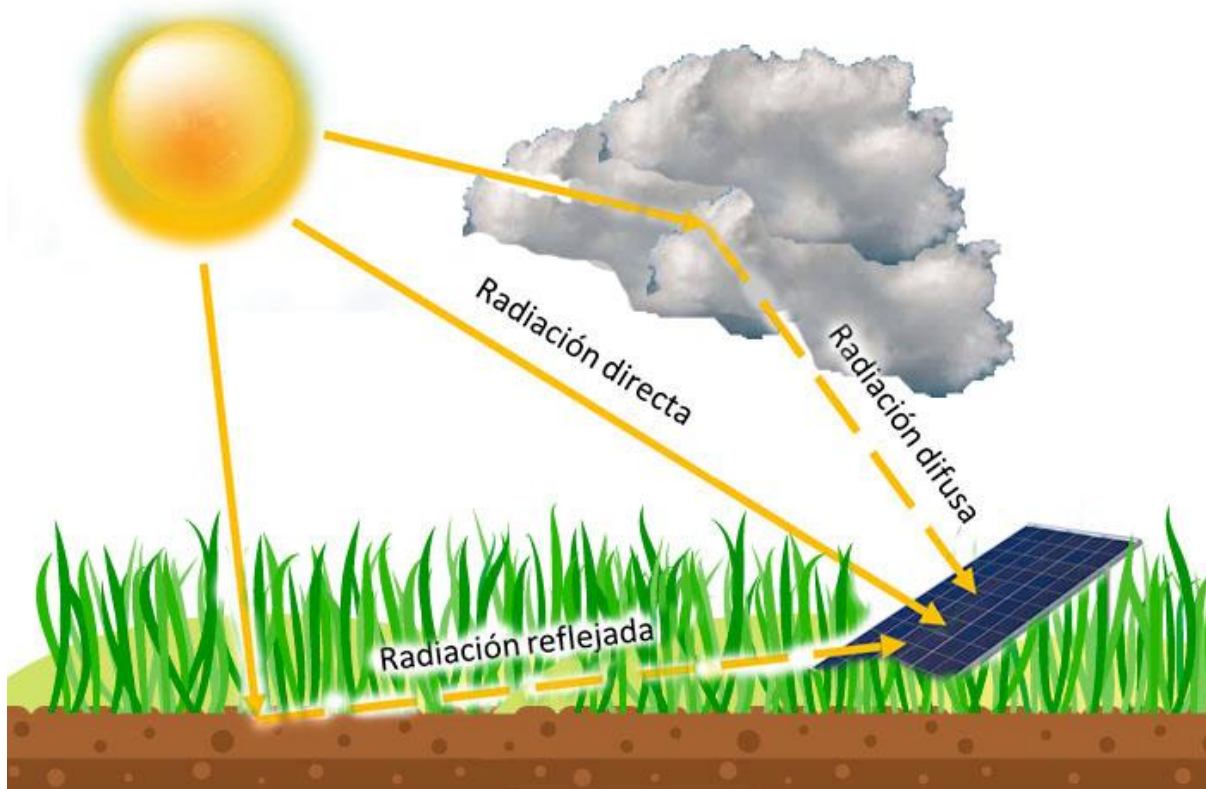


Ilustración 2. Tipos de Radiación (Corona R. E., 2022)

La energía solar obtenida a partir de la radiación solar va a variar dependiendo de la latitud del lugar, la hora en que se mida, las condiciones climatológicas, atmosféricas, la estación del año y en ocasiones, del comportamiento del Sol (Technology, 2015).

La intensidad de esta energía debido a la radiación solar se mide en unidades de W/m^2 y expresa la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie en un tiempo determinado.

2.2.1. Radiación y panorama en México

La radiación solar varía en todo el mundo dependiendo de factores como la latitud, la altitud, la topografía y la época del año.

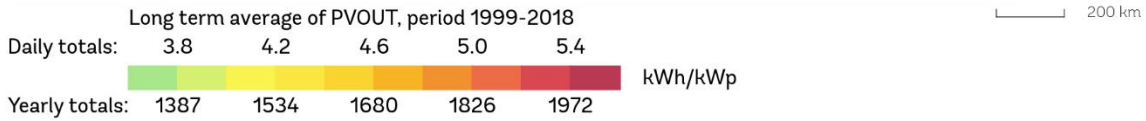
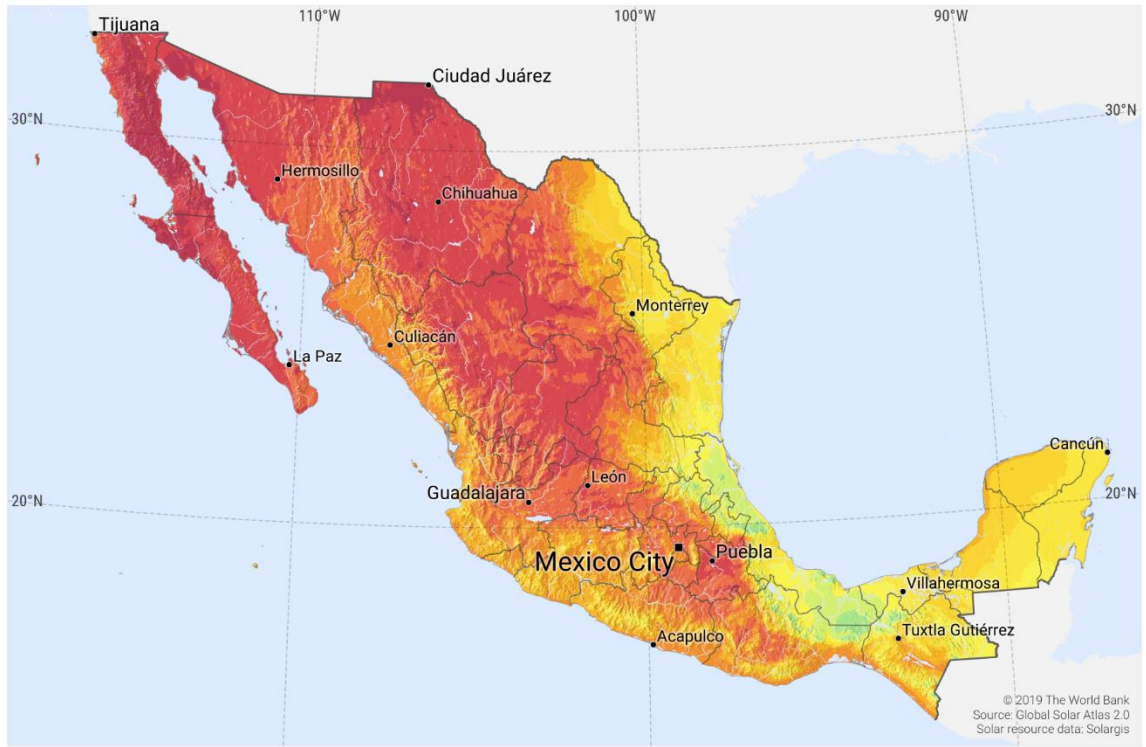
México, es uno de los países que cuentan con mayor potencial solar en todo el continente americano, lamentablemente no ha sido aprovechado. Por ejemplo, ninguna ciudad europea supera a México en potencial solar, sin embargo, la capacidad instalada para producir electricidad a partir de energía solar de los alemanes es miles de veces más que la que tiene México (10,234 MW vs 16 MW). Irónico: siendo un país con un territorio 72% más pequeño que el nuestro, su capacidad de producción eléctrica a partir del Sol equivale a una sexta parte de toda nuestra capacidad de generación eléctrica instalada. Estos datos dejan dos cosas claras: primero, que el potencial de luz solar que tenemos en México duplica el que tiene Alemania; y segundo, que todo ese potencial se pierde o lo dejamos perder literalmente, porque nuestra capacidad para recuperar la energía solar anda muy baja (Expansión.mx, 2009).

La radiación solar en México es de alrededor de 5 kWh por metro cuadrado al día, lo que significa que hay una gran cantidad de energía disponible para la captura, conversión y uso.

En la ilustración 3 se observa que el *noroeste* del país es la zona con mayor potencial, donde la radiación excede los 5.4 kWh/m² en primavera y verano. Sin embargo, la mayor demanda de energía es en el centro del país, lo que implica un reto o una oportunidad para la infraestructura de transmisión de la CFE.

El sol está tomando un papel protagonista y cada vez más importante en nuestra economía, y puede llegar a ser un generador de empleos para nuestro país.

PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL
MEXICO



This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

Ilustración 3. Radiación solar. (Atlas, 2023)

2.2.2. Radiación en la Preparatoria Tlalpan II “Otilio Montaño”

El plantel se encuentra en la demarcación de la alcaldía Tlalpan, en el pueblo de San Miguel Topilejo, las coordenadas son 19.2027724831612, -99.14952373635148 (Ilustraciones 4 y 5). El plantel inició construcción en el año 2001 y se inauguró el 2 de junio de 2003. Es el segundo plantel en la demarcación por tal razón se le puso el sobrenombre de Tlalpan 2.

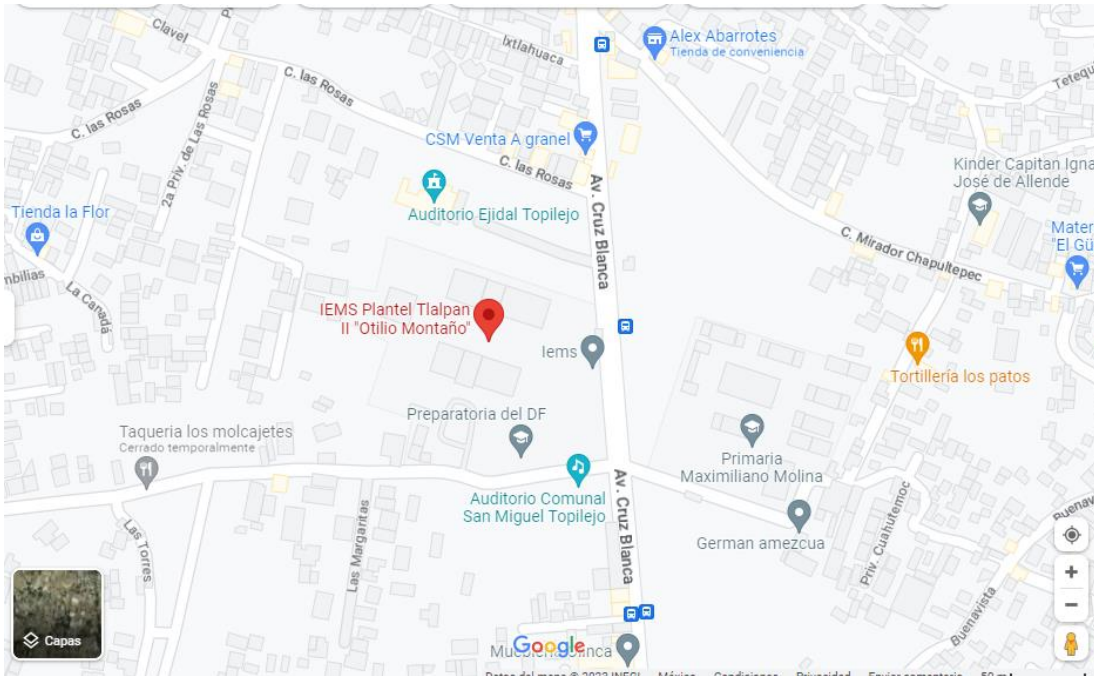


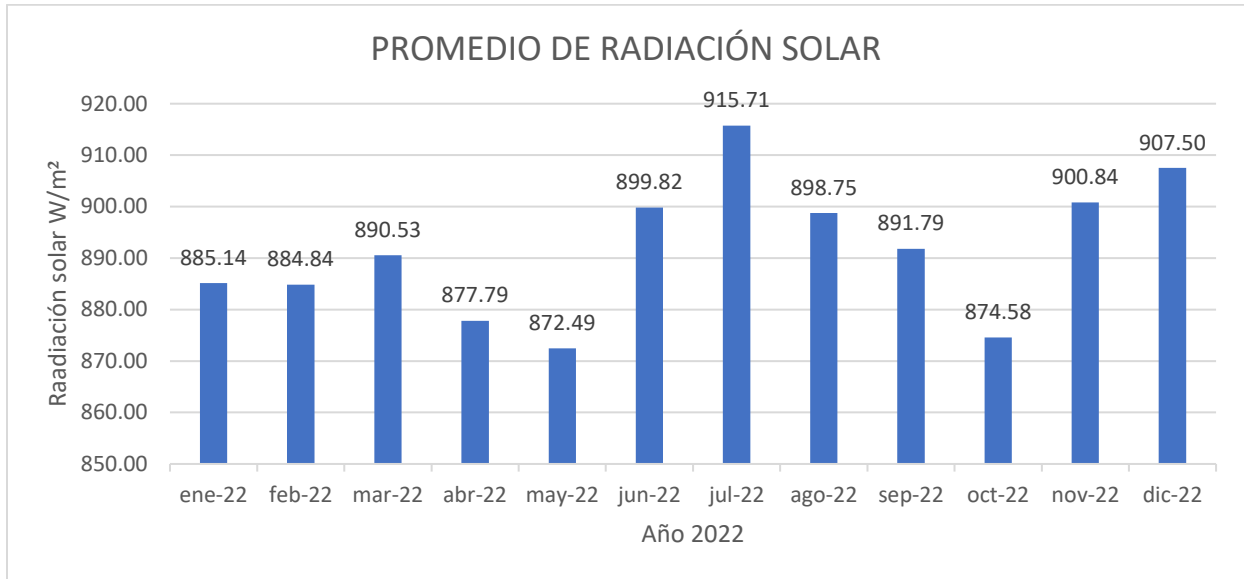
Ilustración 4. Ubicación del plantel. (Maps, 2023)



Ilustración 5. Vista aérea plantel Tlalpan 2. (Maps, 2023)

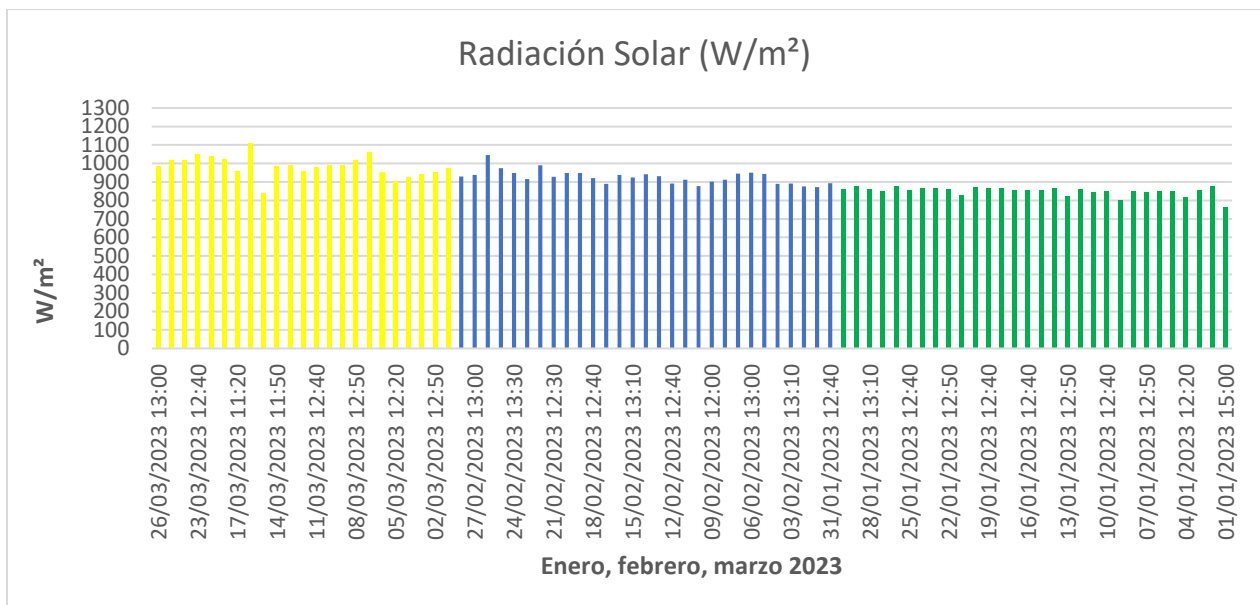
La radiación en la zona alta de la alcaldía es medida por el Servicio Meteorológico Nacional de Tlalpan (estación ecoguardas) (Ecoguardas, 2023).

En la gráfica 1 se muestra el promedio de la radiación solar mensual correspondiente al año 2022 (Ecoguardas, 2023).



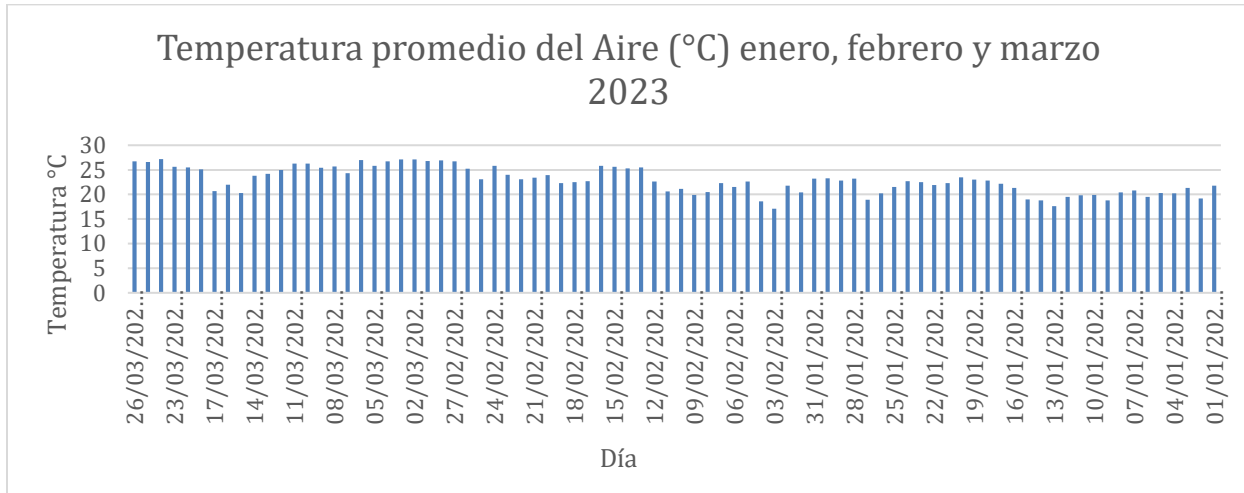
Gráfica 1. Radiación solar en la preparatoria

El promedio de radiación solar correspondiente al año 2022 fue de 891.64 W/m². Con respecto al primer trimestre del año 2023 el comportamiento de la radiación solar se presenta en la gráfica 2 (registro diario) (Ecoguardas, 2023).



Gráfica 2. Radiación Solar 1er trimestre 2023

Un parámetro muy importante es la temperatura del lugar, para el primer trimestre del 2023 la temperatura promedio fue de 22.85°C, en la gráfica 3 se visualiza de manera más clara (Ecoguardas, 2023).



Gráfica 3. Temperatura promedio en el plantel

La temperatura promedio mensual para los primeros meses del año 2023 se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Temperatura 1er trimestre, 2023

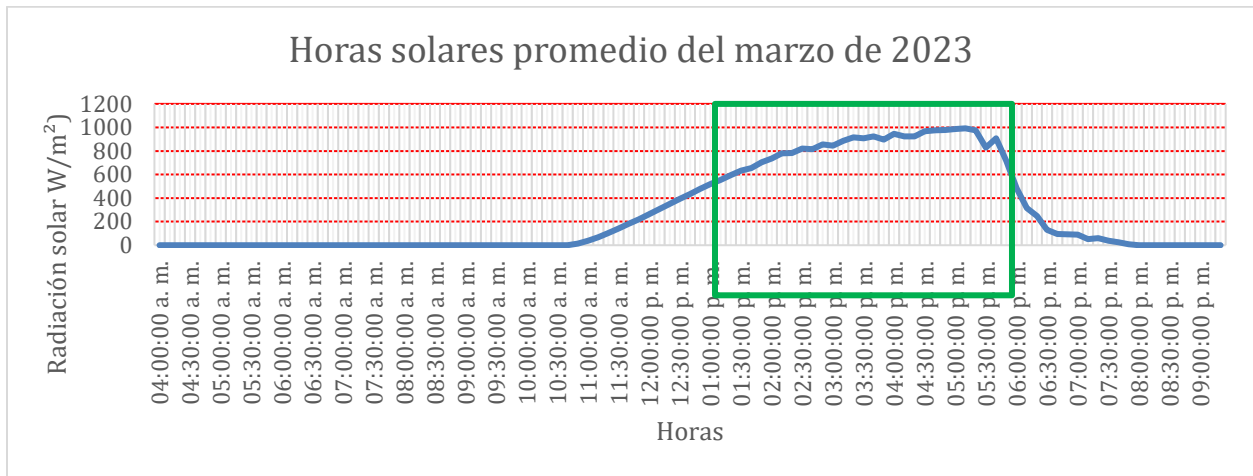
Enero	Febrero	Marzo
21.04 °C	22.9 °C	25.3 °C

2.3. Horas Solares Pico (HSP)

Las horas solares pico (HSP) es la cantidad de energía solar que un panel puede generar en una hora. Considerando condiciones óptimas de radiación solar (normalmente en términos de irradiancia de 1,000 W/m²) durante un periodo específico. A continuación, pongo un ejemplo para que sea más claro, Si tenemos un sistema de paneles solares con capacidad de 1kW y se

estima que recibirá 2 HSP durante el día, se puede calcular que generará aproximadamente 2kWh de energía eléctrica en ese mismo periodo. Es importante mencionar y tener siempre presente que las HSP pueden variar según la ubicación geográfica, la época del año y las condiciones climáticas, entre otros factores.

Para el cálculo de las Horas Solares Pico de este proyecto se consideró el promedio de los registros de la radiación del mes de marzo del año 2023, (dichos registros fueron cada 10 minutos desde las 4:00 am hasta las 9:20 pm), obteniendo la gráfica 4.



Gráfica 4. Horas Solares Pico en plantel

Como se observa en la gráfica 4 el comportamiento de la radiación nos arroja un promedio de **5 horas solares pico** (No olvidemos que corresponde al mes de marzo y que, si observamos la gráfica 1, hay meses que tienen mayor radiación solar, por lo que aumentarán las HSP). Sin embargo, para corroborar la información anterior, se recurre a la página www.pvgis.com. (PVGIS, 2022), la cual tiene una interfaz gráfica que permite obtener la irradiación del lugar donde se desea instalar un sistema fotovoltaico (Ilustración 6).

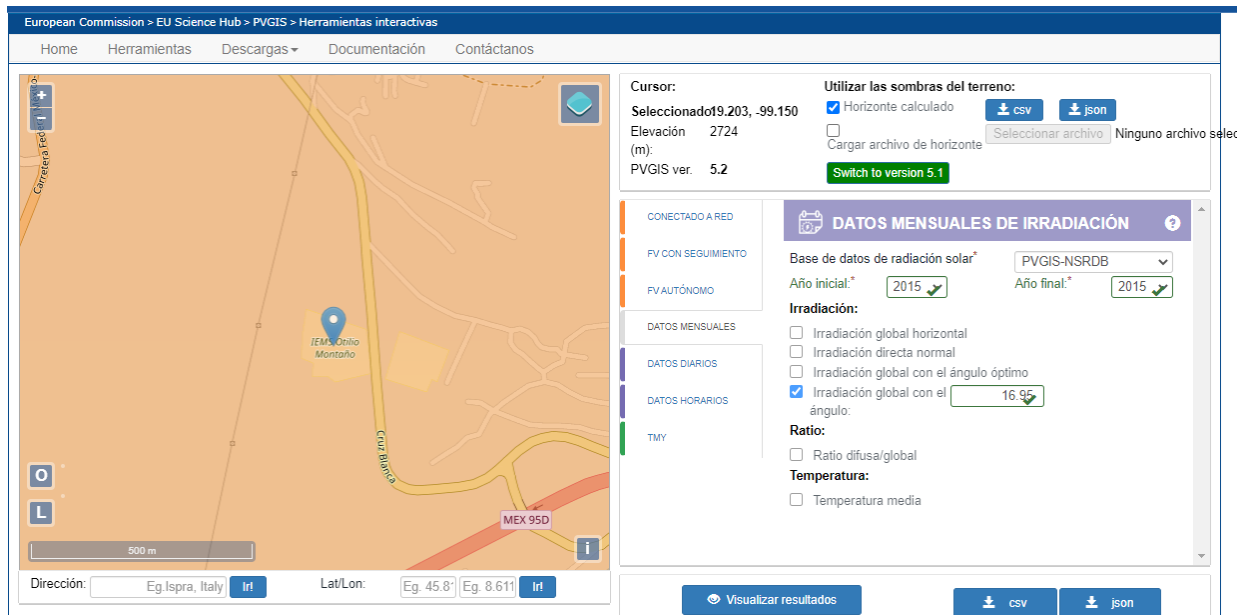


Ilustración 6. Ubicación del plantel (Geográfica, 2022)

Para obtener la irradiancia se deben ingresar datos geográficos. Se ingresan las coordenadas del lugar y la inclinación óptima del panel. Para calcular la inclinación óptima se realiza con la siguiente fórmula (Spain, 2022):

$$\beta(\text{Inclinación óptima}) = 3.7 + 0.69 * \text{latitud}$$

$$\text{Inclinación óptima} = 3.7 + 0.69 * 19.202 = 16.94^\circ$$

Finalmente, elegimos el periodo de tiempo del cual deseamos saber el dato, para este caso se elige un año y ejecutamos. Se descarga la información en formato de Excel. La información de la irradiación aparece de manera mensual, solo queda dividir la irradiación mensual entre el número de días correspondiente al mes, obteniendo las HSP.

A continuación, se describe el procedimiento para el mes de enero:

$$\text{Irradiación total enero} = 191.3 \frac{kWh}{m^2}$$

$$\text{Días del mes de enero} = 31 \text{ días}$$

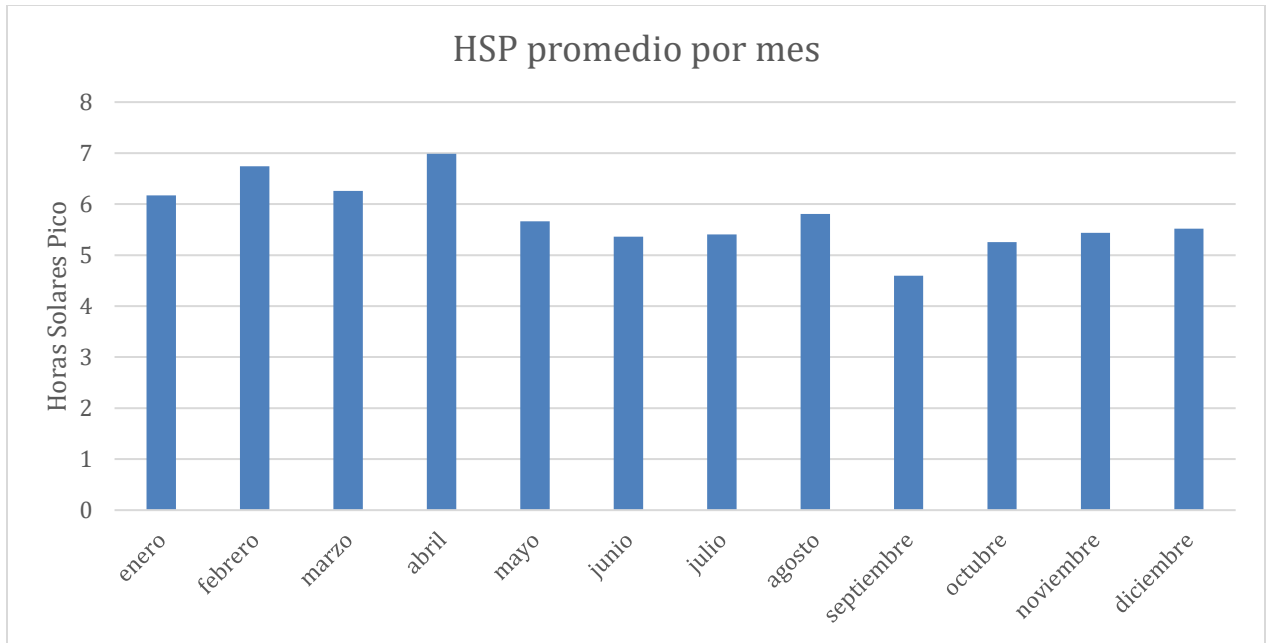
$$\text{Irradiación (promedio)} = \frac{191.3 \frac{kWh}{m^2}}{31} = 6.17 \frac{kWh}{m^2}$$

$$\text{HSP} = \frac{6.17 \frac{kWh}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}} = 6.17 \text{ hrs}$$

Al realizar el mismo procedimiento con los demás meses obtenemos los resultados expresados en la Tabla 2.

Tabla 2. Horas Solares Pico

mes	Irradiación Mensual kW/m ²	HSP (Horas)
enero	191.3	6.17096774
febrero	188.8	6.74285714
marzo	194.06	6.26
abril	209.66	6.98866667
mayo	175.45	5.65967742
junio	160.88	5.36266667
julio	167.53	5.40419355
agosto	180.07	5.80870968
septiembre	137.83	4.59433333
octubre	162.91	5.25516129
noviembre	163.06	5.43533333
diciembre	171.11	5.51967742



Gráfica 5. Horas Solares Pico por mes

El promedio de las HSP que se muestra en la gráfica 5 es de **5.766 Horas**. Se puede confirmar que ambos resultados son muy parecidos, por lo que se considerará para el presente trabajo **5.766 HSP**.

2.4. Análisis de la factura del consumo eléctrico proporcionado por la CFE

La CFE es la encargada de suministrar energía eléctrica al plantel, el cual tiene la tarifa Gran Demanda en Baja Tensión (GDBT). “Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda de más de 25 kW, excepto a los servicios para los cuales se fija específicamente su tarifa” (CFE C. F., 2023). En la Tabla 3 se muestran los costos de energía de la tarifa GDBT de febrero de 2022.

Tabla 3. Costo de energía eléctrica de CFE (Negocios, 2023)

Valle de México Sur

Tarifa	Descripción	Cargo	Unidades	FEB-22
GDBT	Gran demanda baja tensión mayor a 25 kW-mes	Fijo	\$/mes	586.59
		Variable (Energía)	\$/kWh	2.022
		Distribución	\$/kW	329.92
		Capacidad	\$/kW	272.36

Los cargos de las tarifas finales del suministro básico descritos en este apartado corresponden a la integración de los cargos por Transmisión, Distribución, Operación del CENACE, Operación del Suministrador Básico, Servicios Conexos No incluidos en el MEM, Energía y Capacidad (Ilustración 7).

CFE | Suministrador de Servicios Básicos

CFE Suministrador de Servicios Básicos
Río Páscar No 14, colonia Cuauhtémoc,
Alcalá: Cuauhtémoc, Código Postal 06500,
Ciudad de México,
RFC: C5516030CF7

CRUZ BLANCA S N SN MIGUEL TOPI
LEJO TLALPAN
SAN MIGUEL TOPILEJO
SAN MIGUEL TOPILEJO, CDMX
C.P. 14500

(CUARENTA Y TRES MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y CINCO PESOS 00/100 M.N.)

NO. DE SERVICIO: 965030405108
RMU: 14500 03-04-24 IEM0-00401 006 CFE

PERIODO FACTURADO: 02 ENE 20 - 30 ENE 20

TARIFA: GDBT **NO. MEDIDOR:** 369XGU **MULTIPLICADOR:** 80 **FECHA LÍMITE DE PAGO:** 17 FEB 2020

CARGA CONECTADA kW: 218 **DEMANDA CONTRATADA kW:** 185 **CORTE A PARTIR:** 18 FEB 2020

Concepto	No. medidor	Lectura actual		Lectura anterior		Diferencia	Totales
		Medido	Estimada	Medido	Estimada		
kWh	369XGU	2972		2647		125 x 80 =	10,000
kW	369XGU	0.446		0		0.446	31
kVArh	369XGU	865		822		43	3,440

Mes	Días de mes	Consumo prom. diario	Energía kWh	Precios \$/kWh

Mes	Factor de proporción	Demanda máxima \$/kW	Precios \$/kW	Importe (M\$X)	Factor de potencia

Costos de la energía en el Mercado Eléctrico Mayorista					Desglose del importe a pagar	
Concepto	\$	\$/kW	\$/kWh	Importe (M\$X)	Concepto	Importe (M\$X)
Suministro	697.00	0.00	0.00	697.00	Cargo Fijo(%)	697.00
Distribución	0.00	9,125.78	0.00	9,125.78	Energía	37,245.45
Transmisión	0.00	0.00	1,679.00	1,679.00	Bonificación Factor de Potencia(%)	455.31
CENACE	0.00	0.00	80.00	80.00	Subtotal	37,487.14
Energía	0.00	0.00	18,010.00	18,010.00	IVA 16%	5,997.94
Capacidad	0.00	8,294.67	0.00	8,294.67	Facturación del Periodo	43,485.08
SCMEM(%)	0.00	0.00	56.00	56.00	Adeudo Anterior	33,760.96
Total	697.00	17,420.45	19,825.00	37,942.45	Su Pago	33,760.00-
					Total	\$43,485.44

971 CFE Nacional @CFEmx @CFE_Donligo etc.mx

Fecha, hora y lugar de Impresión: 11 NOV 2022 12:44:09 hrs. Francisco Goytia 11 San Pedro Xochimilco Ciudad de Mexico Mexico 16090

14500 03-04-24 IEM0-00401 006 CFE
01 965030405108 200217 000043485 4

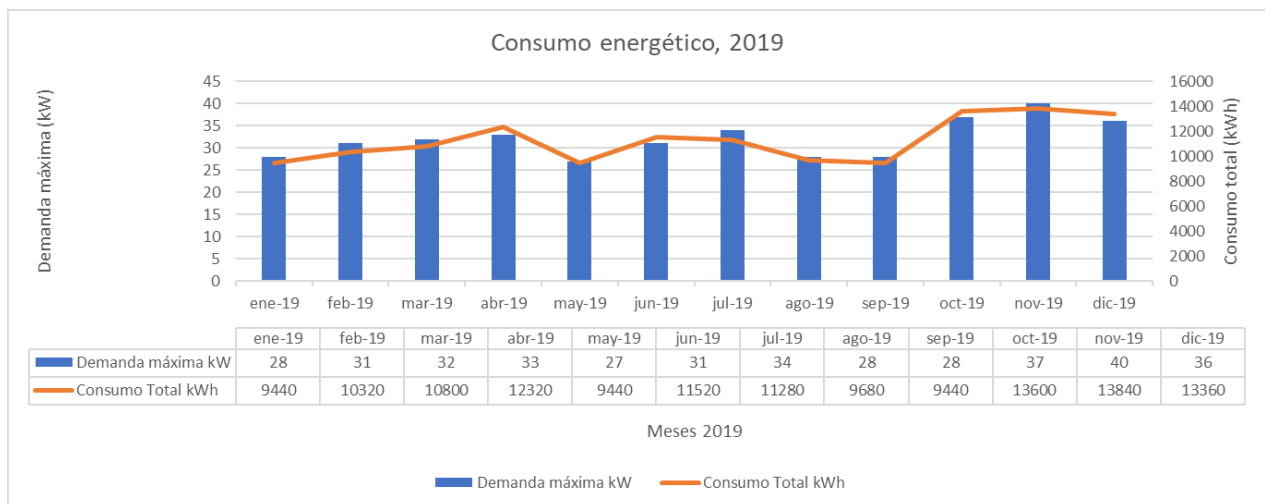
62DN70E566280275 Repartir

(CUARENTA Y TRES MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y CINCO PESOS 00/100 M.N.)

Ilustración 7. Factura eléctrica enero 2020 (CFE F., enero 2020)

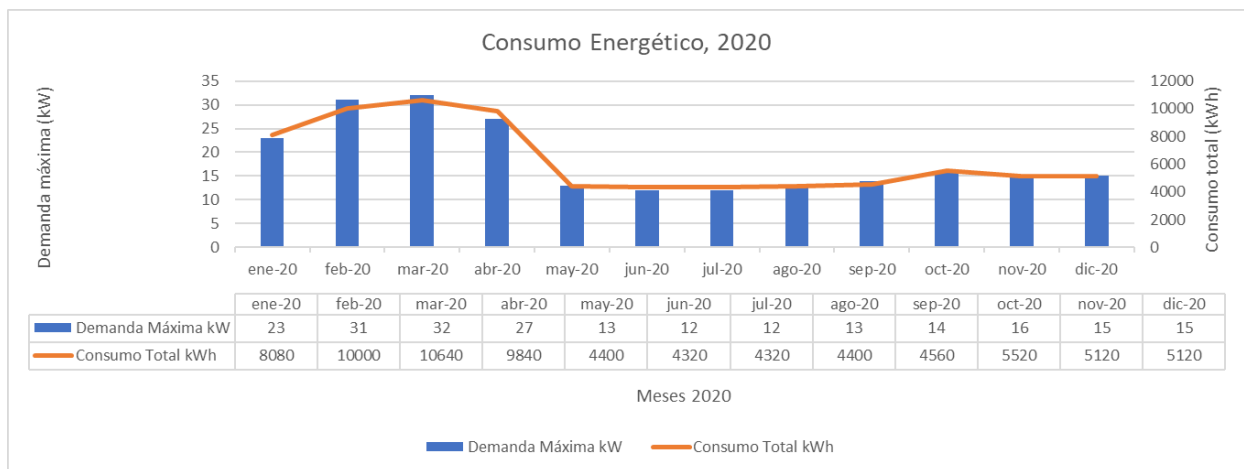
La gráfica 6 muestra el consumo energético frecuente correspondiente al año 2019. Se observa un incremento en el mes de julio, esto se debe a que a finales del mes de junio y julio egresan los estudiantes y por ello aumenta la demanda del uso del auditorio, sala de juntas, audiovisuales, aulas informáticas, además se utilizan en promedio 7 proyectores electrónicos, equipo de audio y demás dispositivos necesarios para presentar su tesina. También se refleja un aumento energético en los meses de octubre, noviembre y diciembre. El aumento se debe a que a finales

de octubre y principios de noviembre se realiza en el plantel concursos de ofrendas, donde la principal atracción es la iluminación eléctrica, se llevan a cabo eventos musicales durante todo el día (Grupos de Rock, Sonidos y demás) y el otro evento es en el aniversario de la revolución (20 de noviembre) donde se realiza un evento conmemorativo, hay exposiciones, pláticas, y presentaciones de bailes tradicionales de las comunidades externas al plantel. Con respecto a diciembre, se llevan a cabo las tradicionales posadas y las obras de teatro (pastorelas) donde la principal atracción es la música y la iluminación. Finalmente, y aunado a lo anterior se incrementan las bajas temperaturas en el plantel y para contrarrestarlo conectan calentadores eléctricos. Con respecto a los demás meses se puede observar un consumo relativamente constante.



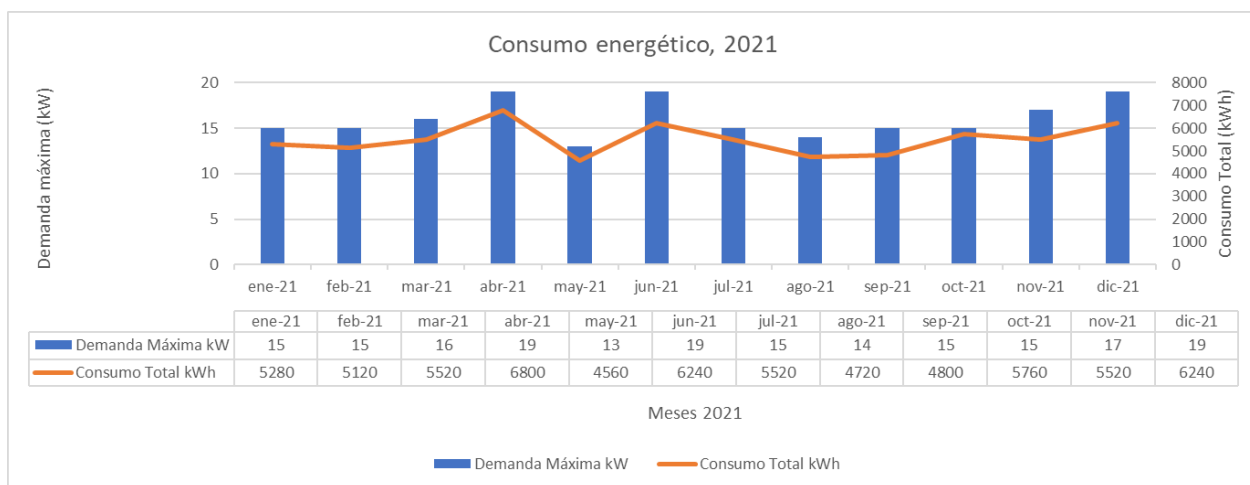
Gráfica 6. Consumo energético, 2019

La gráfica 7 corresponde al consumo energético del 2020, en ella se observa claramente un decremento en el consumo a partir del mes de mayo. Se debe a que se suspendieron labores académicas por la pandemia de COVID-19 y solo se consume la energía para las luminarias y equipos de cómputo primordiales para la seguridad del plantel.



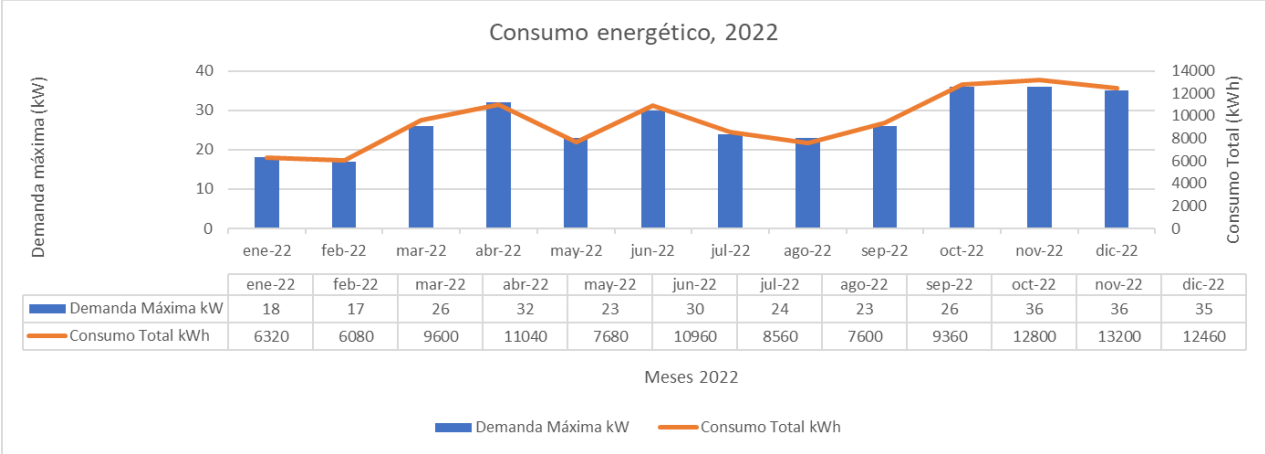
Gráfica 7. Consumo energético, 2020

La gráfica 8 permite observar que debido al cierre del plantel por el COVID-19 se mantiene un consumo mínimo en el plantel durante todo el año 2021.



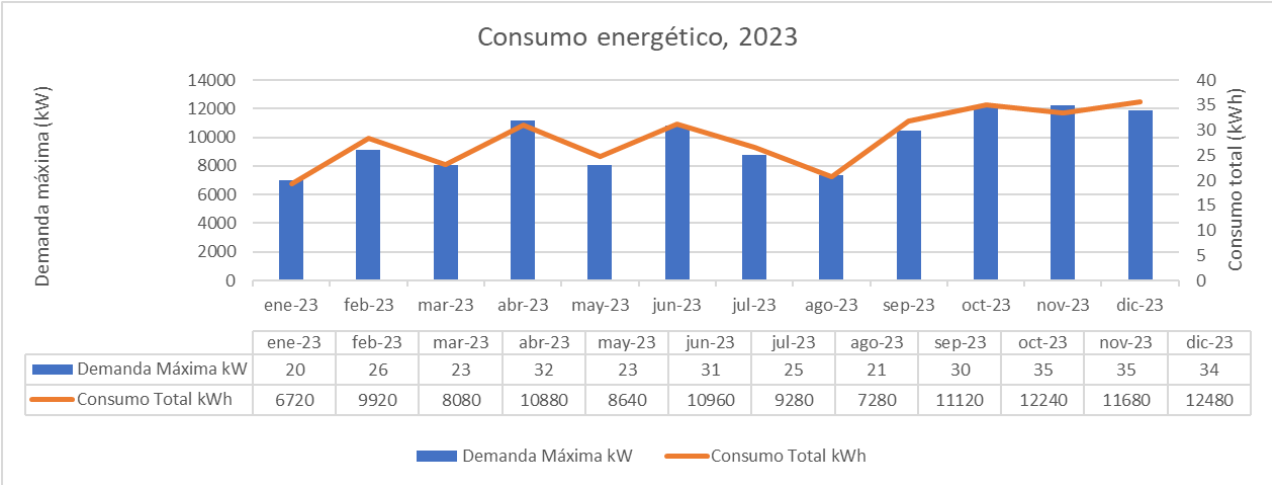
Gráfica 8. Consumo energético, 2021

La gráfica 9 muestra la facturación eléctrica correspondiente al año 2022. Se reactivaron las actividades de manera paulatina, por lo que el consumo empieza a aumentar, con respecto a los meses de abril y junio hay un incremento considerable, se debe a que hicieron modificaciones a la ventilación de los salones y conectaron maquinaria eléctrica. Las tareas académicas del plantel al 100% se logra en el mes de octubre 2022 y el consumo se empieza a normalizar al de años anteriores a la pandemia.



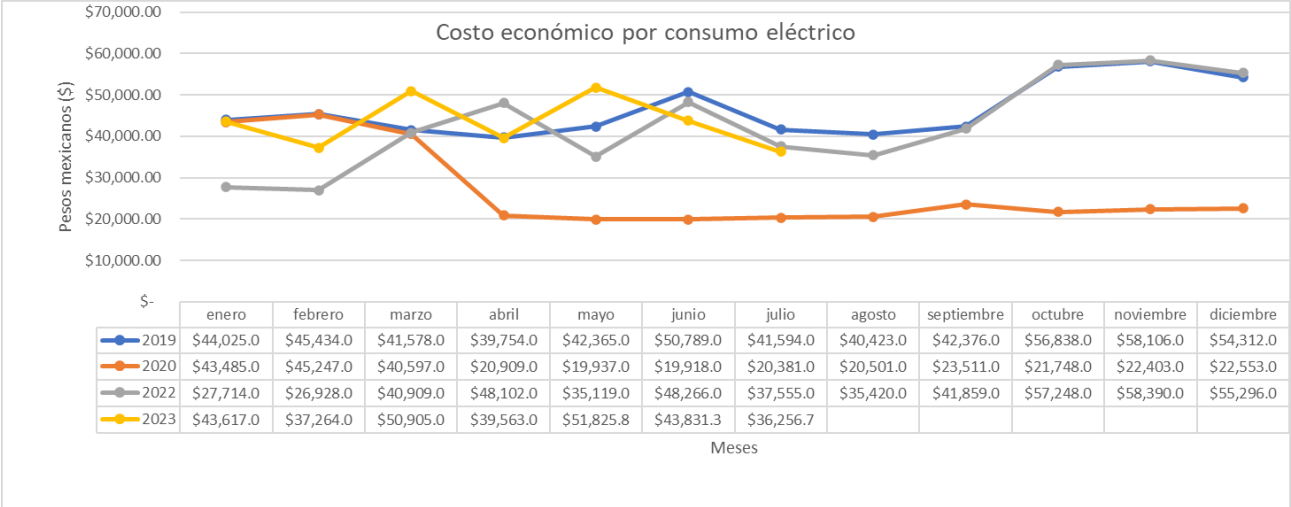
Gráfica 9. Consumo energético, 2022

Con respecto al año 2023 el consumo energético se empieza a regularizar al consumo previo de la pandemia de COVID-19. Lo cual se puede observar en la gráfica 10.



Gráfica 10. Consumo energético, 2023

Con respecto al costo económico mensual de las facturas de la CFE se puede observar en la gráfica 11, se muestran los años 2019, 2020, 2022 y los primeros 7 meses del año 2023. Se nota que no existen datos económicos correspondientes al año 2021, se debe a que el instituto no proporcionó dichos datos por no contar con ellos al momento de realizar la solicitud.



Gráfica 11. Costo económico por consumo eléctrico

En la gráfica 11 se puede notar claramente que posterior al cierre del plantel, en la factura de abril existe una baja en el costo económico, la cual se mantiene durante el resto del año, el año 2021 y para el año 2022 comienza a subir y bajar hasta normalizarse en los últimos meses del año. Con respecto a los primeros meses del año 2023 ya se normaliza y se puede igualar al consumo del año 2019.

Por lo anterior y debido a que se tienen los datos completos del año 2019 (año anterior a la pandemia), además es muy parecido al consumo energético actual del plantel, se considera ese año para fines de análisis económico del presente proyecto, en la tabla 4 se exponen los datos.

Tabla 4. Consumo energético y costo económico, 2019

año 2019			
MES	Demanda máxima kW	Consumo Total kWh	Costo económico
Enero	28	9440	\$ 44,025.00
Febrero	31	10320	\$ 45,434.00
marzo	32	10800	\$ 41,578.00
Abril	33	12320	\$ 39,754.00
Mayo	27	9440	\$ 42,365.00
Junio	31	11520	\$ 50,789.00
Julio	34	11280	\$ 41,594.00
Agosto	28	9680	\$ 40,423.00
Septiembre	28	9440	\$ 42,376.00
Octubre	37	13600	\$ 56,838.00
Noviembre	40	13840	\$ 58,106.00
Diciembre	36	13360	\$ 54,312.00

2.5. Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico como su nombre lo indica es un conjunto de elementos que trabajan entre sí para producir energía eléctrica a partir de una fuente renovable e inagotable como es la radiación solar (Messenger A. Roger, 2003).

Los sistemas solares fotovoltaicos están conformados principalmente por los siguientes dispositivos:

2.5.1. Celdas Solares Fotovoltaicas

Es el medio más pequeño para la generación de energía eléctrica. En su mayoría están construidas con el elemento electropositivo más abundante en la corteza terrestre, el silicio. Se clasifican en 3 presentaciones de acuerdo con la pureza en su construcción:

- **Monocristalino:** el de mayor rendimiento de conversión de energía debido a la pureza del silicio y por tanto más caro.
- **Policristalino:** es de rendimiento intermedio. Es de bajo costo y por lo tanto una muy buena opción económica para instalaciones domésticas.
- **Amorfo:** es el de menor rendimiento, lo que lo hace el más barato, y para su instalación se requiere de mucho espacio debido a que se necesitan muchas celdas.

2.5.2. Módulos fotovoltaicos

Un módulo fotovoltaico es una unidad completa protegida ambientalmente, consta de celdas solares, óptica y otros componentes, sin incluir sistemas de orientación, diseñada para generar energía de corriente continua cuando es expuesta a la luz solar. (Energía, 2012)

A pesar de que es clara la definición de módulo fotovoltaico, muchas personas le llegan a llamar panel fotovoltaico, las cuales están en un error ya que panel fotovoltaico es un conjunto de módulos unidos mecánicamente, alambrados y diseñados para formar una unidad para instalarse en campo.

La estructura que sirve de protección cuenta con diferentes capas, a continuación, se describe brevemente cada capa (Ilustración 8):

- **Capa superior o capa de protección:** Esta capa está hecha de vidrio o materiales sintéticos similares y protege los componentes internos del panel de los elementos ambientales.
- **Capa antirreflejante:** Esta capa reduce la cantidad de luz que se refleja en la superficie del panel, permitiendo que más luz solar llegue a las capas internas.
- **Celdas solares:** Las celdas solares están hechas de materiales semiconductores, como el silicio, y son el componente principal que convierte la luz solar en electricidad. Hay

diferentes tipos de celdas solares, pero todas trabajan de manera similar, absorbiendo la energía de la luz solar y liberando electrones que se mueven a través de la celda y generan una corriente eléctrica.

- Capa de respaldo: Esta capa está hecha de materiales protectores, como plástico o aluminio, que protegen las células solares y los componentes internos del panel de daños externos.
- Conexiones eléctricas: Estas son las conexiones que se encargan de transferir la electricidad generada por las células solares a través del panel y hacia el sistema eléctrico de la estructura donde está instalado el panel.

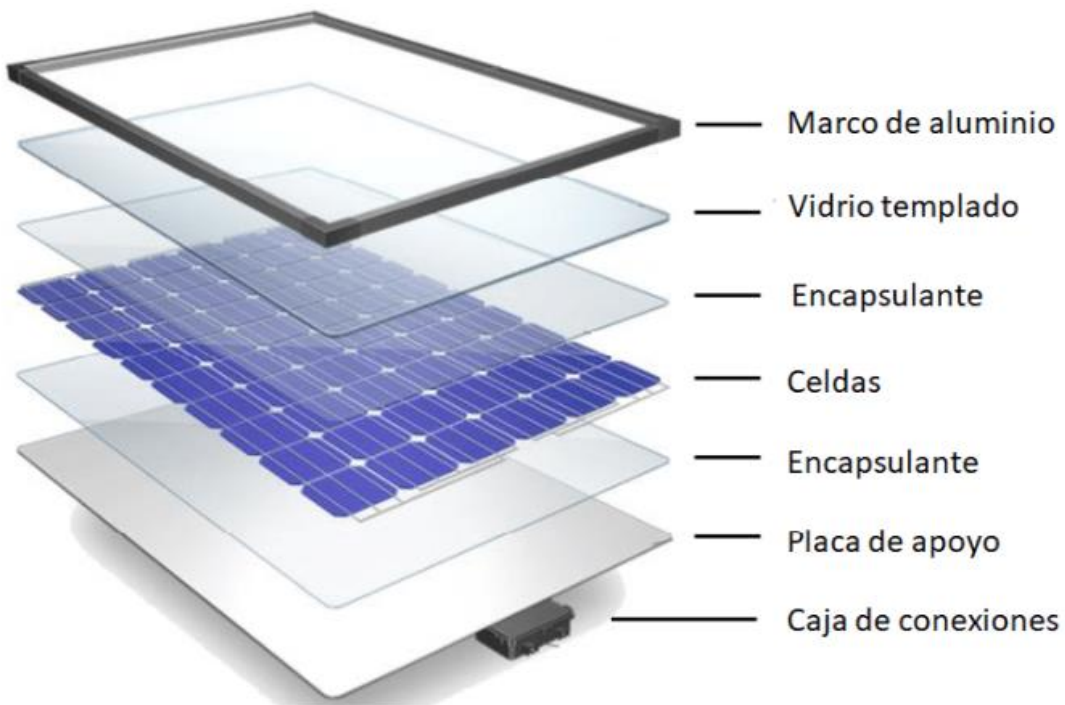


Ilustración 8. Componentes del módulo fotovoltaico (Romero, 2019)

2.5.3. Paneles solares fotovoltaicos

La NOM-001-SEDE-2012 nos define que un panel solar es un conjunto de módulos fotovoltaicos ensamblados sobre una estructura de soporte e interconectados eléctricamente para su instalación en sitio (Ilustración 9).

Los paneles fotovoltaicos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 o 24 V, dependiendo del modelo y marca comercial). La corriente producida depende del nivel de insolación. Por sí solo, el módulo fotovoltaico produce corriente y voltaje muy pequeño para ser utilizado en una aplicación práctica, por lo que para poder ofrecer una energía eléctrica que pueda ser aprovechada de manera fácil y de uso cotidiano se requieren voltajes o corrientes más altos que los disponibles en un solo módulo, por lo tanto, se deben conectar 2 o más módulos en arreglos de tal manera que se cree un panel fotovoltaico que genera mayor corriente.

Las conexiones en serie dan como resultado voltajes más altos, mientras que las conexiones en paralelo dan como resultados corrientes más altas. Cuando los módulos se conectan en serie, es deseable que la máxima producción de energía de cada módulo ocurra con la misma corriente. Cuando los módulos se conectan en paralelo, es deseable que la máxima producción de energía de cada módulo ocurra con el mismo voltaje (Minelli., 2022).



Ilustración 9. Cadenas o string de módulos fotovoltaicos (Energy, 2021)

2.5.4. Inversor

Dispositivo que se encarga de convertir el voltaje de CC o corriente continua en voltaje de CA o corriente alterna. Se debe considerar la potencia nominal de salida al momento de elegirlo (Sanchez. J Aarón. Martinez E Dalia, 2017).

Existe diferentes tipos de inversores para sistemas interconectados (véase gráfica 12):

- **Inversores de cadena (string Inverters):** Se conectan a un grupo de paneles solares (String). Son los más comunes en instalaciones residenciales y comerciales. Tiene la ventaja de que permite monitorear el rendimiento de cada string de paneles, lamentablemente si un módulo falla o está sombreado, pueden afectar el rendimiento de toda la cadena
- **Microinversores:** Se instalan en cada módulo solar de manera individual, permite un mejor rendimiento en condiciones de sombra o desbalance entre módulos, ya que cada uno opera a su máxima eficiencia. Además, facilita el monitoreo a nivel de panel, lo cual puede ser una ventaja en grandes instalaciones.
- **Inversores centrales (central inverters):** Se utilizan en instalaciones grandes, como parques solares. Requieren un mejor diseño y gestión en comparación con los inversores de cadena y microinversores, ya que un fallo afecta a toda la planta.
- **Inversores híbridos:** Combinan las funciones de un inversor tradicional con las de un sistema de almacenamiento de energía (como baterías). Permiten utilizar energía solar tanto cuando hay producción (durante el día) como cuando no (durante la noche o en caso de apagones). Son ideales para sistemas que buscan aumentar la autosuficiencia energética y la resiliencia.
- **Inversores de doble vía (bidirectional inverters):** Se utilizan en sistemas que conectan energías renovables y almacenamiento, permitiendo la conversión de energía desde y hacia la red eléctrica. Permiten a los usuarios almacenar energía (por ejemplo, en baterías) y usarla cuando sea necesario, así como vender el exceso a la red.

2.5.5. Optimizadores de electrónica de potencia

Estos dispositivos se colocan en cada uno de los paneles, algunos ya vienen integrados. Su principal trabajo es:

- Fija el voltaje en corriente directa (DC) de los paneles solares de forma que el inversor realice una conversión más eficiente a corriente alterna (CA).
- Mejoran el desempeño de producción de energía mediante la reducción del efecto de las sombras sobre los paneles
- Permiten supervisar el desempeño individual de cada panel mediante un sistema de monitoreo

2.5.6. Cableado, tubería y sujetadores

El cableado, la tubería y los sujetadores son elementos esenciales para garantizar un funcionamiento óptimo, seguro y eficiente. Las características de cada elemento dependerán de la ubicación de los módulos solares y la distancia al centro de carga, a continuación, describo brevemente cada uno de ellos:

Cableado

- Cables de corriente directa (DC), específicos para instalaciones fotovoltaicas, ya que éstos cuentan con un recubrimiento especial que lo hace más resistente a la intemperie y a la radiación UV. Por ejemplo, el AWG (American Wire Gauge) de calibre 10, 12 o 14, y el UL 4703.
- Cables de corriente alterna (CA), Utilizados en sistemas fotovoltaicos, regularmente entre el inversor y la red eléctrica. Estos cables están diseñados para soportar altos voltajes.
- Cables de comunicación, este tipo de cableado es utilizado para el monitoreo, rendimiento y control de inversores.

Tuberías

- Tubería Conduit de metal, éstas se utilizan para proteger el cableado en las instalaciones fijas, principalmente se protegen de la fauna silvestre que pudiesen morder el cableado.

- Tubería Conduit PVC, es utilizada también en exteriores y es una opción más ligera para proteger el cableado (no recomendada en climas extremadamente secos).
- Tubería Conduit flexible, Permite una instalación más versátil en áreas donde el cableado necesita moverse o cambiar de dirección, se recomienda en interiores.
- Tubería subterránea, regularmente se utilizan donde el centro de carga está alejado del sistema fotovoltaico y por seguridad se coloca bajo tierra para protegerlo del tránsito de personas. (Esta tubería es de PVC)

Sujetadores

- Sistemas de montaje que sostienen los módulos fotovoltaicos en ángulo fijo, ya sea sobre techos o instalaciones terrestres, a estos se les llama sujetadores de estructura fija.
- Sistemas de seguimiento (trackers), estos ajustan la posición de los módulos para seguir el sol y maximizar la captación de luz.
- Clips para cables, éstos son utilizados para fijar el cableado a estructuras y evitar el movimiento
- Abrazaderas para tuberías, aseguran la tubería en su lugar y evitar movimientos
- Anclajes o perchas para techos, usados regularmente para asegurar la estructura de soporte del módulo en los techos, garantizando su estabilidad y resistencia al viento.

Los elementos anteriores son importantes para el sistema fotovoltaico, por lo que se debe asegurar que cumplan con la normatividad vigente en el país. Además, se debe tener siempre presente factores como durabilidad, seguridad y la eficiencia para garantizar un rendimiento óptimo y prolongado del sistema.

2.6. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

De acuerdo con su diseño y requisitos de funcionamiento los sistemas fotovoltaicos se dividen en:

- **Sistemas directos**, el sistema más sencillo, la potencia varía acorde a la luz solar por lo que depende completamente de ella. No almacena energía y su principal uso es en sistemas de bombeo, ventilación y en aparatos que requieren poca potencia.
- **Sistemas aislados o autónomos**, su principal característica radica en que se apoya en un sistema de almacenamiento de energía, por lo que se recomienda instalarlo en zonas donde el suministro de energía eléctrica es inexistente.
- **Sistemas interconectados**, funcionan en conjunto con la red eléctrica, no requieren de un sistema de almacenamiento de energía, pero sí de un medidor bidireccional de energía eléctrica (para el presente se considera este tipo de sistema).
- **Sistemas híbridos**, son más complejos y caros, cuentan con baterías para almacenar energía y están interconectados a la red eléctrica. No es recomendable para instalaciones residenciales por su alto costo de inversión.

La ilustración 10 muestra de manera gráfica todos los componentes de un sistema fotovoltaico interconectado a la red o también llamada *on-grid* (solares, 2023).

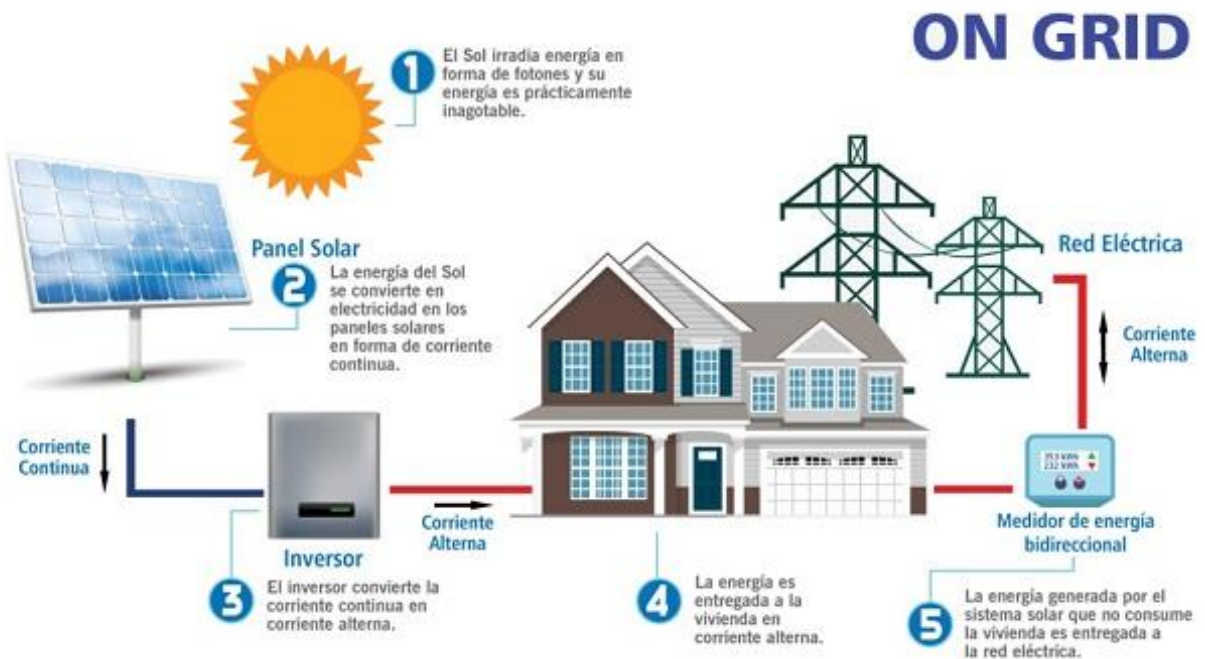


Ilustración 10. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red (casas, 2023)

2.7. Módulo solar elegido del mercado de paneles solares

Actualmente existen múltiples empresas que se dedican a comercializar paneles solares dentro del territorio nacional, la mayoría de las empresas fabrican o ensamblan el 70% de los paneles solares en el país de China, el otro 30% se fabrican en E.U, Canadá y Alemania. Estos últimos para consumo interno. Por lo que, para los países de Latinoamérica, incluido México, la mayoría de los paneles solares son fabricados en China.

Hablar de todas las marcas, de sus características o de sus ventajas y desventajas llevaría mucho tiempo y no es el tema principal del presente, por lo que se elige el panel de la marca CanadianSolar. Dicho panel cumple con las certificaciones internacionales que garantizan un funcionamiento óptimo. Las características eléctricas que ofrece son las ideales para el dimensionamiento a realizar y ofrece una garantía promedio de 25 años.

Aunado a lo anterior es el panel más utilizado en México como lo menciona el Consejo Nacional de Profesionales en Energía Fotovoltaica (CPEF) en su publicación del 9 de enero de 2023. En dicha publicación se muestran los resultados de su encuesta nacional sobre la industria fotovoltaica en el segmento generación distribuida. El denominado “Monitor Solar CPEF 2022” midió el posicionamiento Top of Mind y Share of Mind de marcas en tres divisiones (paneles, inversores y distribuidores). En la primera medición fueron mencionadas por los encuestados 19 marcas de paneles, 14 marcas de inversores y 28 distribuidores activos en el mercado mexicano. En la segunda medición fueron comentadas 53 marcas de paneles solares, 37 de inversores y 42 distribuidores.

Entre los resultados obtenidos se encontraron que 6 fabricantes de paneles se llevan el 90% de posicionamiento de marca en la industria de generación distribuida en México.

La mejor marca de panel solar en México es Canadiansolar con 36%, en segundo lugar, con 15.1% es ocupado por Jinko Solar, el tercer lugar con 14.7% es de LongiSolar, 14% para JA solar, 6.2% para Trinasolar, 4.3% SunPower y el resto otras empresas (Estratégica, 2023).

A continuación, se describen brevemente las características del panel elegido (Tabla 5). En los anexos del presente trabajo se pone la ficha técnica completa para su consulta.

2.7.1. Características del panel elegido



Tabla 5. Características del módulo fotovoltaico (Ficha técnica- Anexo 1)

Marca	Modelo	Potencia Wp	Garantía	Certificaciones	Eficiencia del módulo	País de origen
Canadian Solar	TopHiKu 6 N-type TOPCon Technology Monocrystalino	565 W	30 años	IEC 61215 /IEC 61730 /CE/MCS/UNKA/CEC listed US CALIFORNIA UL 61730 / IEC 61701 /IEC 62716 entre muchas otras	22.9%	Chino ~ canadiense
Dimensio nes 2.26 m x 1.13 m	Temperatura de operación -40°C – +85°C		Voltaje de Operación Óptimo 42.5 v			
	Tolerancia de potencia 0 + - 10 W		Corriente de Operación Óptima 13.30 A			
Costo aproximado por panel a la fecha 30 de mayo de 2023 \$ 3836.25 + IVA cantidad en pesos						

2.8. Inversor fotovoltaico propuesto para el SFI

2.8.1. Características del inversor elegido



Con respecto a la elección del inversor se elige el de la marca Solis modelo 100K-5G-US trifásico. Dicho modelo es eficiente, fiable y tiene funciones de monitorización. Además, después de haber realizado el dimensionamiento del sistema fotovoltaico y ver las necesidades eléctricas requeridas se observa que este modelo cumple perfectamente con dichas características.

A pesar de que existen múltiples marcas en el mercado, este modelo ofrece particularidades que lo hacen sobresalir, por ejemplo, tiene una eficiencia máxima del 98.5%, lo que significa que minimiza la pérdida de energía. Por otro lado, incluye un interruptor de CC anti-isla lo cual es muy importante ya que impide el paso de energía eléctrica al exterior cuando se va la energía eléctrica de la red de CFE, entre otros.

Las razones descritas anteriormente fueron determinantes para elegir este inversor, sin embargo, el potencial nominal fue la principal razón por la que se eligió este modelo. Después de realizar los cálculos de dimensionamiento se obtuvo que el sistema fotovoltaico producirá una potencia de 79.665 kWp (es importante destacar que el potencial nominal no representa la producción real de energía, ya que la generación efectiva puede variar a debido a distintos factores como la variabilidad climática, la eficiencia del sistema, pérdidas del sistemas entre otras), y sí en un futuro se requiere realizar un nuevo dimensionamiento se puede utilizar el mismo el inversor, siempre y cuando no supere la potencia máxima de salida de 100kW.

En la tabla 6 se muestran las características eléctricas del inversor:

Tabla 6. Características eléctricas del inversor (Ficha técnica Anexo 1)

Modelo	Solis-100K-5G-US
Entrada (CC)	
Voltaje máxima de entrada	1000V
Voltaje de nominal	600V
Voltaje de arranque	195V
Rango de voltaje MPPT	180-1000V
Corriente máxima de entrada	10*26A
Corriente máxima de cortocircuito	10*40A
Número de MPPT/Número máxima de cadenas de entrada	10/20
Salida (CA)	
Potencia nominal de salida	100kW
Potencia máxima de salida aparente	100kVA
Potencia máxima de salida	100kW
Voltaje nominal de la red	3/PE, 480V
Frecuencia nominal de la red	60Hz
Corriente nominal de salida de red	208.3kW
Corriente máxima de salida	120.3A
Factor de potencia	>0.99 (0.8 que lleva a 0.8 de re
THDi	<3%

2.9. Características del sistema de sujeción de los paneles

Con respecto a la instalación mecánica que sujetarán los paneles se debe elegir una estructura que tenga una alta resistencia a los cambios climáticos de la zona y/o problemas ocasionados por fenómenos naturales.

En el capítulo 4 se describirá la estructura adecuada para el sistema y el número de estructuras necesarias, el cual dependerá del número de módulos a instalar.

2.10. Cajas Combinadas

Las cajas solares combinadas (*Combiner Box*) forman parte del sistema fotovoltaico. Su principal función es brindar seguridad y evitar posibles sobre corrientes o sobrevoltajes haciendo posible que el inversor trabaje de forma más confiable y segura, evitando muchos de los principales riesgos de estos elementos. Este dispositivo es multifunción, ya que permite la entrada de una

matriz fotovoltaica con combinación de primera clase y alto voltaje, pasando por fusibles, después por un disyuntor contra fallas de corto circuito y protección contra rayos para finalmente pasar al inversor.

2.11. Normatividad en sistemas fotovoltaicos

En México, las instalaciones eléctricas están reguladas por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 es una norma muy completa y específica por el Comité Consultivo Nacional (órgano facultado para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, está integrado por fabricantes, gobierno e instituciones académicas). Dentro de esta norma se establecen las especificaciones a seguir en instalaciones fotovoltaicas. El artículo 690 “sistemas solares fotovoltaicos” nos enuncia sobre la instalación de equipos para estos fines. Además, el artículo 705 llamado fuentes de generación de energía eléctrica interconectada dicta el marco para una instalación bidireccional con CFE (Energía, 2012).

2.11.1 Artículo 690 “Sistemas Solares Fotovoltaicos”

Algunas de las principales disposiciones del artículo 690 incluyen:

- Los sistemas fotovoltaicos deben estar diseñados y contruidos de acuerdo con los estándares internacionales, como los establecidos por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) de los Estados Unidos.
- Los sistemas fotovoltaicos deben contar con un dispositivo de desconexión que permita la desconexión del sistema del sistema eléctrico de potencia en caso de emergencia o mantenimiento.
- Los sistemas fotovoltaicos deben contar con dispositivos de protección contra sobretensiones y cortocircuitos.
- Se detallan los requisitos para la identificación de los circuitos de suministro fotovoltaico, los circuitos de salida fotovoltaica y del inversor, y los conductores de sistemas múltiples.
- Se enfatiza que la instalación de todo el equipo, sistemas asociados y conexiones debe ser realizada por personal calificado.

- Con respecto a las instalaciones fotovoltaicas con interconexión, se estipula que los consumidores pueden estar conectados con otras fuentes de generación de energía eléctrica en este caso paneles solares de manera autónoma (almacenamiento de energía como baterías) o interconectados a CFE de acuerdo con las normas y regulaciones locales.
- Los sistemas fotovoltaicos deben contar con medidores que permitan la medición de la energía generada y consumida por el sistema.

En resumen, estas disposiciones establecen requisitos y normas para la instalación de sistemas fotovoltaicos, considerando la identificación de los conductores, la organización de las conexiones, el equipo utilizado y la protección contra fallas a tierra (Energía, 2012).

En la ilustración 11 se muestran los componentes, circuitos y conexiones de un sistema fotovoltaico establecido por el artículo 690 sistemas solares fotovoltaicos.

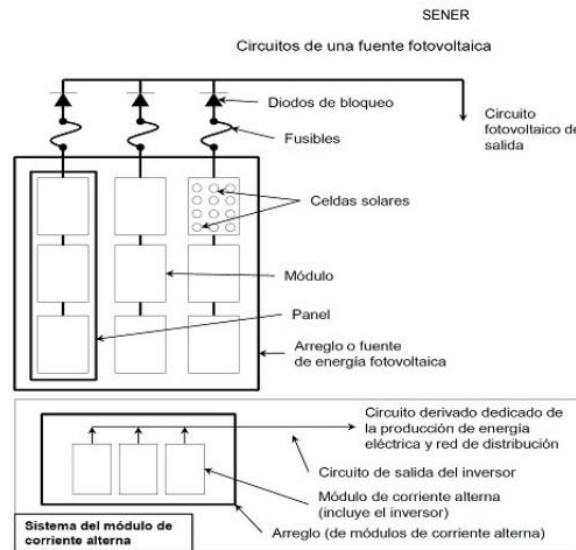


Ilustración 11. Circuitos de una fuente fotovoltaica NOM 001 art. 690 (Energía, 2012)

En la ilustración 12 se muestran los componentes de un sistema solar fotovoltaico en base al artículo 690 de la NOM-001-SEDE-2012.

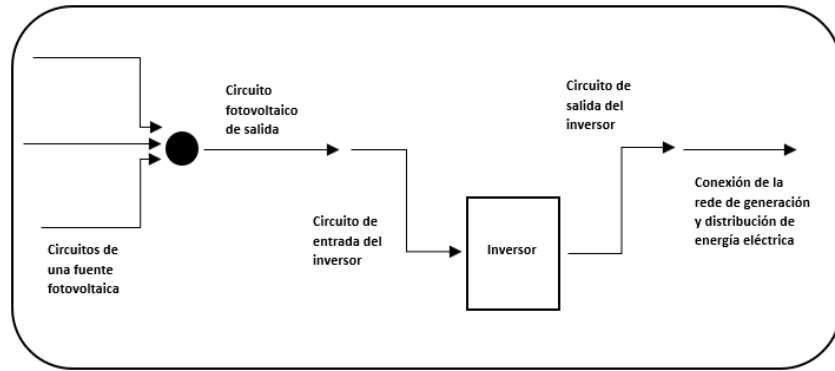


Ilustración 12. Componentes de un sistema fotovoltaico interconectado a la red (Energía, 2012)

2.11.2 Artículo 705 “Fuentes de generación de energía eléctrica interconectadas

El artículo 705 de la NOM-001-SEDE-2012 establece los requerimientos y tipos de equipos para la interconexión a CFE. Ya que todo el equipo necesario para la interconexión debe cumplir con la certificación NMX-J-643-ANCE y ser utilizado para lo que fue proyectado. Por lo tanto, para estar interconectado a CFE se debe cumplir lo indicado en este artículo (Energía, 2012).

A continuación, se mencionan algunos puntos importantes del artículo en cuestión:

- Aprobación del equipo. Todo equipo debe estar aprobado para el uso proyectado. Los inversores interactivos para los sistemas interconectados deben estar aprobados e identificados para el servicio de interconexión.
- Instalación de Sistemas. La instalación de una o más fuentes de producción de energía eléctrica que operen en paralelo con la fuente primaria de electricidad, deberá hacerse solamente por personas calificadas.
- Directorio. En el lugar de instalación de cada equipo de acometida y de cada fuente de generación de energía eléctrica que se pueda interconectar, se debe instalar de forma permanente una placa o directorio, que indique todas las fuentes de energía eléctrica existentes sobre o dentro de los inmuebles.
- Excepción: Se permite que, en las instalaciones con gran número de fuentes de generación de energía, sean designadas por grupos.

- Puesta en servicio. Un sistema de generación de energía eléctrica interconectado debe ser inspeccionado y probado antes de que se ponga en servicio. Deben mantenerse registros de las pruebas y la inspección. La salida de cada fuente de generación de energía eléctrica interconectada debe ser etiquetada con información que indique la capacidad y las características importantes de la fuente.

2.11.3 Comisión Reguladora de Energía CRE

La Comisión Reguladora de Energía expide las reglas generales de interconexión al Sistema Eléctrico Nacional, las cuales incluye las disposiciones administrativas de carácter general, los modelos de contrato, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida (Comisión Reguladora de Energía, 2012).

A continuación, se mencionan algunos puntos importantes de las reglas:

- No se podrá conectar al Sistema las instalaciones de Generadores o permisionarios con fuentes de Energía Renovables o Cogeneración eficiente, que no cuenten con el contrato de interconexión.
- El suministrador (CFE) se obliga a entregar a petición del solicitante los requerimientos técnicos de interconexión establecidos (Anexo inciso e), así como los administrativos y legales necesario para la interconexión al Sistema.
- El solicitante presentará al suministrador una solicitud para interconexión al Sistema que incluya datos principales y características del proyecto establecidas en los formatos que le proporciona el suministrador. Posterior a ello el solicitante entregará la solicitud a la instancia que para tal efecto le haya comunicado el suministrador.

El resultado de la solicitud será de acuerdo con los estudios de Prefactibilidad y Factibilidad que realice el suministrador, para este proyecto que es menor a 500 kW el estudio de factibilidad será

a través de la Zona de Distribución que corresponda. Dichos resultados serán notificados al solicitante, indicándole los requerimientos técnicos para la interconexión al sistema.

Finalmente, y con base en el estudio de factibilidad, el solicitante podrá solicitar al suministrador en la División de Distribución o zona correspondiente el costo de las obras necesarias para la interconexión.

El suministrador comunicará mediante Oficio Resolutivo el costo de las obras necesarias para la interconexión, en donde se indicará cuando menos lo siguiente:

- Ubicación del Punto de Interconexión. Características Técnicas
- Obras necesarias, indicando el sustento técnico y sus costos correspondientes
- Programa de las obras necesarias
- Vigencia del documento
- Responsabilidad de la operación y mantenimiento de las instalaciones
- Aspectos complementarios y normatividad aplicable

Todos los costos corren a cargo del solicitante y en caso de que el solicitante elija construir las obras por sus propios medios, deberá presentar la ingeniería básica al suministrador en la División de Distribución o zona correspondiente para su autorización, misma que emitirá la autorización.

Con respecto a los equipos de medición en el punto de interconexión y en los puntos de carga el suministrador deberá cederlos.

Una vez que el solicitante haya concluido y cumplido con los requerimientos técnicos y contractuales a satisfacción del Suministrador, conforme a lo establecido en el proyecto autorizado, procederá a solicitar las pruebas para la sincronización, mismas que se programarán y se llevarán a cabo conforme a lo estipulado en el REDOSEN (Reglas del Despacho y Operación

del Sistema Eléctrico Nacional) así como en el Contrato de Interconexión respectivo (interconexión, 2010).

Si el suministrador no encuentra inconveniente entonces confirmará por escrito la fecha de entrada en operación normal del generador eléctrico. En los anexos del presente trabajo, inciso e) se publica el contrato de interconexión (Anexo 2) para generadores de energía a mediana escala con capacidad de hasta 500kW, así como el Anexo E-RMT (Características de equipos de medición y comunicación) y el Anexo E- RDT (Características técnicas de interconexión).

2.11.3.1 Tiempos de atención

El tiempo máximo de atención de la solicitud de interconexión será de trece días en caso de que no se requiera un Estudio de interconexión, pero cuando sí se requiera estudio entonces será de 18 días. Sin embargo, a los tiempos anteriores se le sumará el tiempo necesario, si se requiere construir obras adicionales.

El tiempo empieza a contar desde que se inicia la solicitud de interconexión y sean recibidas por el suministrador y atendidas por el distribuidos considerando los siguientes tiempos (véase tabla 7).

Tabla 7. Tiempos de atención para la interconexión

Actividad	Responsable	Días hábiles de Atención
Registro de solicitud	Suministrador	1
Verificación de medición	Distribuidor	2
Oficio resolutivo cuando no requiere estudio ni Obra específica	Distribuidor	4
Oficio de presupuesto de obra cuando requiere estudio u Obra específica	Distribuidor	10
Revisión de documentos	Suministrador	1
Modificación de instalación de acometida	Solicitante	Solicitante
Relocalización de medidor	Distribuidor	5
Firma del convenio	Suministrador	2
Incorporación al sistema comercial	Suministrador	1
Tiempo total máximo en días (cuando no se requiere Obra específica o estudio)		13
Tiempo total máximo en días* (cuando se requiere Obra específica o estudio)		18

2.11.3.2 Cancelación

La solicitud será cancelada cuando el solicitante de la interconexión manifieste por escrito la cancelación o por las siguientes causas: (CFE, 2016)

- El solicitante de la interconexión no cumple con los establecido en el manual de interconexión
- La información que proporciona el solicitante no corresponde con la información obtenida en sitio
- No se realiza la aportación por la infraestructura requerida cuando esto hay sido convenida entre el solicitante y el distribuidor, después de transcurridos seis meses de haber sido notificado.
- No realiza el pago por el estudio de interconexión, después de 2 meses de haberle sido notificado
- Si después de transcurridos 6 meses de la fecha convenida para efectuar la interconexión, el solicitante no ha concluido las acciones que le corresponden realizar a fin de que se pueda hacer la interconexión de la central eléctrica.

Para el análisis del presente trabajo se considerarán todos los elementos físicos necesarios que exige la norma y la Comisión Reguladora de Energía, lamentablemente al no instalarse físicamente el sistema fotovoltaico no se podrá comprobar que funcione de manera adecuada y que opere de acuerdo con los requisitos de la CRE y de la CFE, y a pesar de que CFE da el visto bueno técnico en instalaciones comerciales con es este el caso se requiere realizar un dictamen eléctrico realizado por una UVIE.

2.11.4 Unidad de Verificación de Instalaciones Eléctricas (UVIE)

La UVIE es una entidad acreditada por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) y aprobada por la secretaria de Energía, se encarga de verificar y certificar si los sistemas fotovoltaicos (además de otros sistemas eléctricos) cumplan con las normas nacionales en este caso con la NOM-001-SEDE-2012. Por lo que la evaluación se realiza mediante inspecciones visuales y mediciones, además de examinar la documentación técnica del sistema. De esta manera, se garantizan las condiciones adecuadas de servicio y seguridad para las personas y las instalaciones.

No todas las instalaciones eléctricas requieren un UVIE, según el Artículo 112 del reglamento de la Ley de Industria Eléctrica (LIE), se requiere un dictamen de verificación eléctrica de un UVIE en todas las instalaciones eléctricas en alta tensión (mayor a 35 kilovolts) y en lugares de concentración pública. Como concentración pública se refiere a zonas con una carga instalada de 20 kiloWatts, ya sea comercio o industria (y con un suministro de más de 1000 volts entre conductores, o más de 600 volts con respecto a tierra). Cabe mencionar que CFE se reserva el derecho de exigir dictámenes a su conveniencia en cualquier instalación eléctrica, independientemente de lo establecido en la ley (UVIE, 2016).

Para solicitar los servicios de un UVIE la Secretaría de Energía proporciona un directorio UVIE por entidad federativa. Este directorio es un listado de todas las persona física y morales que cuentan con aprobación vigente como Unidad de Verificación de Instalaciones eléctricas.

Los principales requisitos que solicita una UVIE son:

- Giro de la Empresa o Negocio
- Superficie total de área construida del predio
- Carga Total instalada en kW
- Capacidad de transformador o subestación en kW si aplica
- Diagrama Unifilar
- Lista principal de materiales y equipos utilizados

De acuerdo con el directorio proporcionado por la secretaria de energía (SENER, 2021) se eligió un UVIE de la Ciudad de México el UVSEIE 310-A, y considerando la demanda contratada en kW, el giro de la empresa y la superficie, el costo por dictamen puede variar entre \$10,000 a \$ 70,000 pesos mexicanos para instalaciones iguales o menores a 100 kW.

Los dictámenes no tienen vigencia siempre y cuando no se realice ninguna modificación, de hacerlo se tendrá que realizar un nuevo dictamen.

2.11.5 Certificaciones para Instaladores de Sistemas Fotovoltaicos

El Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales “CONOCER”, es una institución del Estado mexicano, sectorizada a la Secretaría de Educación Pública (SEP), que coordina y promueve el Sistema Nacional de Competencias (SNC) para que México cuente con personas (estudiantes, trabajadores públicos y privados, empresarios, etc.) más competentes (CONOCER, 2019).

Estándar ECO586.01

El CONOCER establece las habilidades, desempeños, actitudes y valores que debe poseer un instalador de sistemas fotovoltaicos. Por lo que certifica el estándar ECO586.01. Dicha certificación es aplicable a la instalación de Sistemas Fotovoltaicos en el sector Residencial, Comercial e Industrial y sirve para profesionalizar el sector. Establece los conocimientos básicos,

teóricos y prácticos, con los que debe contar para realizar el trabajo, sin olvidar las actitudes, hábitos y valores relevantes para su desempeño.

Estándar EC1181

El Estándar describe las funciones críticas que realiza un Supervisor de sistemas fotovoltaicos en residencia, comercia e industria, y que dentro de este contesto se refieren a: Verificar el contenido de la carpeta de proyecto, verificación de materiales a instalar, así como el buen uso del equipo de seguridad del instalador, buen uso de las herramientas, valida el sitio de instalación en cuanto a sistemas eléctricos, protección civil, seguridad laboral y principalmente supervisar que se cumplan las normas mexicanas al momento de instalar el sistema fotovoltaicos.

Estándar EC1180

El estándar certifica que se cuenta con las habilidades para la Asesoría técnica y comercial en proyectos de generación distribuida fotovoltaica con capacidad menor de 500 kW.

Las competencias para desarrollar incluyen:

- Captación de clientes potenciales
- Generación de propuestas de proyecto técnica y económicamente apropiadas
- Asesorías a clientes potenciales preventa y posventa
- Realización de la venta del proyecto

2.12. Software de simulación

Los cálculos de dimensionamiento se realizarán de manera manual, sin embargo, para corroborar los resultados se realizará una simulación del sistema fotovoltaico con el software HelioScope.



HelioScope es un software de pago y permite realizar simulaciones de diseño y análisis de sistemas fotovoltaicos (PV). El pago de la licencia de HelioScope es de manera mensual o anual y

una vez cubierto el costo (\$159 dólares por mes), se puede instalar en cualquier computadora con acceso a internet. Para nuevos usuarios existe una licencia de prueba de 14 días, la cual tiene limitantes ya que no permite utilizar todas las herramientas disponibles, por ejemplo, solo permite modelar un proyecto, solo muestra ciertas marcas de elementos del sistema fotovoltaico y no están actualizados los precios, entre otros. Para este proyecto se utilizó la licencia de prueba y las herramientas disponibles que ofrece fueron suficientes para modelar y simular el comportamiento del proyecto en cuestión.

Es un software muy utilizado por varias empresas para realizar dimensionamientos de sistemas fotovoltaicos, además es muy intuitivo su uso, por tal motivo es que se elige para el diseño del presente proyecto, además por que puede ayudar a maximizar la producción de energía y reducir los costos a largo plazo (HeliosCope, HeliosCope, 2024).

2.13. Teoría sobre el análisis económico

Este proyecto va enfocado en realizar una evaluación crítica que permita determinar la viabilidad financiera y rentabilidad de la inversión en energía solar. Existe plena claridad que esta teoría se estructura sobre varios elementos claves para el buen funcionamiento del sistema.

Se deben considerar los siguientes conceptos:

- Costo de inversión, el cual incluye el costo de los equipos fotovoltaicos, costo de instalación y costo de conexión a la red.
- Costos operativos y Mantenimiento, se debe considerar el mantenimiento preventivo y correctivo de manera anual.
- Ingresos y ahorros, ingresos derivados por la venta de energía a CFE y el ahorro obtenido en la factura eléctrica.
- Financiación y subsidios, en este caso considerar la deducción fiscal al implementar un sistema fotovoltaico.
- Análisis de rentabilidad, considerar el Periodo de Recuperación de la Inversión y la Tasa Interna de Retorno

Como se puede notar el análisis económico del presente proyecto es un proceso multidimensional que requiere un enfoque integral y metódico que permita identificar no solo la viabilidad económica, sino también el valor agregado que un sistema fotovoltaico puede ofrecer a la sociedad en su conjunto. La correcta ejecución de este análisis contribuirá a impulsar la transición hacia una economía más sostenible y basada en energía renovables.

Capítulo III. Metodología

El desarrollo del análisis del presente trabajo requiere de una serie de estudios previos y etapas secuenciales para llevar a buen término el proyecto. Dichas etapas consideran aquellos aspectos básicos que conforman el análisis y la factibilidad de una instalación fotovoltaica en un plantel educativo.

Las etapas consideradas para su desarrollo son:

1. Investigar el contexto de energía solar en planteles educativos

Investigar y analizar los resultados de instalar sistemas fotovoltaicos en otros planteles escolares, casos de éxito, de fracaso y posibles causas de ello.

2. Análisis de la energía solar en el plantel y todos los conceptos técnicos que involucran a los sistemas fotovoltaicos

La ubicación geográfica del plantel y la radiación solar que llega a él lo hacen idóneo para poder generar energía eléctrica a partir de la energía solar.

3. Análisis de la demanda

Se solicitará al IEMS-CDMX conocer las facturas de consumo de energía eléctrica del plantel y que son proporcionadas por la CFE, con la intención de realizar un análisis sobre los consumos de energía eléctrica mensual de los últimos 3 años (2020, 2021 y 2022).

4. Análisis de la Normatividad para sistemas fotovoltaicos

Normatividad vigente para la instalación de sistemas fotovoltaicos en México, lo cual permitirá conocer las limitaciones para la instalación del sistema fotovoltaico en el plantel.

5. Investigar el tipo de panel fotovoltaico más adecuado para el análisis

Realizar una investigación sobre los distintos paneles solares que se comercializan en México y seleccionar cuál de ellos es la opción más viable para el sistema fotovoltaico.

6. Realizar el diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico

El diseño y dimensionamiento se desarrollará de manera manual, utilizando la hoja de cálculo y se comprobará realizando la simulación con el software HeliosCope. Con la intención de verificar que el dimensionamiento sea el correcto.

7. Análisis económico

Determinar si es viable o no la implementación del sistema fotovoltaico.

8. Análisis de Resultados

Finalmente, analizar los resultados obtenidos del presente trabajo.

Capítulo IV. Diseño, Cálculo, Desarrollo y Simulación del Sistema Fotovoltaico

4.1. Edificios donde se propone la instalación de los Sistemas Fotovoltaicos

El sitio más adecuado para la instalación del sistema fotovoltaico es donde la radiación solar esté presente el mayor tiempo posible. Además, donde sea de fácil acceso para el mantenimiento y operabilidad. Se propone que la instalación de los Sistemas Fotovoltaicos sea en las azoteas de los edificios AA y AB. Los cuales solo tienen 2 niveles. La ilustración 13 muestra las azoteas del edificio AA y AB, en ambas hay un domo en la parte central, el cual no afectaría la instalación de los paneles.



Ilustración 13. Vista aérea plantel Tlalpan 2 (Maps, 2023)

Medidas de las azoteas de los edificios AA y AB (Ilustración 14 y 15).

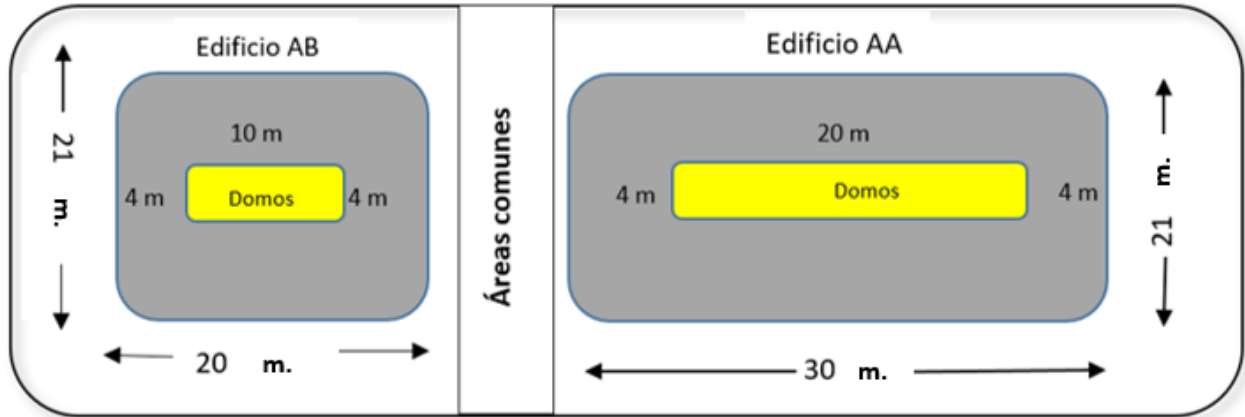


Ilustración 14. Esquema superior de los edificios donde se desea instalar el SFI (Corona E. , 2022)



Ilustración 15. Vista hacia el norte de los edificios donde se instalará el SFI (Corona E. , 2022)

El área libre y total para la instalación es:

$$\text{Edificio AB: } \text{área total} - \text{área domos} = (20 \times 21) - (4 \times 10) = 420 - 40 = 380 \text{ m}^2$$

$$\text{Edificio AA: } \text{área total} - \text{área domos} = (30 \times 21) - (4 \times 20) = 630 - 80 = 550 \text{ m}^2$$

Área total disponible para la instalación de paneles solares:

$$\text{área disponible} = \text{área edificio AB} + \text{área edificio AA} = 380 + 550 = \mathbf{930 m^2}$$

La orientación de los edificios como se muestra en las imágenes anteriores es de: 342° Norte

En el primer piso del edificio AA existe un cubículo que se utilizará para la instalación de los inversores, además permite una conexión directa con el panel eléctrico central del plantel.

4.2. Pérdidas en el Sistema Fotovoltaico propuesto

El porcentaje de pérdidas en un sistema fotovoltaico puede variar debido a distintos factores, como el diseño y la instalación. Generalmente, se estima que dichas pérdidas pueden oscilar entre el 10% y el 20% dependiendo de las condiciones específicas del sistema. Un sistema bien diseñado y mantenido puede permanecer en el extremo inferior de este rango, mientras que un sistema menos optimizado puede acercarse o superar el extremo superior (Solar g. e., 2023).

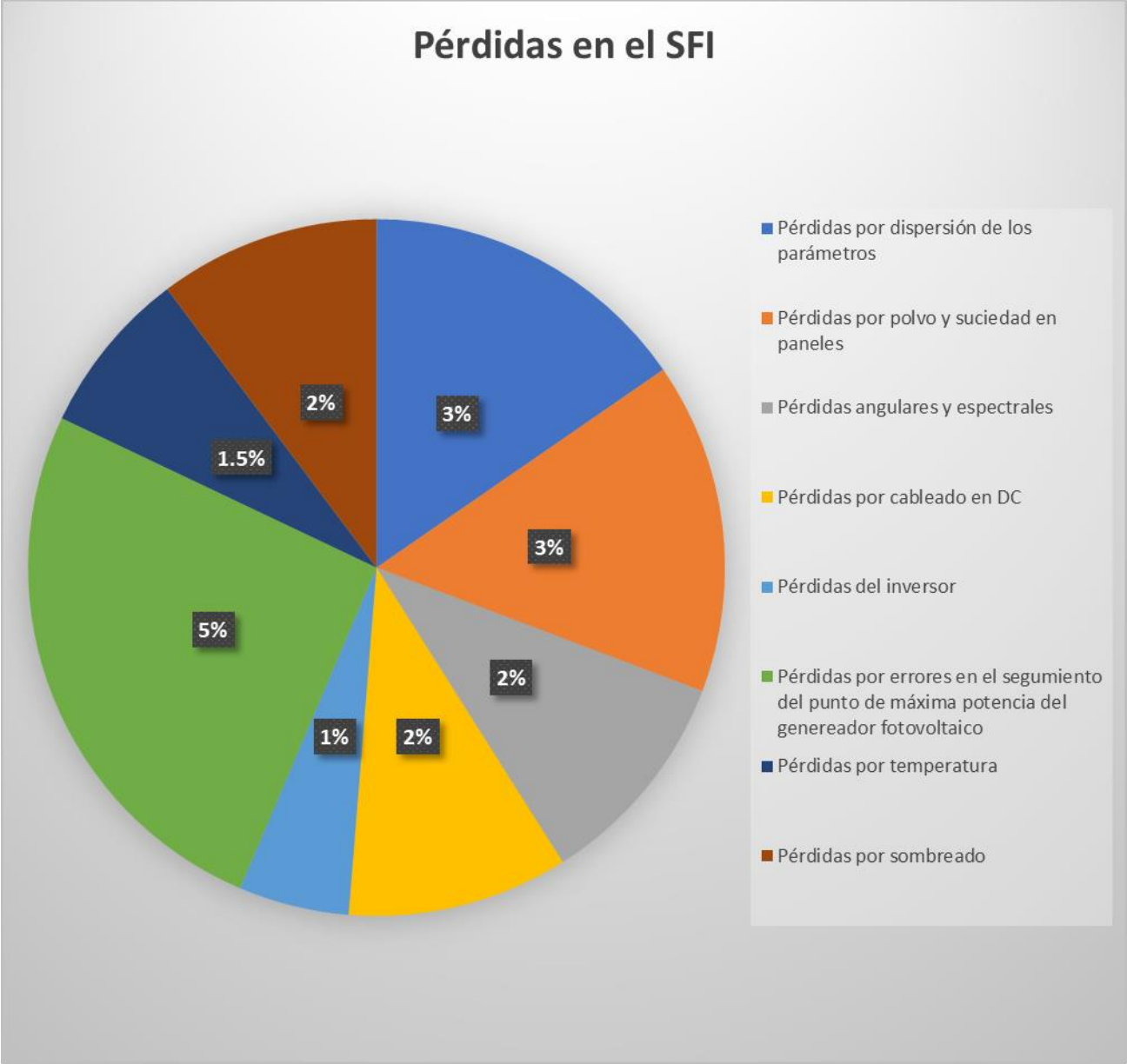
A continuación, se mencionan las principales pérdidas:

- **Pérdidas por dispersión de los parámetros en el generador fotovoltaico.** Las tolerancias de producción hacen que la potencia nominal de un panel sea inferior, dentro de las tolerancias, a la nominal definida en la placa, para el SF propuesta se utiliza un 3%.
- **Pérdidas por polvo y suciedad en los paneles.** Son pérdidas que se producen por la acumulación de polvo y suciedad sobre los paneles, pero se reducen con un buen mantenimiento periódico en zonas altas y cerca de carreteras se considera un 3% (el plantel se encuentra en este caso, por lo que para reducir en lo mayor posible esta pérdida se deberá realizar una limpieza constante).
- **Pérdidas angulares y espectrales.** La potencia de un panel solar se especifica en condiciones estándar de operación que supone un espectro de AM de 1.5 y una incidencia perpendicular de la irradiancia, se considera un 2%.
- **Pérdidas de cableado.** La circulación de corriente por los conductores produce pérdidas de potencia por efecto Joule, estas pérdidas coinciden con el porcentaje de caída de

voltaje. En la parte de corriente directa las pérdidas no deben superar el 2%, por tanto, se utiliza ese valor.

- **Pérdidas del inversor.** Depende del rendimiento del equipo y se pueden determinar de la ficha técnica del mismo, en este caso es de 1%.
- **Pérdidas por errores en el seguimiento del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico.** El seguidor del MPP que tiene el inversor utiliza algoritmos que pueden tener tolerancias y cometer errores de seguimiento del punto de máxima potencia con la consecuencia de una reducción de dicha potencia. Puede ir de un 2% hasta un 5%. Para un sistema mayor a 25 kW se utiliza un 5%.
- **Pérdidas por temperatura.** A medida que la temperatura de los módulos aumenta, su eficiencia disminuye. Esto representa una pérdida muy significativa en ambientes muy cálidos, regularmente se pierde entre 0.3% y 0.5% por cada grado Celsius que supere los 25°C. La temperatura óptima del módulo fotovoltaico oscila entre los 20 y 25°C, superar esta temperatura, el rendimiento del módulo se reduce (La temperatura más alta registrada en la zona geográfica donde se instalará el sistema fotovoltaico es de 28°C, por lo que se considerará una pérdida del 1.5%).
- **Pérdidas por sombreado.** El porcentaje de pérdida por sombreado se estima que oscila entre un .5% y hasta un 25% dependiendo las condiciones específicas. Por eso es de suma importancia considerar la ubicación y el diseño del sistema fotovoltaico para minimizar el impacto del sombreado y maximizar la eficiencia energética. Regularmente se considera el 2% para cuestiones de cálculo (en el caso del presente proyecto no existen obstáculos que puedan ocasionar sombras al sistema fotovoltaico).

En la gráfica 12 se observa de manera más clara las pérdidas.



Gráfica 12. Pérdidas eléctricas del SFI

4.3. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

Para realizar el dimensionamiento se considerará el consumo eléctrico correspondiente al año 2019, debido a que muestra el consumo real del plantel. Actualmente en este año 2023 el plantel cuenta con el mismo número de comunidad escolar, con el mismo número de equipos eléctricos

y la misma infraestructura que la del año 2019, por lo que, el consumo eléctrico de ese año es muy parecido al del 2023. No se consideran los años 2020, 2021 y 2022 ya que el consumo registrado en las facturas de la CFE no refleja el consumo energético real debido a la pandemia COVID-19.

A finales del primer trimestre del año 2022 se comienza con el regreso paulatino a clases, sin embargo, es hasta octubre de ese mismo año que se regresa por completo a las actividades cotidianas y tradicionales del plantel, por tal motivo elegir el consumo eléctrico de ese año daría resultados erróneos.

4.3.1. Consumo de energía eléctrica anual del año 2019

$$\textit{Consumo de energía eléctrica anual} = 135,040 \text{ kWh}$$

4.3.2. Consumo de energía mensual y promedio diario

En la tabla 8 se muestra el registro del consumo mensual y diario de energía eléctrica por parte del plantel correspondiente al año 2019, así como el promedio mensual de las horas solares pico. Los datos que se encuentran en la tabla se consideran necesarios para el cálculo del sistema fotovoltaico que se busca satisfaga las necesidades de consumo eléctrico de la preparatoria.

Tabla 8. Consumo mensual de energía eléctrica del plantel y HSP por mes

Año 2019 IEMS Tlalpan II					Comportamiento de la HSP Mensual	
Días	MES	Demanda máxima kW	Consumo Total en plantel kWh	Consumo diario promedio kWh	Mes	HSP-Irradiación NASA
31	Enero	28	9440	304.5	Enero	5.57
28	Febrero	31	10320	368.6	Febrero	6.38
31	Marzo	32	10800	348.4	Marzo	6.65
30	Abril	33	12320	410.7	Abril	6.35
31	Mayo	27	9440	304.5	Mayo	5.71
30	Junio	31	11520	384.0	Junio	5.15
31	Julio	34	11280	363.9	Julio	5.05
31	Agosto	28	9680	312.3	Agosto	5.18
30	Septiembre	28	9440	314.7	Septiembre	4.83
31	Octubre	37	13600	438.7	Octubre	5.42
30	Noviembre	40	13840	461.3	Noviembre	5.74
31	Diciembre	36	13360	431.0	Diciembre	5.59
		Suma anual (kWh)	135040			

La energía que genere el sistema fotovoltaico debe ser igual y/o aproximado a la que consume el plantel de manera mensual, para llevar a cabo dicha aproximación se realizan los siguientes cálculos:

Primero se debe encontrar la energía que producirá cada módulo fotovoltaico al día, al ser expuesto a la radiación solar el número de horas solares pico que se obtuvo.

$$\text{Energía generada por el módulo al día} = \text{potencia del módulo} * \text{HSP}$$

Una vez obtenido el valor de energía diaria por módulo se busca el número de módulos necesarios para satisfacer la demanda eléctrica mensual del plantel, para ello realizamos la siguiente operación:

$$\text{No. de módulos para satisfacer demanda mensual} = \frac{\text{consumo mensual en plantel}}{\text{Energía generada por mes por módulo}}$$

En la tabla 9 se puede observar que para obtener el número de módulos necesarios por mes se aplica la fórmula anterior. Finalmente, se calcula el promedio de módulos y da como resultado 117 módulos.

Tabla 9 Cálculo del número de módulos fotovoltaicos

Cálculo del número de módulos fotovoltaicos para satisfacer la demanda mensual						
				Potencia del módulo propuesto (W)		
				565		
Días	MES	Consumo Total en plantel kWh	HSP- Irradiación NASA	Energía generada por día y por panel = potencia*HSP (kWh)	Energía generada por mes y por módulo (kWh)	Número de módulos necesarios por mes para satisfacer la demanda
31	Enero	9440	5.57	3.14705	97.55855	96.8
28	Febrero	10320	6.38	3.6047	100.9316	102.2
31	Marzo	10800	6.65	3.75725	116.47475	92.7
30	Abril	12320	6.35	3.58775	107.6325	114.5
31	Mayo	9440	5.71	3.22615	100.01065	94.4
30	Junio	11520	5.15	2.90975	87.2925	132.0
31	Julio	11280	5.05	2.85325	88.45075	127.5
31	Agosto	9680	5.18	2.9267	90.7277	106.7
30	Septiembre	9440	4.83	2.72895	81.8685	115.3
31	Octubre	13600	5.42	3.0623	94.9313	143.3
30	Noviembre	13840	5.74	3.2431	97.293	142.3
31	Diciembre	13360	5.59	3.15835	97.90885	136.5
				Promedio mensual de módulos	117.0	

Una vez realizado el cálculo del número de módulos se prosigue a obtener la energía que generará el sistema fotovoltaico por mes, de la siguiente manera:

$$\text{Energía generada por mes (kWh)} = \frac{\text{HSP} * \text{potencia de panel} * \#\text{de paneles} * \text{días del mes}}{1000}$$

En la tabla 10 se muestra los cálculos mencionados anteriormente, considerando 117 módulos:

Tabla 10. Energía Fotovoltaica generada por los módulos fotovoltaicos

Energía generada por los módulos fotovoltaicos				
Potencia del módulo propuesto (W)			Número de Módulos	Número de módulos considerando un 20% más para contrarrestar las pérdidas
565			117.0	141
Días	MES	HSP-Irrradiación NASA	Energía generada por los módulos de manera mensual (kWh)	Sobredimensionamiento para tener un margen de pérdidas del 20% (kWh)
31	Enero	5.57	11414.4	13755.8
28	Febrero	6.38	11809.0	14231.4
31	Marzo	6.65	13627.5	16422.9
30	Abril	6.35	12593.0	15176.2
31	Mayo	5.71	11701.2	14101.5
30	Junio	5.15	10213.2	12308.2
31	Julio	5.05	10348.7	12471.6
31	Agosto	5.18	10615.1	12792.6
30	Septiembre	4.83	9578.6	11543.5
31	Octubre	5.42	11107.0	13385.3
30	Noviembre	5.74	11383.3	13718.3
31	Diciembre	5.59	11455.3	13805.1
Energía generada anual (kWh)			135846.4	163712.4
Energía anual MWh			135.8	163.7

La energía generada al año por el sistema fotovoltaico será de 135.8 MWh.

Por otro lado, como se puede observar en la tabla 10, se está considerando un sobredimensionamiento del 20% para contrarrestar las pérdidas del sistema fotovoltaico. Es decir, en lugar de instalar 117 módulos se instalarán 141 módulos (20% más). Esto genera más energía que se perderá debido a las distintas pérdidas del sistema fotovoltaico (pérdidas descritas anteriormente). Con este sobredimensionamiento se garantiza que se producirá la energía suficiente para satisfacer la demanda del plantel. Cada módulo tendrá una potencia pico de 565 Wp y la potencia total del arreglo será de 79.665 kWp.

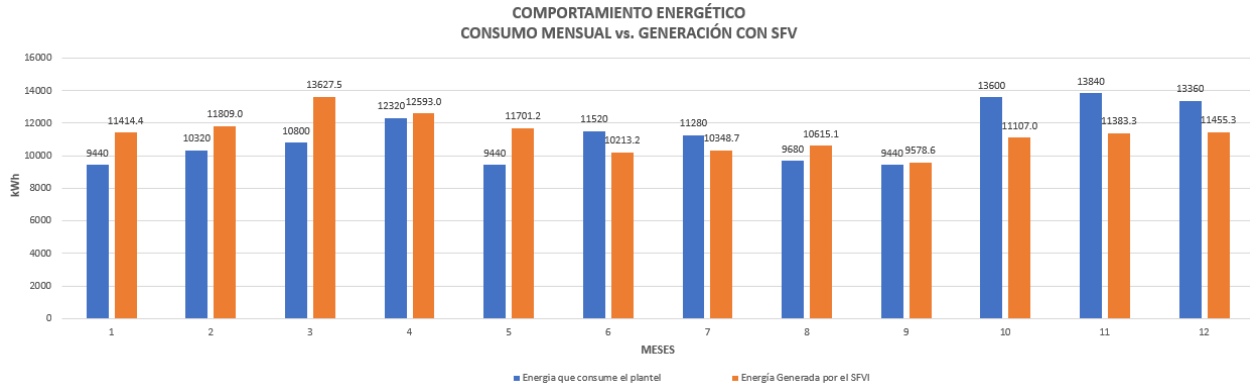
También se realiza la diferencia de la energía producida por el sistema fotovoltaico menos la energía consumida del plantel. El resultado anual nos arroja que solo le cederemos a la CFE la

energía de 806.4 kWh al año, esta energía es la que perderemos. Durante los meses del año que se genere excedente de energía se le proporcionará a la CFE, la cual se recuperará en los meses que se genere menos energía comparada con el consumo del plantel. En la tabla 11 se puede observar la diferencia de energía.

Tabla 11 Energía proporcionada a CFE

Energía proporcionada a CFE y viceversa				
MES	Consumo Total en plantel kWh	Energía generada por los módulos de manera mensual (kWh)	Diferencia de energía= Sistema fotovoltaico - consumo energético del plantel (kWh)	
Enero	9440	11414.4	1974.4	Para CFE
Febrero	10320	11809.0	1489.0	Para CFE
Marzo	10800	13627.5	2827.5	Para CFE
Abril	12320	12593.0	273.0	Para CFE
Mayo	9440	11701.2	2261.2	Para CFE
Junio	11520	10213.2	-1306.8	CFE me vende
Julio	11280	10348.7	-931.3	CFE me vende
Agosto	9680	10615.1	935.1	Para CFE
Septiembre	9440	9578.6	138.6	Para CFE
Octubre	13600	11107.0	-2493.0	CFE me vende
Noviembre	13840	11383.3	-2456.7	CFE me vende
Diciembre	13360	11455.3	-1904.7	CFE me vende
total anual (kWh)			806.4	Se proporciona a CFE

En la gráfica 13 se puede observar la energía que genera el sistema fotovoltaico y la energía que consume el plantel a CFE.



Gráfica 13. Consumo eléctrico del plantel vs. Generación del SFI

Por otro lado, para instalar los 141 paneles, se requiere de un área de:

$$\text{Dimensiones del módulo } 2.27m * 1.13m = 2.5651 m^2 * 141 \text{ módulos} = 361.68 m^2$$

El área disponible es de 930 m² por lo que existe espacio suficiente para los módulos, éstos se instalarán juntos por string (cadena), y como se puede observar en la ilustración 14 estarán separados por el domo central, lo que ocasionará que no se hagan sombra entre ellos. Enorme ventaja.

4.3.3. Inversor seleccionado

Antes de describir el inversor para el sistema fotovoltaico propuesto, es necesario mencionar un punto importante. Como se muestra en la tabla 3, la tarifa energética del plantel es de Gran Demanda Baja Tensión (GDBT). Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda superior de más de 25 kW. En el caso del plantel se tiene una demanda contratada de 185 kW (ilustración 7), el centro de carga está compuesto por 3 fases y 4 hilos lo cual lo hace trifásico.

El presente trabajo propone un sistema fotovoltaico de 79 kW, y como lo indica el manual de interconexión para centrales con capacidad máxima de hasta 500 kW (Diputados, 2016), este se clasifica como media tensión, por lo que se requiere una conexión en media tensión para el plantel. La propuesta para cambiar de tarifa ya se había realizado al plantel. En el año 2023, la

CFE a través del programa Sistemático Integral presento al plantel una propuesta para cambiar de tarifa de Gran Demanda Baja Tensión (GDBT) a Gran Demanda Media Tensión (GDMTO). Para lo cual se requería realizar los siguientes ajustes:

- Realizar un estudio de factibilidad para el servicio propuesto
- Evaluar el área para instalar la subestación propiedad del cliente
- Evaluar el tipo de subestación a instalar
- Determinar la capacidad de la subestación en función de la carga instalada
- Dictamen de unidad verificadora (UVIE)
- Evaluar la obra civil requerida para la instalación de la subestación
- Realizar el trámite con la documentación solicitada por la oficina de atención a clientes.

Las autoridades del IEMS determinaron evaluar la propuesta una vez que la Secretaria de Obras y Servicios de la CDMX diera el visto bueno y éste contara con el presupuesto para realizarlo.

Actualmente el consumo de energía eléctrica no ha aumentado, se sigue consumiendo lo mismo, por lo que el cambio de tarifa quizá no se realice a corto o mediano plazo. A la fecha de conclusión del presente trabajo no se ha tenido conocimiento de que se haya cambiado la tarifa.

Por otro lado, el objetivo general del presente proyecto es realizar un análisis de factibilidad económica para instalar un sistema fotovoltaico que permita generar energía eléctrica para satisfacer en lo mayor posible el consumo energético del plantel. Y de ser factible la implementación, es necesario llevar a cabo el cambio de tarifa.

El inversor se eligió de acuerdo con las características eléctricas necesarias para la conexión de los módulos fotovoltaicos y la generación de energía eléctrica necesaria para el plantel. Es de la marca Solis, modelo 100K-5G-US (America, 2024). La ilustración 16 muestra el inversor Solis propuesto).



Ilustración 16. Inversor Solis (BayWa.re, 2023)

Características del inversor (véase tabla 12).

Tabla 12 Características eléctricas del inversor (Ficha técnica anexo 1)

Modelo	Solis-100K-5G-US
Entrada (CC)	
Voltaje máxima de entrada	1000V
Voltaje de nominal	600V
Voltaje de arranque	195V
Rango de voltaje MPPT	180-1000V
Corriente máxima de entrada	10*26A
Corriente máxima de cortocircuito	10*40A
Número de MPPT/Número máxima de cadenas de entrada	10/20
Salida (CA)	
Potencia nominal de salida	100kW
Potencia máxima de salida aparente	100kVA
Potencia máxima de salida	100kW
Voltaje nominal de la red	3/PE, 480V
Frecuencia nominal de la red	60Hz
Corriente nominal de salida de red	208.3kW
Corriente máxima de salida	120.3A
Factor de potencia	>0.99 (0.8 que lleva a 0.8 de retraso)
THDi	<3%

Como se puede observar este inversor tiene una potencia nominal de salida de 100 kW, y el arreglo fotovoltaico propuesto entregará en condiciones óptimas una potencia máxima de 79.6 kW. Esto se debe a que se reserva un margen en el inversor en caso de que en el futuro sea necesario hacer un nuevo dimensionamiento, de tal manera que se utilice el mismo inversor y se ahorre este gasto.

Tener un inversor con capacidad mayor que la potencia generada por el sistema fotovoltaico permite cierta flexibilidad y puede ayudar a maximizar el rendimiento del sistema en condiciones de generación de energía variable.

Este inversor permite 10 cadenas de módulos, con una corriente máxima de entrada por cadena de 26 A y un voltaje máximo de entrada por cadena de 1,000 V.

4.3.4 Configuración y conexión de los módulos

Para determinar el número de cadenas que se deben conectar al inversor fue necesario considerar las características eléctricas del módulo fotovoltaico y del inversor (voltaje de entrada y corriente de entrada por string del inversor, voltaje y corriente de salida del módulo fotovoltaico, ambos parámetros fueron determinantes para conectar los módulos en serie o paralelo de tal manera que la corriente total de las cadenas conectadas no exceda la capacidad del inversor). Una vez realizado el balance entre el inversor y los módulos se concluye que se realizará una configuración que consiste en 8 cadenas o string, 5 cadenas con 18 módulos y 3 cadenas con 17 módulos, dando un total de 141 módulos fotovoltaicos. En cada cadena, los módulos se conectarán en serie. En este tipo de conexión el Voc de cada panel se suma y la Isc se mantiene. El total del voltaje y la corriente se encuentra dentro del margen eléctrico de aceptación del inversor.

En la tabla 13 se observa el número de cadena y el número de módulos por cadena, así como la tensión y corriente de entrada a las cajas combinadoras, que servirán como protección al inversor.

Tabla 13. Número de módulos, tensión y corriente por cadena que ingresa al inversor

Cadena	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de módulos por cadena	18	18	18	18	18	17	17	17
Voltaje total por cadena (v)	928.8	928.8	928.8	928.8	928.8	877.2	877.2	877.2
Corriente Total por cadena (A)	13.75	13.75	13.75	13.75	13.75	13.75	13.75	13.75

4.3.5 Corrección de la tensión a baja temperatura ambiente

Es importante mencionar que la tensión de las celdas de un módulo fotovoltaico se incrementa a medida que la temperatura ambiente disminuye bajo los 25°C regularmente. Por lo que es necesario calcular cual será el valor de la tensión con una temperatura muy baja (para este análisis se considera 0°C) y con ello asegurase de no sobrepasar la máxima tensión que admite el inversor.

En la ficha técnica del módulo fotovoltaico propuesto para este dimensionamiento podemos identificar el coeficiente de temperatura (Voc) que es de -0.25% /°C. Esto quiere decir que por cada grado centígrado que disminuya por debajo de los 25°C, la tensión del Voc aumentará 0.25%.

Una vez identificado este valor, podemos utilizar la siguiente fórmula matemática para definir el factor de corrección a determinada temperatura ambiente, en este caso se considerará 0°C (caso extremo).

$$\text{Factor de corrección} = 1 + \left[(\text{Tem de celda} - 25^{\circ}\text{C}) * \frac{\text{Coeficiente de Temp}}{100} \right]$$

$$\text{Factor de corrección} = 1 + \left[(0^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) * \frac{-0.25}{100} \right] = 1.062$$

Ahora, se multiplica el Voc total de la cadena o string por el coeficiente obtenido. Por ejemplo, para la cadena 1 compuesta por 18 módulos con un Voc total de 928.8v.

4.3.6 Estructura de soporte de paneles fotovoltaicos

Para la sujeción del sistema fotovoltaico se elige un kit de estructura marca SunForsSon modelo 4x1. El cual permite fijar 4 paneles en línea con inclinación sobre estructura de aluminio anodizado. Dicho kit contiene los siguientes elementos:

- Permite inclinación del sistema desde 7° hasta 25° para 1 y 2 filas.
- Permite elevar la parte frontal del sistema hasta 50 cm, ayudando a evitar obstáculos y sombras.
- Ajustable a techos con desniveles y pendiente.
- Soporta vientos desde 170 hasta 320 km/h.

El kit puede sujetar 4 módulos fotovoltaicos y contiene los siguientes elementos (véase ilustración 18). Para la sujeción de los 141 módulos fotovoltaicos se requieren 36 kits de sujeción.



Contiene:

1. 2 Rieles 4.57m
2. 4 Patas largas ajustables
3. 8 Bases tipo L
4. 8 Conector tipo L
5. 8 Tornillos anodizado (65 mm)
6. 4 Tornillos anodizado (30 mm)
7. 6 Sujetadores centrales (40 mm ó 35mm) *Especificar medida
8. 4 Sujetadores laterales (40 mm ó 35mm) *Especificar medida
9. 1 Placa para tierra
10. 6 Laminas para tierra

Ilustración 18. Características de la estructura para montar paneles fotovoltaicos SunforSon (Solar B. , 2023)

4.3.7 Cajas Combinadoras

Son dispositivos eléctricos que desempeñan funciones cruciales en la recolección y gestión de la energía solar generada por los módulos fotovoltaicos.

Las cajas combinadoras contienen 1 fusible, disyuntor (interruptor) para brindar protección al inversor, como sobrevoltaje, sobrecarga y protección contra rayos, lo que garantiza la estabilidad y seguridad a la entrada del inversor. Para el diseño propuesto se debe instalar 1 caja combinada por cadena (8 cajas combinadoras). Se recomienda 1 caja por cadena debido a las características eléctricas de protección de cada caja, además, permitirá el acceso a inspecciones y mantenimiento con mayor facilidad. La ilustración 19 muestra el modelo de caja combinadora propuesto.



Ilustración 19. Caja combinada 1 in-1 out (Oumefar, 2024)

La caja combinada en sus especificaciones eléctricas menciona que permite un voltaje máximo de entrada de 1,000 VCD y una corriente máxima de 15 A. Por lo que el fusible y disyuntor están diseñados para esas características, las condiciones eléctricas de cada cadena están dentro de los márgenes eléctricos de la caja de protección.

4.3.8 Conectores Fotovoltaicos

Estos conectores se encargan de establecer la conexión eléctrica entre los paneles solares y los cables que llevan la energía generada hacia el inversor y el sistema de almacenamiento.

Para el proyecto propuesta se utilizarán los siguientes conectores ponchables hembra y macho con las siguientes características eléctricas:

- 30 amperes de Corriente Directa
- 1,000 VCD
- Para calibres de 10 a 14 AWG

En la ilustración 20 se muestra los conectores ponchables hembra y macho.



Ilustración 20. Conectores fotovoltaicos hembra-macho (Sustentable, 2016)

4.3.9 Simulación HeliosCope

Ahora se realizará la simulación con el software de HeliosCope para corroborar los cálculos que se realizaron anteriormente.

- Pasos para el desarrollo de la simulación.

1. Se le indica las coordenadas o se busca en el mapa la ubicación del lugar donde se llevará a cabo la instalación del Sistema Fotovoltaico y se elige el espacio donde se colocarán los módulos fotovoltaicos (ver ilustración 21).

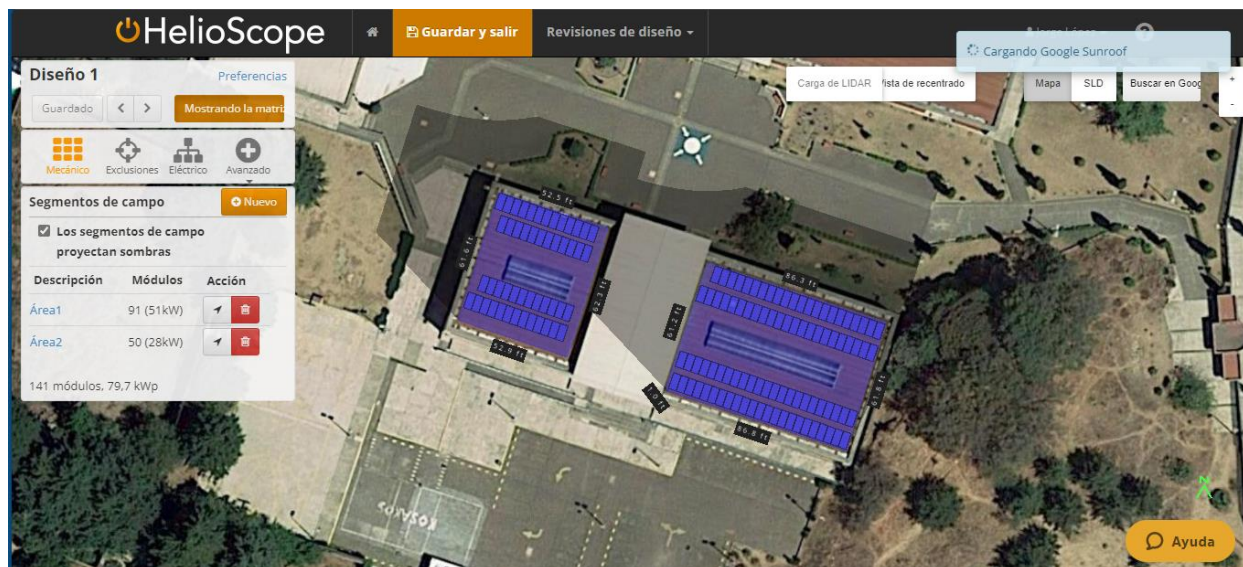


Ilustración 21. Instalación de módulos fotovoltaicos (HeliosCope, Helioscope, 2024)

2. Se selecciona la marca y modelo del módulo fotovoltaico, en este caso se eligió la misma marca y modelo (canadianSolar) de 565 Wp.

3. Se registran parámetros de la instalación, por ejemplo:

- Altura a partir del piso a la instalación del sistema fotovoltaico, en este caso es de 36 pies.
- Azimut de 201°.
- Ángulo de inclinación del módulo, este ángulo lo da el software de acuerdo con la radiación del lugar.
- Muestra las diferentes opciones para ordenar las cadenas de módulos fotovoltaicos, eligiendo la orientada de este-oeste.
- Se elige la marca y modelo de inversor, en este caso se selecciona el modelo mencionado anteriormente.

4. Con el registro de valores anteriores se corre la simulación y muestra el número de módulos e inversores necesarios para el sistema fotovoltaico, longitud y calibre del cableado y número de cajas combinadas. En la tabla 14 se muestran los resultados de la simulación.

Tabla 14. Componentes físicos utilizados en la simulación HeliosCope

Components		
Component	Name	Count
Inverters	Solis-100K-5G-US (Fronius)	1 (6.00 kW)
AC Home Runs	1/0 AWG (Aluminum)	1 (722.2 ft)
Home Runs	6 AWG (Copper)	2 (159.4 ft)
Combiners	3 input Combiner	1
Combiners	6 input Combiner	1
Strings	10 AWG (Copper)	9 (1,326.6 ft)
Module	CanadianSolar, BiHiKu CS6Y-565MB-AG (565W)	141 (79.7 kW)

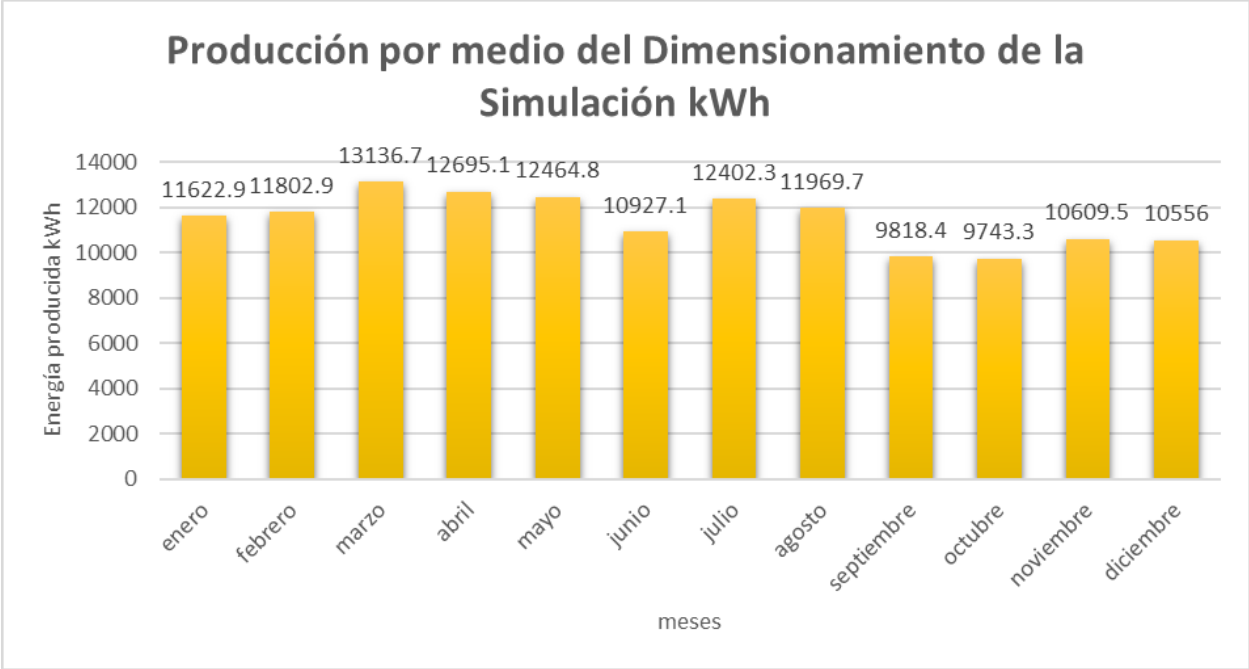
Wiring Zones			
Description	Combiner Poles	String Size	Stringing Strategy
Conexiones Eléctricas	12	2-17	Along Racking

Field Segments									
Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
Area1	Fixed Tilt	Portrait (Vertical)	20°	199°	3.0 ft	1x1	91	91	51.4 kW
Area2	Fixed Tilt	Portrait (Vertical)	20°	199°	2.0 ft	1x1	50	50	28.3 kW

La simulación arroja los siguientes datos:

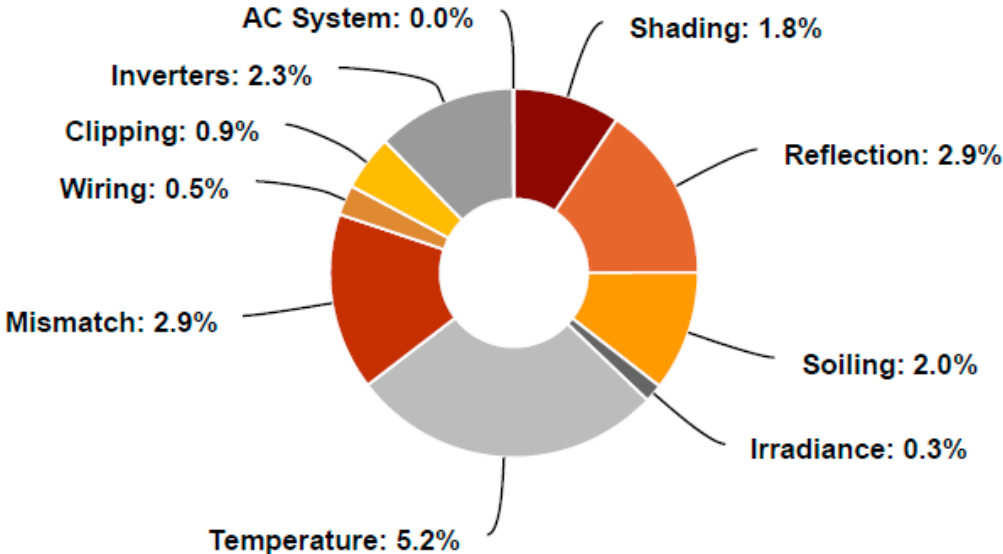
- Se necesitan 141 módulos fotovoltaicos de 565 Wp cada uno, en total se generará 79.7 kW
- Se requiere 1 inversor de la marca Solis-100k-5G-US, para todas las cadenas
- 1 caja combinadora de 3 entradas
- 1 caja combinadora de 6 entradas
- 397.98 metros de cable calibre 10 para conexión de módulos fotovoltaicos a caja combinadora
- 47.82 metros de cable calibre 6 para conexión de caja combinadora a protección (fusibles) y después a inversor
- 216.6 metros de cable calibre 1/0 de aluminio para la conexión de inversor al panel eléctrico del plante C.A.

Los resultados obtenidos generarán 137.7 MWh al año. La producción mensual se muestra en la gráfica 14.



Gráfica 14. Producción de energía eléctrica mensual HeliosCope

De acuerdo con los parámetros eléctricos de la simulación, ésta proporciona una gráfica con las pérdidas totales del sistema fotovoltaico. Aunque los porcentajes mostrados son similares a los descritos anteriormente, se observa que se toman muy diferentes valores y rubros. (véase gráfica 15).



Gráfica 15. Pérdidas eléctricas Simulación HeliosCope

El porcentaje total de pérdidas es de 18.8 %, el cual puede variar en condiciones reales.

Se debe tener claridad que, en un entorno de simulación, se utilizan modelos matemáticos y software especializado para predecir el rendimiento de un sistema fotovoltaico. Estos modelos generalmente se basan en datos históricos de radiación solar, temperatura y otros factores ambientales. Los supuestos pueden ser ideales y no considerar todas las variables del mundo real.

Por otro lado, la simulación propone un inversor de 66 kW, lo cual crea un Load ratio de:

$$\frac{\text{Potencia del arreglo } 79.1\text{kW}}{\text{Potencia nominal del inversor } 66\text{kW}} = 1.19 \sim 1.2$$

Lo anterior explica por qué existen pérdidas “clipping” (recorte), que es potencia que produce el arreglo y que no puede transformar el inversor debido a su capacidad (estas pérdidas no se presentan si el inversor es de 100 kW).

La ilustración 22 muestra los símbolos del inversor, cajas combinadoras, cableado y punto de conexión al panel eléctrico del plantel (C.A.) o circuito de interconexión. El tablero principal del plantel indicado con una gota roja (simulación HeliosCope).

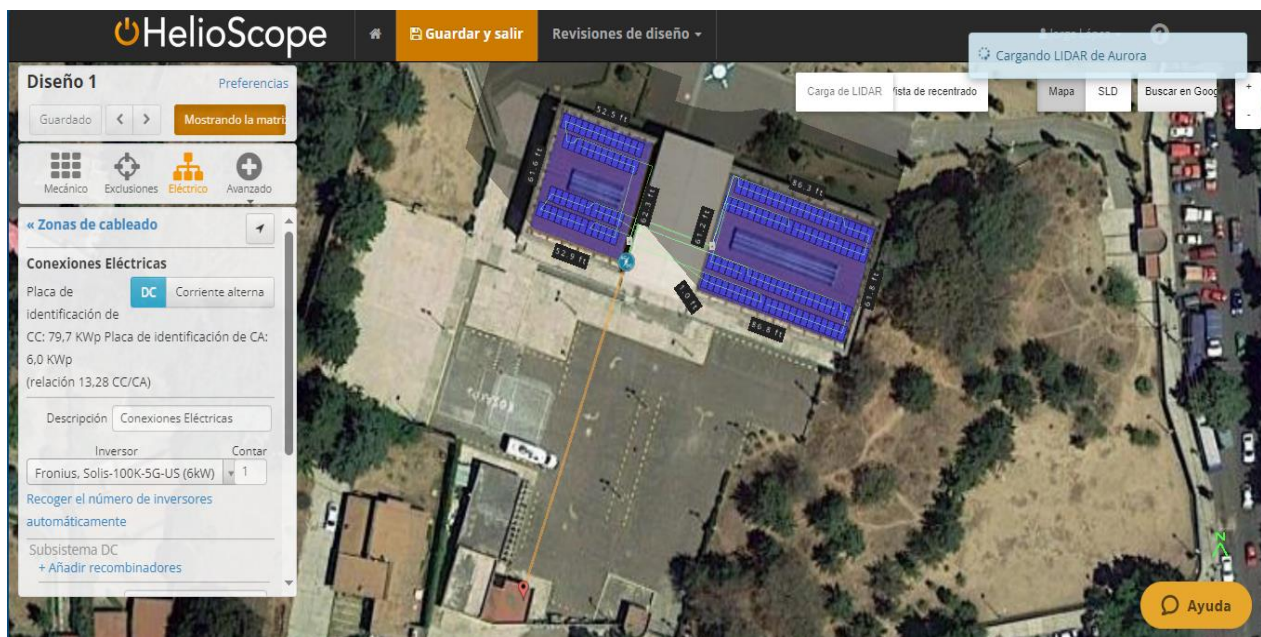


Ilustración 22. Posicionamiento de módulos e inversores fotovoltaicos HeliosCope

En el “Anexo d” del presente trabajo, se puede consultar los resultados completos de la simulación.

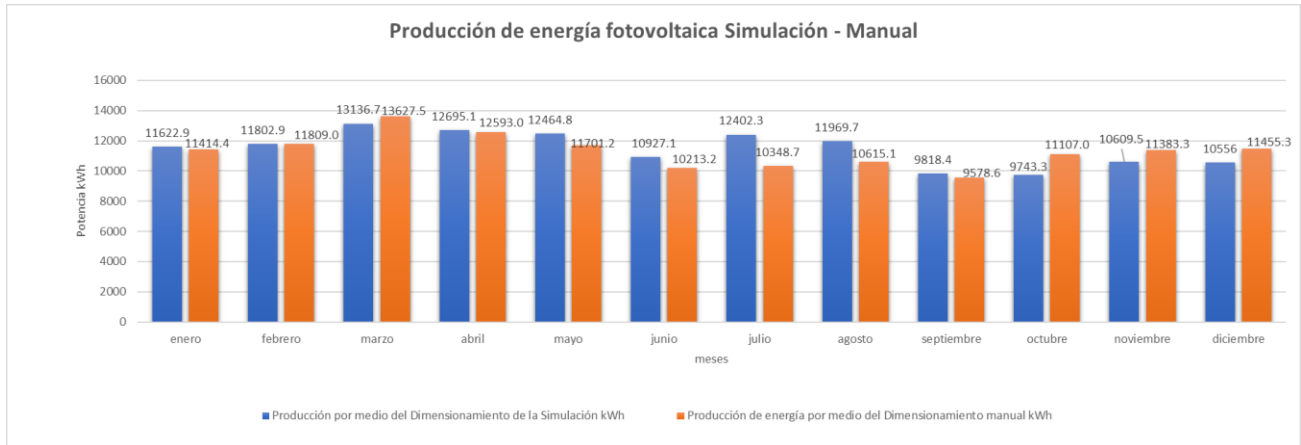
4.3.10 Comparación simulación vs dimensionamiento manual

La tabla 15 muestra la comparación de la simulación y el dimensionamiento calculado de manera manual.

Tabla 15. Generación eléctrica- Simulación vs. manual

mes	Producción por medio del Dimensionamiento de la Simulación kWh	Producción de energía por medio del Dimensionamiento manual kWh
enero	11622.9	11414.4
febrero	11802.9	11809.0
marzo	13136.7	13627.5
abril	12695.1	12593.0
mayo	12464.8	11701.2
junio	10927.1	10213.2
julio	12402.3	10348.7
agosto	11969.7	10615.1
septiembre	9818.4	9578.6
octubre	9743.3	11107.0
noviembre	10609.5	11383.3
diciembre	10556	11455.3
Producción anual energética MWh	137.7	135.8

La gráfica 16 muestra la producción mensual del dimensionamiento por medio de la simulación y el dimensionamiento manual.



Gráfica 16. Generación eléctrica simulación vs. dimensionamiento manual

Tabla 16. Diferencias simulación vs. Dimensionamiento manual

Dimensionamiento Simulación		Dimensionamiento Manual	
# paneles de 565 W	141	# paneles de 565 W	141
# inversores	1	# inversores	1
Potencia generada por módulos kW	79.7	Potencia generada por módulos kW	79.7

En la gráfica 16 se puede observar que la diferencia en generación de energía es mínima, se debe tener presente que la simulación toma condiciones ideales. En la tabla 16 se puede observar que no existe diferencia en la potencia generada por los módulos, ya que es la misma potencia y el

mismo número de módulos. Sin embargo, el arreglo del sistema fotovoltaico por medio de la simulación es diferente al propuesto de manera manual. El programa de simulación regularmente utiliza coeficientes de rendimiento óptimos, asumiendo condiciones ideales para el funcionamiento de las celdas solares (temperatura óptima, eficiencia máxima, entre otros). La simulación proporciona una buena estimación inicial y una base para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, pero siempre se debe tener en cuenta la complejidad del mundo real. Es por lo anterior que siempre se debe tener un enfoque integral que considere tanto la simulación como los factores reales, ya que es esencial para el éxito de un sistema fotovoltaico eficiente y efectivo. Debido a lo anterior es que la simulación propone elementos con características eléctricas diferentes (potencia del inversor, número de string, número de módulos, número de cajas combinadoras, entre otros), no obstante, ambas propuestas pueden implementarse y generar la energía suficiente para satisfacer la demanda del plantel.

4.3.11 Diagrama unifilar del Sistema Fotovoltaico propuesto por la simulación

La ilustración 23 muestra el diagrama unifilar del sistema fotovoltaico propuesto. El diagrama ofrece una representación gráfica simplificada de todos los componentes y conexiones eléctricas que componen el sistema fotovoltaico, se muestra de manera clara y ordenada cómo se conectan los diferentes elementos, como paneles solares, inversores, cables y dispositivos de protección, en un solo circuito eléctrico.

Este tipo de diagrama es muy útil para los instaladores y diseñadores de sistemas fotovoltaicos, ya que permite comprender la distribución y conexión de los componentes eléctricos en el sistema. También permite identificar posibles problemas o irregularidades en la instalación, así como su corrección, modificación, mantenimiento y posibles reparaciones futuras, ya que muestra claramente cómo están interconectados todos los elementos.

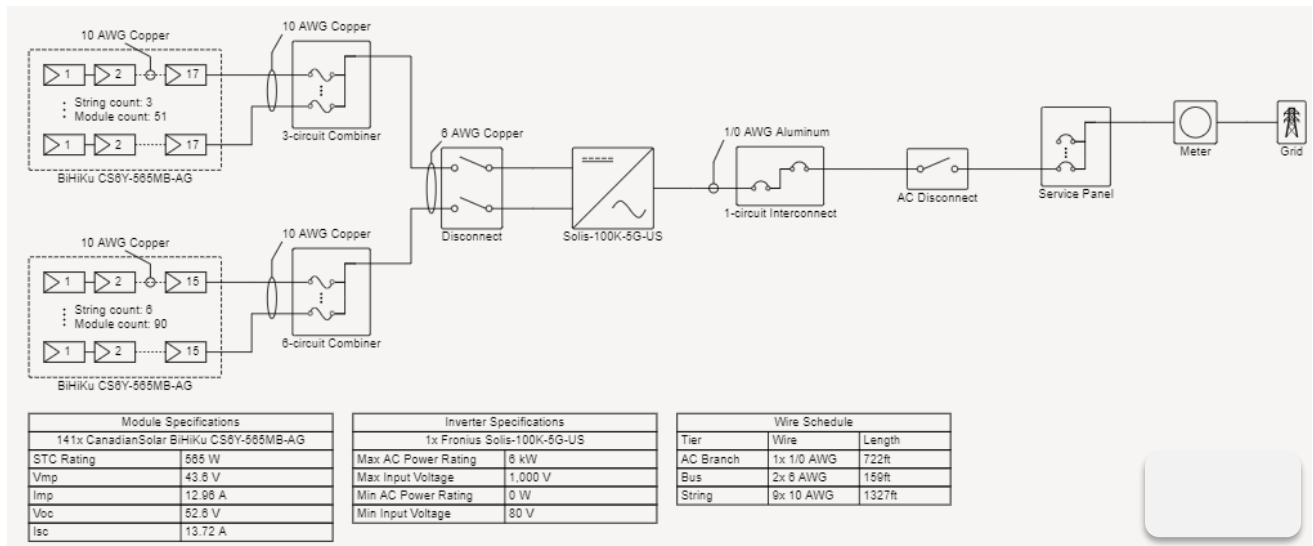


Ilustración 23. Diagrama unifilar Helioscope

En el diagrama unifilar de la simulación de la ilustración 23 se muestran 9 cadenas o string, 3 cadenas con 17 módulos cada una y 6 cadenas con 15 módulos cada una, estas cadenas se conectarán a 2 cajas combinadoras (una con entrada para 3 cadenas y otra con entrada para 6 cadenas) y 2 desconectores. Se puede ver claramente que la simulación propone elementos diferentes a los sugeridos en el dimensionamiento manual. Sin embargo, ambas propuestas son viables para implementarse.

4.3.12 Modelo de contrato de contraprestación con CFE

La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica es una ley mexicana que regula la energía eléctrica en el país. Esta ley permitió el uso de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red para el autoconsumo en todo el país. En el año 2007, se ofrece la posibilidad de generar energía eléctrica a través de la Generación Distribuida, que permite a los usuarios producir energía limpia en sus propiedades (capacidad menor a 500 kWp) y vender el excedente a la CFE bajo 3 esquemas diferentes. (CFE, 2016)

- Net Metering
- Net Billing
- Venta total de energía

Para el presente trabajo se realizará un esquema de interconexión “Net Metering” (medición neta de energía), el cual, de acuerdo con la CRE, el 99.8 % de las instalaciones de sistemas fotovoltaicos se encuentran bajo este esquema.

La CRE, define el Net Metering como una contraprestación que toma en cuenta los flujos de energía eléctrica recibidos y entregados desde y hacia las Redes de Generales de Distribución compensando dichos flujos de energía eléctrica entre sí durante el periodo de facturación. En otras palabras, un usuario puede interconectar su sistema fotovoltaico a la red eléctrica a través de un medidor bidireccional, el cual se encargará de:

- Mediar la energía inyectada por el sistema fotovoltaico a la red eléctrica de CFE
- Contar la electricidad que el usuario toma de la red de CFE cuando su sistema fotovoltaico no genera energía, regularmente en las noches.

Este esquema permite al usuario utilizar a la red eléctrica de CFE como un almacenamiento de energía, donde se acumula la energía generada por el sistema fotovoltaico y poder utilizarla como saldo a favor cuando consumes más energía de la que genera el sistema fotovoltaico, por ejemplo, en la noche.

Bajo este esquema de interconexión, el sistema fotovoltaico puede llegar a cubrir hasta el 99% del consumo energético del usuario, por lo que sólo se pagaría el derecho por utilizar la red de transmisión eléctrica. Si se llegase el caso donde el usuario consume más energía de la que generó el sistema fotovoltaico, sólo pagara la diferencia entre la energía que inyectó y tomó de la red eléctrica durante el periodo de facturación.

Por otro lado, si la generación de energía con el sistema fotovoltaico es mayor a su consumo, se crea un saldo en kWh a favor que se abona automáticamente en los periodos de facturación subsecuentes y tendrás 12 meses para consumir ese saldo.

Capítulo V. Análisis económico

5.1 Costos

El análisis de factibilidad económica del presente proyecto considera los costos que se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Costos de material para el SF

Costo total de la instalación		
Módulos fotovoltaicos	Costo por unidad + IVA(16%)	Total Pesos mexicanos
141	\$ 3,836.25	\$ 627,457.1
Inversor	Costo por unidad + IVA(16%)	Total Pesos Mexicanos
1	\$68,600.00	\$79,576.0
Estructura de montaje de módulos	Costo por unidad	Total Pesos Mexicanos
36	\$ 3,311.18	\$ 119,202.5
Cable AWG 10 x metros	Costo por metro	Total Pesos Mexicanos
512.55	20.43	10471.4
Cable AWG 1/0 x metro	Costo por metro	Total Pesos Mexicanos
589.2	481.1	283464.1
Cable AWG 6 x metro	Costo por metro + iva	Total Pesos mexicanos
47.82	39.77	2206.1
Cajas combinadoras de 1000 volts cd	Costo por unidad con IVA incluido	Total Pesos Mexicanos
9	1109	9981
Gastos de Gestoria	Total \$ mexicanos	Total Pesos Mexicanos
	5000	5000
Viáticos, conectores, tubería conduit, traslados, materiales como impermeabilizante para las filtraciones, etc.	Total \$ mexicanos	Total Pesos Mexicanos
	5000	5000
Contratación de UVIE	Total \$ mexicanos	Total Pesos Mexicanos
	70000	70,000
Total de inversión sin considerar mano de obra		\$ 1,212,358.14

Como se puede observar en la tabla 17 no se considera el costo del dimensionamiento. Ya que es un proyecto que se realiza con la intención de participar en la implementación (si se llega a

dar) y de esta forma devolver al plantel un poco de lo mucho que ofrece a la comunidad. Además, se busca que el costo del proyecto sea lo más económico posible sin sacrificar calidad de los componentes del sistema. Aunado a lo anterior, los beneficios ambientales superan por mucho el costo del dimensionamiento. Por otro lado, el material descrito en la tabla 17 fue cotizado en distintas páginas web de proveedores dedicados a la venta de Sistemas Fotovoltaicos (se eligió el componente con la mejor relación de calidad – precio, y que cumpliera con las características eléctricas que se requerían para el sistema fotovoltaico). Las cantidades se encuentran en pesos mexicanos y el precio del dólar se cotizó en \$19.92 pesos, al día 2 de junio de 2024, por lo que los precios pueden variar posteriormente.

La inversión inicial no considera mano de obra, ya que el plantel cuenta con personal de mantenimiento que puede participar en la instalación, guiados por el realizador del presente trabajo que cuenta con la certificación de instalador fotovoltaico EC0586.01. De esta manera se reduce costos.

El total de la inversión para instalar el sistema fotovoltaico es \$1,212,358.14 (Un millón doscientos doce mil, trecientos cincuenta y ocho mil pesos con catorce centavos M.N.).

5.2 Evaluación Financiera

En la evaluación financiera se considera la inversión inicial de \$1,212,358.14 y los ahorros mensuales en el pago de energía eléctrica. Cada pago será el correspondiente al costo económico reflejado en la factura de la CFE. Los consumos mensuales corresponden al año 2019, ya que éste refleja el consumo actual del año 2023 (por las razones mencionadas anteriormente).

Se realizaron 2 evaluaciones financieras: la primera con los beneficios fiscales que ofrece la Ley del Impuesto Sobre la Renta y la segunda sin los beneficios fiscales.

5.2.1 Evaluación con Beneficios Fiscales

El artículo 34 “Porcentajes de deducción de activos fijos”, fracción XIII de la Ley del Impuesto Sobre la Renta (ISR) hace referencia a las energías renovables, a continuación, se describen las características necesarias para que sea posible una deducción fiscal (ISR artículo 34, 2010).

Fracción XIII:

“Deducción al 100% para maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables o de sistemas de cogeneración de electricidad eficiente.

“Para los efectos del párrafo anterior, son fuentes renovables aquellas que por su naturaleza o mediante un aprovechamiento adecuado se consideran inagotables, tales como la energía solar en todas sus formas; la energía eólica; la energía hidráulica tanto cinética como potencial, de cualquier cuerpo de agua natural o artificial; la energía de los océanos en sus distintas formas; la energía geotérmica, y la energía proveniente de la biomasa o de los residuos. Asimismo, se considera generación la conversión sucesiva de la energía de las fuentes renovables en otras formas de energía.

Lo dispuesto en esta fracción será aplicable siempre que la maquinaria y equipo se encuentren en operación o funcionamiento durante un periodo mínimo de 5 años inmediatos siguientes al ejercicio en el que se efectúe la deducción, salvo en los casos a que se refiere el artículo 37 de esta Ley. Los contribuyentes que incumplan con el plazo mínimo establecido en este párrafo deberán cubrir, en su caso, el impuesto correspondiente por la diferencia que resulte entre el monto deducido conforme a esta fracción y el monto que se debió deducir en cada ejercicio en los términos de este artículo o del artículo 35 de esta Ley, de no haberse aplicado la deducción del 100%. Para estos efectos, el contribuyente deberá presentar declaraciones complementarias por cada uno de los ejercicios correspondientes, a más tardar dentro del mes siguiente a aquél en el que se incumpla con el plazo establecido en esta fracción, debiendo cubrir los recargos y la actualización correspondiente, desde la fecha en la que se efectuó la deducción y hasta el último día en el que operó o funcionó la maquinaria y equipo” (ISR artículo 34, 2010).

Lo anterior tiene como objetivo promover el uso de energías renovables en México, fomentando la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la diversificación de la matriz energética del país.

En la tabla 18 se muestran los gastos que son deducibles:

Tabla 18. Materiales fotovoltaicos deducibles

Deducibles	
Módulos fotovoltaicos	
\$	627,457.1
Inversor	
	\$79,576.0
Estructura de montaje de módulos	
\$	119,202.5
Cable AWG 10 x metros	
\$	10,471.40
Cable AWG 1/0 x metro	
\$	283,464.12
Cable AWG 6 x metro	
\$	2,206.09
Cajas combinadoras de 1000 volts cd	
\$	9,981.00
Gastos de Gestoria	
\$	5,000.00
Impermeabilizante para filtraciones, conectores y tubos conduit, transporte, viaticos	
\$	5,000.00
UVIE	
\$	70,000.00
\$	1,212,358.14

El cálculo de la deducción al 100% de la inversión en el sistema fotovoltaico con el factor de actualización, el cual fue publicado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público correspondientes al año 2024 queda desglosado en la tabla 19.

Tabla 19. Desglose de la deducción con respecto a la inversión

MOA (Monto Original de la Inversión)	\$ 1,212,358.14
(X) % DE DEDUCCIÓN	100%
(=) DEDUCCIÓN ANUAL	\$ 1,212,358.14
(/) MESES DEL AÑO	12
(=) DEDUCCIÓN MENSUAL	\$ 101,029.84
(x) No DE MESES USO DEL EJERCICIO	12
(=) DEDUCCIÓN ANUAL	\$ 1,212,358.14
(X) FACTOR DE ACTUALIZACIÓN	0.996256001
(=) DEDUCCIÓN ANUAL ACTUAL	\$ 1,207,819.07

En la tabla 20 se describe la deducción correspondiente al 30% (como la ley lo establece) y el ahorro total, ambas de manera mensual.

Tabla 20. Análisis de ahorro total mensual

Total	Inversión deducible	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
1,207,819.07	1,207,819.07	100,651.59	100,651.59	100,651.59	100,651.59	100,651.59	100,651.59	100,651.59	100,651.59	100,651.59	100,651.59	100,651.59	100,651.59
362,345.72	Deducción 30%	30,195.48	30,195.48	30,195.48	30,195.48	30,195.48	30,195.48	30,195.48	30,195.48	30,195.48	30,195.48	30,195.48	30,195.48
Deducción del 100% anual	Ahorro Energía	44,025.00	45,434.00	41,578.00	39,754.00	42,365.00	50,789.00	41,594.00	40,423.00	42,376.00	56,838.00	58,106.00	54,312.00
	Ahorro Total	74,220.48	75,629.48	71,773.48	69,949.48	72,560.48	80,984.48	71,789.48	70,618.48	72,571.48	87,033.48	88,301.48	84,507.48

Monto Original de la Inversión (MOA) = Precio + Otros gastos relacionados (para la puesta en marcha)	
Deducción de ISR personas morales = 30%	Deducción del PTU (Participación de los Trabajadores en las Utilidades) = 10%
Total de Deducciones = 30% + 10% = 40%	Nota: Lo típico es deducir 30% y 40% sería lo máximo
	Tasa Promedio Mensual de Inflación de Ene 2019 a Dic 2024
	0.41% (Fuente: Calculadora inflación, INEGI)

Con los datos anteriores y considerando los costos mensuales de las facturas eléctricas correspondientes al año 2019 y que se puede ver en la tabla 21 se realiza el cálculo para saber el periodo de recuperación de la inversión con beneficios fiscales.

Tabla 21. Facturas de energía eléctrica año 2019

Datos facturación eléctrica, 2019				
	Demanda máxima (kW)	Consumo Total (kWh)	Factura	CU \$/kWh
ene	28	9,440	44,025	4.66
feb	31	10,320	45,434	4.40
mar	32	10,800	41,578	3.85
abr	33	12,320	39,754	3.23
may	27	9,440	42,365	4.49
jun	31	11,520	50,789	4.41
jul	34	11,280	41,594	3.69
ago	28	9,680	40,423	4.18
sep	28	9,440	42,376	4.49
oct	37	13,600	56,838	4.18
nov	40	13,840	58,106	4.20
dic	36	13,360	54,312	4.07
Promedio		11,253	46,466	4.15
Total		135,040	557,594	

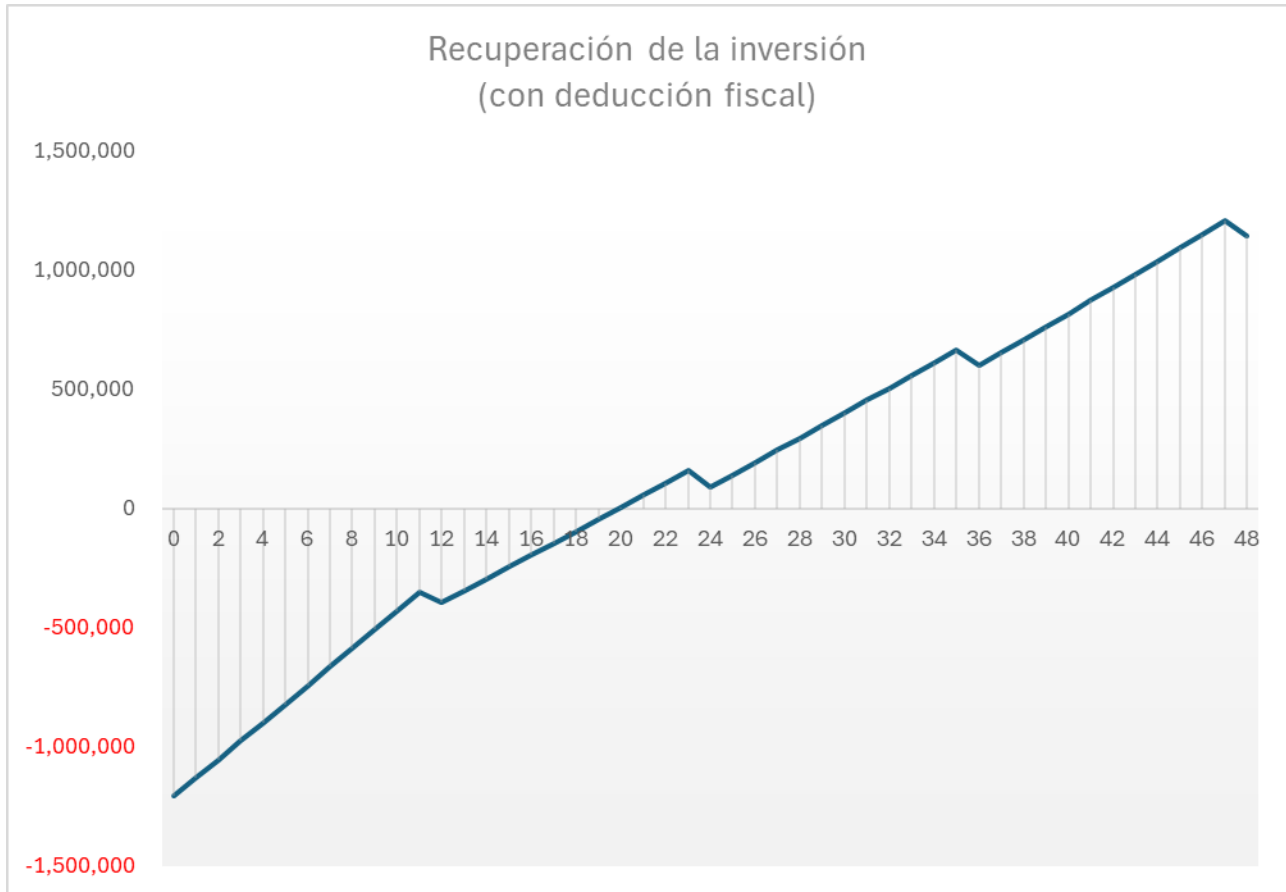
En la tabla 21 se puede apreciar que se realiza el promedio de las facturas mensuales, dicho promedio será la cantidad monetaria considerada como el ahorro de energía al mes 1 después de ponerse en funcionamiento el Sistema fotovoltaico.

En la tabla 22 se realiza el cálculo para obtener el periodo de recuperación, considerando el ahorro deducible y el ahorro energético mensual, éste último con un aumento mensual proporcionado a la tasa promedio mensual de inflación de 0.41%, correspondiente al periodo de enero 2019 a diciembre 2024 (INEGI, 2025). Además, se consideran los mantenimientos preventivos y correctivos anuales, correspondientes al 10% de la inversión total.

Tabla 22. Cálculo del Periodo de Recuperación

Periodo (meses)	Inversión inicial	Costo mantto anual (10%)	Ahorro por deducción fiscal (ISR)	Ahorro de Energía (100% Fact Elect)	Recuperación de la inversión (c/deducción)
0	-1,207,819				-1,207,819
1			30,195	46,466	-1,131,157
2			30,195	46,848	-1,054,114
3			30,195	47,040	-976,878
4			30,195	47,233	-899,450
5			30,195	47,427	-821,828
6			30,195	47,621	-744,012
7			30,195	47,816	-666,000
8			30,195	48,012	-587,792
9			30,195	48,209	-509,387
10			30,195	48,407	-430,785
11			30,195	48,605	-351,984
12		-120,782	30,195	48,805	-393,766
13				49,005	-344,762
14				49,206	-295,556
15				49,407	-246,149
16				49,610	-196,539
17				49,813	-146,725
18				50,018	-96,708
19				50,223	-46,485
20				50,429	3,943
21				50,635	54,579
22				50,843	105,421
23				51,051	156,473
24		-120,782		51,261	86,951
25				51,471	138,422
26				51,682	190,104
27				51,894	241,998
28				52,107	294,104
29				52,320	346,424
30				52,535	398,959
31				52,750	451,709
32				52,966	504,676
33				53,183	557,859
34				53,402	611,261
35				53,620	664,881
36		-120,782		53,840	597,939
37				54,061	652,000
38				54,283	706,283
39				54,505	760,788
40				54,729	815,517
41				54,953	870,470
42				55,178	925,649
43				55,405	981,053
44				55,632	1,036,685
45				55,860	1,092,545
46				56,089	1,148,634
47				56,319	1,204,953
48		-120,782		56,550	1,140,721
				PR (años) =	1.67

Se ve claramente que el periodo de recuperación de la inversión (PR) es de 20 meses lo que equivale a 1.67 años. En la gráfica 17 se muestra el Periodo de Recuperación de la Inversión (PR) con deducción fiscal, donde se puede observar claramente la viabilidad del proyecto.



Gráfica 17. Periodo de Recuperación de la Inversión

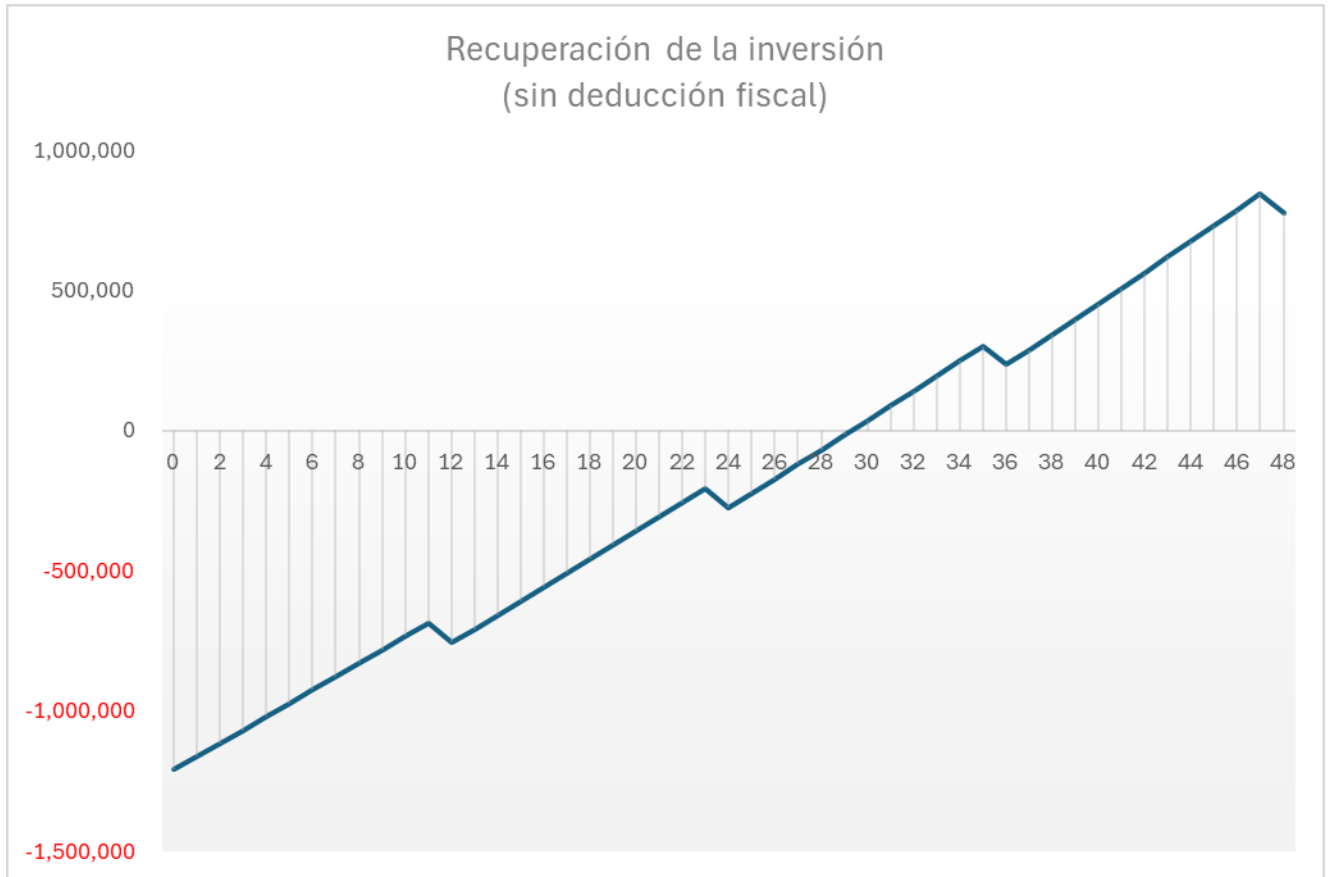
5.2.2. Evaluación sin Beneficios Fiscales

En la tabla 23 se describe el análisis para obtener el Periodo de Recuperación sin beneficios fiscales y el costo del mantenimiento preventivo y correctivo al sistema fotovoltaico de manera anual, equivalente a un 10% de la inversión inicial.

Tabla 23. Periodo de Recuperación sin Beneficios fiscales

Periodo (meses)	Inversión inicial	Costo mantto anual (10%)	Ahorro de Energía (100% Fact Elect)	Recuperación de la inversión (s/deducción)
0	-1,207,819			-1,207,819
1			46,466	-1,161,353
2			46,848	-1,114,505
3			47,040	-1,067,465
4			47,233	-1,020,232
5			47,427	-972,805
6			47,621	-925,184
7			47,816	-877,368
8			48,012	-829,356
9			48,209	-781,147
10			48,407	-732,740
11			48,605	-684,135
12		-120,782	48,805	-756,112
13			49,005	-707,107
14			49,206	-657,902
15			49,407	-608,494
16			49,610	-558,884
17			49,813	-509,071
18			50,018	-459,054
19			50,223	-408,831
20			50,429	-358,402
21			50,635	-307,767
22			50,843	-256,924
23			51,051	-205,873
24		-120,782	51,261	-275,394
25			51,471	-223,923
26			51,682	-172,242
27			51,894	-120,348
28			52,107	-68,241
29			52,320	-15,921
30			52,535	36,613
31			52,750	89,363
32			52,966	142,330
33			53,183	195,513
34			53,402	248,915
35			53,620	302,535
36		-120,782	53,840	235,594
37			54,061	289,655
38			54,283	343,937
39			54,505	398,443
40			54,729	453,172
41			54,953	508,125
42			55,178	563,303
43			55,405	618,708
44			55,632	674,340
45			55,860	730,200
46			56,089	786,288
47			56,319	842,607
48		-120,782	56,550	778,375
			PR (años) =	2.50

En este caso, el Periodo de Recuperación de la Inversión es de 30 meses, lo que equivale a 2.50 años. En la gráfica 18 se puede observar el Periodo de Recuperación de la inversión sin deducciones fiscales.



Gráfica 18. Periodo de Recuperación de la inversión sin deducción fiscal

Los datos anteriores nos indican que, con beneficios fiscales, después de 1.67 años se recupera la inversión y sin beneficios fiscales será después de 2.50 años. Cualquiera que sea el caso, se ve claramente la viabilidad del proyecto.

La garantía del sistema fotovoltaico es de 25 a 30 años, siempre y cuando se le dé el mantenimiento preventivo correcto. Por lo que, si se cumple con ello, entonces la ganancia económica será por más de 25 años.

5.3 VPN Y TIR del proyecto

El estudio de la evaluación económica- financiera es muy importante, por tal motivo se realiza el cálculo del Valor Presente Neto (VPN) o también llamado Valor Actual Neto (VAN) para ver si es rentable la instalación del sistema fotovoltaico.

El VPN es un indicador financiero que mide el flujo de ingresos y egresos futuros que tendrá un proyecto, de tal manera que permite calcular el valor presente de un número de flujos futuros considerando una tasa de interés igual para todo el periodo (Aparicio, 2017).

5.3.1 VPN y TIR del proyecto con deducción fiscal

En la tabla 24 se describe la Tasa Nominal, inflación y Tasa real de manera anual y mensual. Para el cálculo del VPN se utilizará la Tasa Real (R) = 0.39% mensual para un periodo de estudio de 48 meses; es decir, si en un periodo de 4 años el proyecto de inversión no es rentable, no se realiza.

Tabla 24. Tasa Real para el cálculo del VPN y TIR

DATOS	VALORES	VALORES
Tipo de periodo	anual	mensual
Tasa nominal (r)	10.0%	0.80%
Inflación (f)	5.0%	0.41%
Tasa real (R)	4.7%	0.39%
Periodo de estudio =	48 meses	4 años
FNE =	Flujo Neto de Efectivo (moneda corriente)	

$$R = \frac{(r - f)}{(1 + f)}$$

La tabla 25 muestra la inversión inicial y los flujos de efectivo mensuales para un periodo de 48 meses.

Tabla 25. VPN para un periodo de 48 meses

Por fórmula de Excel		VPN =	958,001
Tabla. Valor Presente Neto (VPN) o Valor Neto Actual (VNA)			
No. Periodos	FNE	$(1 + R)^n$	$FNE / (1 + R)^n$
0	-1,207,819	---	-1,207,819
1	76,662	1.004	76,367
2	77,043	1.01	76,452
3	77,236	1.01	76,348
4	77,428	1.02	76,245
5	77,622	1.02	76,142
6	77,816	1.02	76,039
7	78,012	1.03	75,937
8	78,208	1.03	75,835
9	78,405	1.04	75,734
10	78,602	1.04	75,633
11	78,801	1.04	75,532
12	-41,782	1.05	-39,895
13	49,005	1.05	46,612
14	49,206	1.06	46,623
15	49,407	1.06	46,634
16	49,610	1.06	46,645
17	49,813	1.07	46,657
18	50,018	1.07	46,668
19	50,223	1.08	46,679
20	50,429	1.08	46,690
21	50,635	1.08	46,702
22	50,843	1.09	46,713
23	51,051	1.09	46,724
24	-69,521	1.10	-63,384
25	51,471	1.10	46,747
26	51,682	1.11	46,758
27	51,894	1.11	46,769
28	52,107	1.11	46,780
29	52,320	1.12	46,792
30	52,535	1.12	46,803
31	52,750	1.13	46,814
32	52,966	1.13	46,825
33	53,183	1.14	46,837
34	53,402	1.14	46,848
35	53,620	1.14	46,859
36	-66,942	1.15	-58,276
37	54,061	1.15	46,882
38	54,283	1.16	46,893
39	54,505	1.16	46,904
40	54,729	1.17	46,916
41	54,953	1.17	46,927
42	55,178	1.18	46,938
43	55,405	1.18	46,950
44	55,632	1.18	46,961
45	55,860	1.19	46,972
46	56,089	1.19	46,984
47	56,319	1.20	46,995
48	-64,232	1.20	-53,392
		TOTAL	958,001

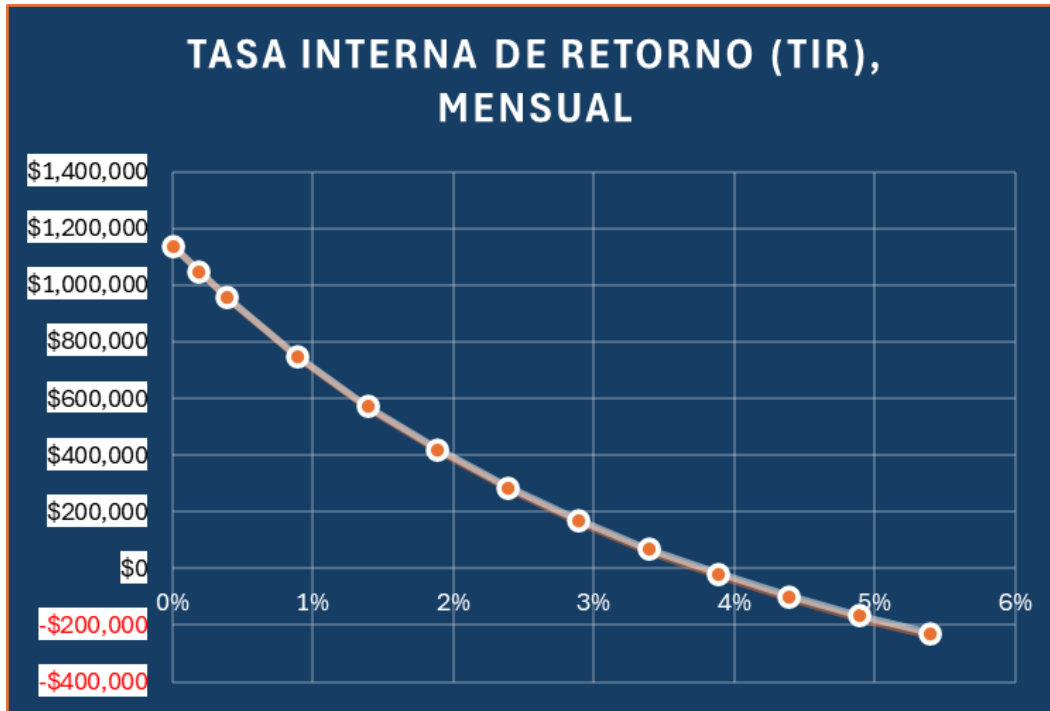
El Valor Presente Neto (VPN) o Valor Neto Actual (VNA) que se obtuvo por medio de la función (VNA) en la herramienta de Excel y por desglose mensual es de \$958,001 lo cual nos indica que el proyecto es rentable y por lo tanto merece la pena llevarlo a cabo.

La Tasa Interna de Retorno (TIR), es la tasa de descuento con la que el Valor Presente Neto (VPN) de la inversión es igual a cero. En la tabla 26 se puede observar que la TIR obtenida es de 3.78% mensual (56.1% anual) y dado que la Tasa Real utilizada es de 0.39% (4.9% anual), se confirma la rentabilidad del proyecto.

Tabla 26. Cálculo del TIR de la inversión

		56.1%	anual
Por fórmula de Excel	TIR =	3.78%	mensual
Tasa Interna de Retorno (TIR)			
	Tasa de Descuento	VPN	
	0%	\$1,140,721	
	0.19%	\$1,049,944	
	0.39%	\$958,001	
	0.89%	\$751,592	
	1.39%	\$574,197	
	1.89%	\$421,068	
	2.39%	\$288,303	
	2.89%	\$172,683	
	3.39%	\$71,546	
	3.89%	-\$17,314	
	4.39%	-\$95,732	
	4.89%	-\$165,235	
	5.39%	-\$227,102	
Nota: TIR es la Tasa de descuento cuando el VPN es igual a cero			

En la gráfica 19 se aprecia mejor la Tasa de descuento cuando el VPN es igual a cero.



Gráfica 19. TIR con VPN=0

5.3.2 VPN y TIR del Proyecto sin deducción fiscal

Se consideran los mismos valores expresados en la tabla 24. La tabla 27 muestra la inversión inicial y los flujos de efectivo mensuales para un periodo de 48 meses.

El Valor Presente Neto (VPN) o Valor Neto Actual (VNA) que se obtuvo por medio de la función (VNA) en la herramienta de Excel y por desglose mensual es de \$604,581 lo cual nos vuelve a indicar que el proyecto es rentable y por lo tanto viable.

Tabla 27. VPN sin deducción fiscal

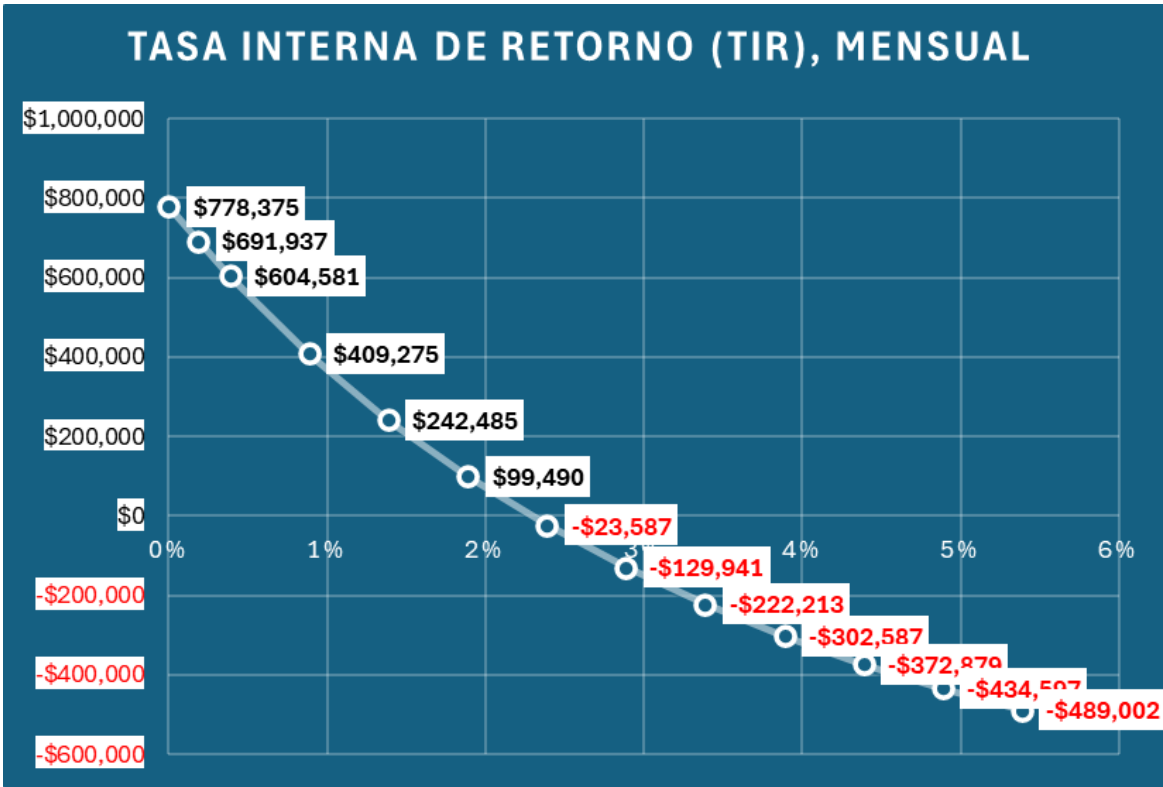
	Por fórmula de Excel	VPN =	604,581
Tabla. Valor Presente Neto (VPN) o Valor Neto Actual (VNA)			
No. Periodos	FNE	$(1 + R)^n$	$FNE / (1 + R)^n$
0	-1,207,819	---	-1,207,819
1	46,466	1.00	46,288
2	46,848	1.01	46,489
3	47,040	1.01	46,500
4	47,233	1.02	46,511
5	47,427	1.02	46,522
6	47,621	1.02	46,533
7	47,816	1.03	46,545
8	48,012	1.03	46,556
9	48,209	1.04	46,567
10	48,407	1.04	46,578
11	48,605	1.04	46,589
12	-71,977	1.05	-68,727
13	49,005	1.05	46,612
14	49,206	1.06	46,623
15	49,407	1.06	46,634
16	49,610	1.06	46,645
17	49,813	1.07	46,657
18	50,018	1.07	46,668
19	50,223	1.08	46,679
20	50,429	1.08	46,690
21	50,635	1.08	46,702
22	50,843	1.09	46,713
23	51,051	1.09	46,724
24	-69,521	1.10	-63,384
25	51,471	1.10	46,747
26	51,682	1.11	46,758
27	51,894	1.11	46,769
28	52,107	1.11	46,780
29	52,320	1.12	46,792
30	52,535	1.12	46,803
31	52,750	1.13	46,814
32	52,966	1.13	46,825
33	53,183	1.14	46,837
34	53,402	1.14	46,848
35	53,620	1.14	46,859
36	-66,942	1.15	-58,276
37	54,061	1.15	46,882
38	54,283	1.16	46,893
39	54,505	1.16	46,904
40	54,729	1.17	46,916
41	54,953	1.17	46,927
42	55,178	1.18	46,938
43	55,405	1.18	46,950
44	55,632	1.18	46,961
45	55,860	1.19	46,972
46	56,089	1.19	46,984
47	56,319	1.20	46,995
48	-64,232	1.20	-53,392
		TOTAL	604,581

Se realiza el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) para un VPN igual a cero. En la tabla 28 se puede observar que la TIR obtenida es de 2.28% mensual, superior a la Tasa Real de 0.39% mensual, lo que confirma la rentabilidad del proyecto.

Tabla 28. TIR sin deducción fiscal

		31.1%	anual
Por fórmula de Excel	TIR =	2.28%	mensual
Tasa Interna de Retorno (TIR)			
	Tasa de Descuento	VPN	
	0%	\$778,375	
	0.19%	\$691,937	
	0.39%	\$604,581	
	0.89%	\$409,275	
	1.39%	\$242,485	
	1.89%	\$99,490	
	2.39%	-\$23,587	
	2.89%	-\$129,941	
	3.39%	-\$222,213	
	3.89%	-\$302,587	
	4.39%	-\$372,879	
	4.89%	-\$434,597	
	5.39%	-\$489,002	
Nota: TIR es la Tasa de descuento cuando el VPN es igual a cero			

En la gráfica 20 se aprecia mejor la Tasa de descuento cuando el VPN es igual a cero.



Gráfica 20. TIR sin deducción fiscal

Conclusiones

En México, existen muy pocas instalaciones en escuelas públicas o privadas comparadas con E.U. o Alemania, que consuman energía eléctrica producida por Sistemas Fotovoltaicos. A pesar de que México cuenta con mejores condiciones climáticas y mayor área geográfica que Alemania.

El Gobierno Federal, estatal y local de México deberían interesarse por iniciar una transición energética partiendo de escuelas públicas, el alcance sería enorme, en principio porque los estudiantes aprenderían dentro de instituciones sustentables con la plena convicción de cuidar el medio ambiente, eso sin contar que se puede ofrecer a los estudiantes la oportunidad de aprender sobre energía renovable y sostenibilidad de manera práctica. Por lo tanto, si se utiliza energía renovable en las escuelas, éstas pueden establecer un ejemplo a seguir para la comunidad local y alentar a otros edificios, casas y/o industrias a implementar tecnologías sostenibles y limpias, como lo es, la energía solar.

Un problema que se presentó durante el desarrollo de la investigación fue la solicitud de las facturas de consumo eléctrico del plantel, las cuales se solicitaron vía oficio en el mes de febrero de 2022, nunca hubo respuesta. En el mes de octubre ingrese nuevamente mi solicitud para acceder a dichas facturas, pero ahora fue por medio del mail atención_ciudadana@iems.edu.mx al ser un mail que administra Locatel, gobierno de la CDMX y IEMS, la respuesta fue inmediata y en exactamente 1 semana ya contaba con las copias de las facturas. El avance de la investigación hubiese sido mayor y en menor tiempo de haberse obtenido la información antes, a pesar de que en la primera solicitud se explicó claramente el motivo de dicha solicitud. *Es claro concluir que el Instituto de Educación Media Superior de la CDMX (IEMS-CDMX) no está en sus prioridades utilizar energía limpia en sus planteles.*

Se consideró en el dimensionamiento todos los elementos que exige el artículo 690 para instalaciones fotovoltaicas de la NOM- 001- SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. Elementos como cableado adecuado y con protección UV, cajas combinadoras con fusible para protección y

desconexión, inversor con sistema anti-isla, sistema mecánico que cumpla con las características climatológicas del lugar para sujetar los módulos del Sistema Fotovoltaico. Lamentablemente, al no llevarse a cabo la instalación de manera inmediata no se puede comprobar que se cumplan con los requisitos que marca la NOM para la instalación, pruebas y puesta en marcha del sistema fotovoltaico. Sin embargo, en el presente proyecto se está considerando la contratación de un UVIE para que realice actos de verificación en la instalación fotovoltaica, desde el dimensionamiento fotovoltaico, pasando por los cálculos eléctricos y hasta la documentación que exige la CRE con respecto a la interconexión con la CFE (sólo se realizará el trámite en CFE ya que es una generación menor a 500 kW). Una vez aprobada la instalación por el UVIE se garantiza el buen funcionamiento del sistema fotovoltaico propuesto.

A pesar de que en el manual de interconexión con CFE existen tiempos preestablecidos, la verdad es que el tiempo de conclusión del trámite depende completamente de la oficina de servicios al cliente de CFE a la que se acuda. Dicho tiempo puede variar desde 1 día hasta 6 meses en el mejor de los casos y en el peor es que se cancele la solicitud.

La energía acumulada en favor del generador deberá compensarse en un período máximo de 12 meses siguientes al mes en que se originó cada una de sus partes. De no efectuarse la compensación en ese periodo, el crédito será cancelado y el generador renuncia a cualquier pago o bonificación por este concepto. La energía acumulada de meses anteriores en favor del generador será consumida en los meses que no satisfaga su demanda y se tomará del mes más antiguo.

Para corroborar los resultados del dimensionamiento que se realizó de manera manual se llevó a cabo una simulación con el software HeliosCope, (licencia de prueba de 14 días) los resultados obtenidos son muy parecidos, por lo que se determina que ambos dimensionamientos son adecuados para llevarse a una implementación real.

El costo económico de los elementos que componen el sistema fotovoltaico y con el cual se realizó el análisis se puede reducir considerablemente, ya que la cotización de cada elemento se realizó por unidad y no por precio de mayoreo. A pesar de haber entablado conversación por teléfono con los proveedores de la marca (panel, inversor, cables, sujetadores de panel, etc.) no se proporcionó información ni costos, ya que requerían información que estaba fuera de mis manos proporcionársela, por ejemplo: fecha de instalación, una razón social para realizar la factura, número de personal necesarios para instalar los módulos y que era obligatorio contratarlos para garantizar el tiempo de vida de los módulos, etc. En el mejor de los casos decían que enviarían la cotización vía email, lo cual a la fecha no ha ocurrido.

Por otro lado, se consideró un costo de mantenimiento correspondiente al 10 % de la inversión inicial, éste se puede reducir, sí se capacita a personal de mantenimiento en sistemas fotovoltaicos. Al ser un plantel educativo perteneciente a la CDMX, pueden gestionar con las autoridades responsables del programa “Ciudad Solar” y solicitar apoyo para reducir costos de compra e instalación. *Por lo anterior, se concluye que la inversión inicial puede reducirse significativamente y recuperarse en menos tiempo.*

Se realizaron 2 evaluaciones financieras, la primera con beneficios fiscales, los resultados obtenidos fueron muy acertados, lo que garantiza la rentabilidad del proyecto. El tiempo en el cual se recupera la inversión es de 1.67 años. La segunda evaluación se realiza sin deducción y también los resultados obtenidos nos indica la viabilidad del proyecto. En este caso la recuperación de la inversión se da en 2.50 años. Se corroboró que el proyecto es rentable después de realizar el cálculo del VPN y de la TIR para ambos análisis financieros.

Por todo lo descrito anteriormente, se concluye que la factibilidad económica de instalar un sistema fotovoltaico en una Preparatoria del IEMS-CDMX **es viable, duradero y funcional económicamente para el IEMS y lo mejor de todo, es el pequeño gran paso para el cuidado del medio ambiente. Se debe considerar el cambio de tarifa para instalar el sistema fotovoltaico.**

Finalmente, si bien, esta investigación se enfoca en cierta zona y para cierta infraestructura educativa, la metodología seguida es aplicable para otros puntos geográficos del planeta y para otros tipos de infraestructuras, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas del lugar y valorando en función de los resultados la aplicabilidad de este tipo de instalación.

Bibliografía

- America, S. P. (09 de febrero de 2024). *Solar Power America*. Obtenido de <https://solarpoweram.com/producto/inversor-solis-100k-5g/>
- Aparicio, A. G. (2017). *Cálculo Financiero Teoría y Ejercicios*. Madrid, España: Paraninfo.
- ASF, A. S. (2019). *Convocatoria de invitación a la optimización al sistema de generación de energía eléctrica*. CDMX: ASF.
- Atlas, G. S. (febrero de 2023). *Atlas Solar Mundial V 2.8*. Obtenido de <https://globalsolaratlas.info/map?c=28.72913,-111.181641,4>
- BayWa.re. (2023). *Distribución Solar BayWa r.e*. Obtenido de <https://solar-distribution.baywa-re.mx/es/productos/details/solis-100k-5g-us>
- Beauregard, L. P. (03 de mayo de 2022). *El país "California consigue cubrir casi el 100% de la demanda eléctrica con renovable por primera vez en sus historia*. Obtenido de <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2022-05-04/california-rompe-un-hito-en-la-produccion-de-energia-limpia.html>
- casas, S. (junio de 2023). *Casas Solares*. Obtenido de <https://casassolares.org/sistema-fotovoltaico/ongrid/>
- CFE. (15 de 12 de 2016). *Manual de interconexión a CFE*. Obtenido de <https://www.cfe.mx/hogar/nuevocontrato/Fotovoltaico%20para%20hogar/Manual%20de%20Interconexi%C3%B3n%20de%20Centrales%20de%20Generaci%C3%B3n%20con%20capacidad%20menor%20a%200.pdf>
- CFE, C. F. (29 de marzo de 2023). <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GranDemandaBT.aspx>. Obtenido de <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GranDemandaBT.aspx>
- CFE, F. (enero 2020). *Factura Eléctrica*. CDMX.
- Comisión Reguladora de Energía, S. d. (22 de mayo de 2012). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5249086&fecha=22/05/2012#gsc.tab=0
- CONOCER. (04 de 10 de 2019). *gob.mx/conocer*. Obtenido de <https://conocer.gob.mx/como-certificomis-competencias/>
- Corona, E. (21 de agosto de 2022). *Edificios académicos*. CDMX, Tlalpan, México.
- Corona, R. E. (Agosto de 2022). *Tipos de Radiación*. CDMX, Tlalpan, México.

Diputados. (15 de 12 de 2016). *Manual de interconexión para centrales menores a 0.5MW*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla/n486.pdf>

Ecoguardas, S. M. (27 de marzo de 2023). <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>

Editores. (11 de 2017). *Editores*. Obtenido de https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/326/estabilizadores_work_inversores_corriente

Energía, S. d. (2012). NOM 001 - SEDE 2012 INSTALACIONES ELÉCTRICAS artículo 690 Sistemas Fotovoltaicos. CDMX, CDMX, México.

Energiahoy, T. e. (17 de Enero de 2023). *Energía Hoy*. Obtenido de <https://energiahoy.com/2023/01/17/aumenta-en-mexico-tarifa-electrica-en-7-1-por-ciento/>

Energy, G. (30 de 12 de 2021). *Global Energy*. Obtenido de <https://globalenergy.mx/noticias/alternativas/renovables/solar/brasil-mexico-chile-y-argentina-generan-el-85-de-la-energia-solar-instalada-en-america-latina/>

Estratégica, E. (9 de enero de 2023). *Ranking de empresas de energía renovable en México*. Obtenido de www.energiaestrategica.com/ranking-de-empresas-de-energia-solar-mas-populares-en-mexico
www.energiaestrategica.com/ranking-de-empresas-de-energia-solar-mas-populares-en-mexico

Expansión.mx. (19 de junio de 2009). *Expansión "El desierto reemplazaría al petróleo*. Obtenido de <https://www.expansion.mx/actualidad/2009/06/16/el-desierto-reemplazaria-al-petroleo>

Geográfica, S. d. (01 de 03 de 2022). *Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica Comisión Europea*. Obtenido de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

Gob, M. (2023). *México Escuelas y Colegios ¿Quién paga la Energía eléctrica en las escuelas públicas?* Obtenido de <https://mexicogob.com/escuelas/quien-paga-la-luz-en-las-escuelas-publicas/>

Gobierno de Puebla. (21 de febrero de 2023). *Con "Escuelas Solares", gobierno de Puebla dotará energía limpia a 30 instituciones*. Obtenido de <https://puebla.gob.mx/index.php/noticias/item/11457-con-escuelas-solares-gobierno-de-puebla-dotara-energia-limpia-a-30-instituciones>

HeliosCope. (08 de 02 de 2024). *Helioscope*. Obtenido de <https://app.helioscope.com/>

HeliosCope. (08 de febrero de 2024). *HeliosCope*. Obtenido de <https://app.helioscope.com/projects/3839522/reports/12003796>

INEGI. (17 de enero de 2025). *INEGI INPC*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/indicesdeprecios/calculadorainflacion.aspx>

interconexión, C.-C. d. (08 de abril de 2010). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5137984&fecha=08/04/2010#gsc.tab=0

ISR artículo 34, f. X. (01 de enero de 2010). *SAT*. Obtenido de <https://www.mat.sat.gob.mx/articulo/61054/articulo-34>

Kennedy, R. (19 de Septiembre de 2022). *PV Magazine "Casi uno de cada diez colegios de primaria y secundaria de Estados Unidos ha adoptado la energía solar"*. Obtenido de <https://www.pv-magazine-latam.com/2022/09/19/casi-uno-de-cada-diez-colegios-de-primaria-y-secundaria-de-estados-unidos-ha-adoptado-la-energia-solar/>

Maps, G. (05 de junio de 2023). *GoogleMaps IEMS Otilio Montaña Tlalpan II*. Obtenido de <https://www.google.com.mx/maps/place/IEMS+Plantel+Tlalpan+II+%22Otilio+Monta%C3%B1o%22/@19.2026261,-99.2356554,12z/data=!4m10!1m2!2m1!1siems+tlalpan+2!3m6!1s0x85ce0701669695b1:0x8edb373d8a7dd6e6!8m2!3d19.2026318!4d-99.14991!15sCg5pZW1zIHRsYWxwYW4gMplBBnNj>

Messenger A. Roger, j. V. (2003). *Photovoltaic Systems Engineering*. E.U.: CRC PRESS.

Messenger, R. A. (2005). *Photovoltaic Systems Engineering*. Washington, DC: CRC PRESS.

México, P. (2024). *Tasas Inflacionarias Históricas*. Obtenido de https://www.proyectosmexico.gob.mx/por-que-invertir-en-mexico/economia-solida/politica-monetaria/sd_tasas-de-inflacion-historicas/

Minelli., P. M. (22 de enero de 2022). *Energía Solar Fotovoltaica*. Obtenido de <http://www.cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/2%20fotovoltaica.html>

Negocios, C. (05 de 06 de 2023). *Comisión Federal de electricidad*. Obtenido de <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GranDemandaBT.aspx>

Osel, Johan. (31 de mayo de 2012). *El país/internacional "En Alemania triunfan las escuelas especializadas en sectores de futuro"*. Obtenido de https://elpais.com/internacional/2012/05/24/actualidad/1337855978_238397.html

Oumefar, a.-t. d. (2024). *Amazon Caja Combinadora Fotovoltaica Solar*. Obtenido de https://www.amazon.com.mx/Combinadora-Fotovoltaica-Instalar-Fusible-Disyuntor/dp/B0CDJPG8Q5/ref=sr_1_13?keywords=caja+combinadora+fotovoltaica+1+a1&qid=1707501707&sr=8-13&ufe=app_do%3Aamzn1.fos.4e545b5e-1d45-498b-8193-a253464ffa47

Perino, E. J. (mayo - junio de 2021). *Revista Digital Universitaria "Energías renovables y sustentabilidad: una eficiente forma de gestionar los recursos"*. Obtenido de

https://www.revista.unam.mx/2021v22n3/energias_renovables_y_sustentabilidad_una_eficiente_forma_de_gestionar_los_recursos_naturales/

PVGIS, P. G. (1 de marzo de 2022). https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html#MR. Obtenido de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html#MR

Radiansa. (2023). *Radiansa ¿Qué son los campos electromagnéticos?* Obtenido de Radiansa ¿Qué son los campos electromagnéticos?: <https://www.radiansa.com/es/campos-electromagneticos-baja-frecuencia/que-son-los-campos-electromagneticos.htm>

Romero, I. (03 de 2019). *Research Gate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-10-Estructura-de-los-componentes-que-forman-un-modulo-fotovoltaico_fig1_350142106

Sánchez, A. M. (2017). *Aplicaciones Fotovoltaicas de la energía Solar, en sectores residencial, servicio e industrial*. CDMX: IER Instituto de Energías Renovables UNAM.

Sanchez, J Aarón. Martinez E Dalia, S. M. (2017). *Aplicaciones Fotovoltaicas de la energía solar*. CDMX: UNAM.

SENER, U. (13 de julio de 2021). *Directorio UVIES*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/653700/directorio_uvies_13_de_julio_de_2021.pdf

SEP. (13 de marzo de 2023). www.gob.mx/sep/es/boletin-sep-no-206/. Obtenido de Secretaría de Educación Pública: <http://www.gob.mx/sep>

SEP, S. d. (12 de Junio de 2022). www.sep.puebla.gob.mx/index.php/comunicados. Obtenido de <http://www.sep.puebla.gob.mx/index.php/comunicados>

Solar, B. (2023). *Bodega Solar*. Obtenido de <https://www.labodegasolar.com/products/kit-estructura-1x4>

Solar, C. (Mayo de 2022). *ciudadsolar*. Obtenido de <https://www.ciudadsolar.cdmx.gob.mx/>

Solar, g. e. (2023). *curso de energía solar fotovoltaica*. Colombia.

solares, c. (3 de mayo de 2023). *casasolares*. Obtenido de <https://casasolares.org/sistema-fotovoltaico/ongrid/>

Spain, S. (10 de 05 de 2022). *Smart Spain Inclinación de placas Solares en España, latitud y más*. Obtenido de [https://smartspain.es/inclinacion-placas-solares/#:~:text=C%C3%B3mo%20calcular%20la%20C%C3%B3ptima%20inclinaci%C3%B3n%20de%20placas%20solares,-La%20inclinaci%C3%B3n%20de&text=Las%20m%C3%A1s%20sencillas%20hablan%20de,0%2C69%20x%20latitud\).](https://smartspain.es/inclinacion-placas-solares/#:~:text=C%C3%B3mo%20calcular%20la%20C%C3%B3ptima%20inclinaci%C3%B3n%20de%20placas%20solares,-La%20inclinaci%C3%B3n%20de&text=Las%20m%C3%A1s%20sencillas%20hablan%20de,0%2C69%20x%20latitud).)

Sustentable, 2. E. (2016). *2Bgreen*. Obtenido de

<https://2bgreen.com.mx/Webpages/Productos/Componentes/Conectores/MC4P-1000VCD.html>

Technology, M. I. (2015). *The future of solar energy*. Massachusetts E.U.: MIT.

TecNM, T. N. (27 de abril de 2021). *Gobierno de México "Instalan Celdas Fotovoltaicas en TecNM*

Campus Iztapalapa". Obtenido de www.tecnm.mx/?vista=noticia&id=1415

UAM-I. (13 de marzo de 2023). *Proyectos para una UAM-I comprometida con el desarrollo sostenible*

Fase I. Universidad Autónoma Metropolitana campus Iztapalapa, Comisión para el desarrollo sostenible de la Unidad Iztapalapa. México: Comisión para el desarrollo sostenible de la UAM-I.

Recuperado el 2023, de <http://www.izt.uam.mx/wp-content/uploads/2022/02/Comisión-DS-Documento-Consejo-Académico-vf.pdf>

UVIE. (01 de agosto de 2016). *Comisión Reguladora de Energía gob.mx*. Obtenido de

<https://www.gob.mx/cre/acciones-y-programas/unidades-de-inspeccion>

Anexos

a) Ficha Técnica Módulo Solar



TOPHiKu6

N-type TOPCon Technology

560 W ~ 580 W

CS6W-560 | 565 | 570 | 575 | 580T

MORE POWER



Module power up to 580 W
Module efficiency up to 22.5 %



Excellent anti-LeTID & anti-PID performance.
Low power degradation, high energy yield



Lower temperature coefficient (Pmax): -0.29%/°C,
increases energy yield in hot climate



Enhanced Product Warranty on Materials
and Workmanship*

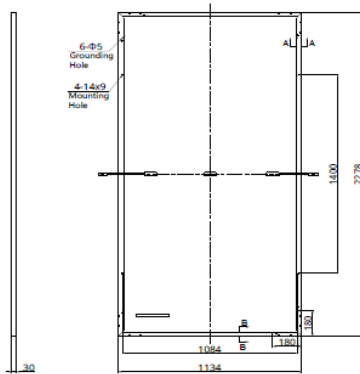


Linear Power Performance Warranty*

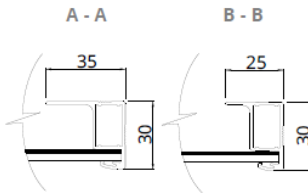
1st year power degradation no more than 1%
Subsequent annual power degradation no more than 0.4%

ENGINEERING DRAWING (mm)

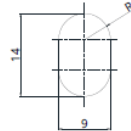
Rear View



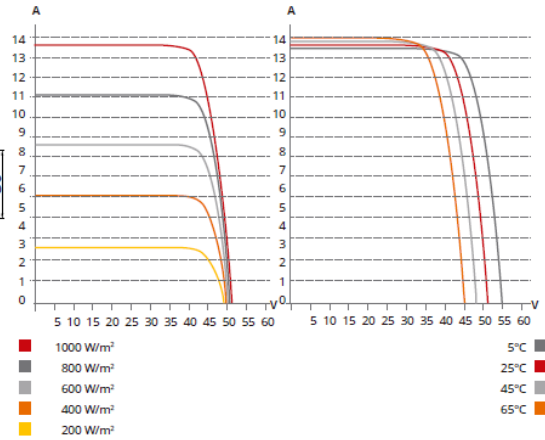
Frame Cross Section



Mounting Hole



CS6W-560T / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6W	560T	565T	570T	575T	580T
Nominal Max. Power (Pmax)	560 W	565 W	570 W	575 W	580 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	42.3 V	42.5 V	42.7 V	42.9 V	43.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	13.24 A	13.30 A	13.35 A	13.41 A	13.46 A
Open Circuit Voltage (Voc)	51.4 V	51.6 V	51.8 V	52.0 V	52.2 V
Short Circuit Current (Isc)	13.69 A	13.75 A	13.81 A	13.88 A	13.93 A
Module Efficiency	21.7%	21.9%	22.1%	22.3%	22.5%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	25 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 10 W				

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

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6W	560T	565T	570T	575T	580T
Nominal Max. Power (Pmax)	424 W	427 W	431 W	435 W	439 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.0 V	40.2 V	40.4 V	40.6 V	40.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.59 A	10.64 A	10.68 A	10.72 A	10.77 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.7 V	48.9 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V
Short Circuit Current (Isc)	11.04 A	11.09 A	11.14 A	11.19 A	11.23 A

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

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	TOPCon cells
Cell Arrangement	144 [2 x (12 x 6)]
Dimensions	2278 x 1134 x 30 mm (89.7 x 44.6 x 1.18 in)
Weight	27.6 kg (60.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-reflective coating
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	350 mm (13.8 in) (+) / 250 mm (9.8 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or MC4-EVO2 or MC4-EVO2A
Per Pallet	35 pieces
Per Container (40' HQ)	700 pieces or 630 pieces (only for US & Canada)

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.25 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

b) Ficha Técnica inversor



Características:

- ▶ Más del 99% de eficiencia máxima
- ▶ Cumplimiento con UL 1741, IEEE1547
- ▶ Rango de voltaje ultra amplio, voltaje de arranque ultra bajo
- ▶ Diseño de 10 MPPT con algoritmo preciso
- ▶ Interrupción de circuito de falla de arco integrado (AFCI)
- ▶ THDi <3% baja distorsión armónica
- ▶ Antirresonancia, compatible con más de 6 MW en paralelo en un transformador
- ▶ Solución perfecta de monitoreo de sitios comerciales
- ▶ Ventilador redundante inteligente
- ▶ Monitoreo inteligente de cadenas, diagnóstico de curva inteligente I-V
- ▶ Diseño sin fusibles para evitar riesgos de incendio
- ▶ Módulo de protección contra rayos AC y DC incorporado, descargador de sobretensiones tipo I opcional
- ▶ Tecnología de supresión de fuga de corriente
- ▶ Modo de trabajo voltio-vatio integrado
- ▶ Alarma de retroceso de entrada CC
- ▶ Función anti-PID opcional
- ▶ Interruptores de CC integrados, interruptor de CA opcional



Modelo:

Solis-100K-5G-US

Modelo	Solis-100K-5G-US
Entrada (CC)	
Voltaje máxima de entrada	1000V
Voltaje de nominal	600V
Voltaje de arranque	195V
Rango de voltaje MPPT	180-1000V
Corriente máxima de entrada	10*26A
Corriente máxima de cortocircuito	10*40A
Número de MPPT/Número máxima de cadenas de entrada	10/20
Salida (CA)	
Potencia nominal de salida	100kW
Potencia máxima de salida aparente	100kVA
Potencia máxima de salida	100kW
Voltaje nominal de la red	3/PE, 480V
Frecuencia nominal de la red	60Hz
Corriente nominal de salida de red	208.3kW
Corriente máxima de salida	120.3A
Factor de potencia	>0.99 (0.8 que lleva a 0.8 de retraso)
THDi	<3%
Eficiencia	
Eficiencia máxima	99.0%
Eficiencia EU	98.5%
Protección	

Monitoreo de fallos a tierra	Sí
Detección Anti-isla	Sí
Monitoreo de cadenas	Sí
Escaneo de curvas I/V	Sí
Función anti-PID	Opcional
AFCI integrado (Protección de circuito de falla de arco CC)	Sí
Señal PLC Sunspec para apagado rápido	Opcional
Interruptor de CC integrado	Sí
Interruptor de CA integrado	Opcional

Datos generales

Dimensiones (longitud*ancho*altura)	1050*567*314.5 mm (con interruptor de CA)
Peso	82kg
Topología	Sin Transformador
Consumo propio	<2W (noche)
Rango de temperatura de funcionamiento	-25 ~ +60°C
Humedad relativa	0-100%
Nivel de protección	NEMA 4X
Enfriamiento	Ventilador redundante inteligente
Altitud máxima de funcionamiento	4000m

c) Estructura para fijar módulos solares



SUNFORSON

Kit estructura SunforSon 4x1

~~\$ 3,453.08~~ \$ 3,311.18 **Oferta**

Cantidad

- 1 +

Agregar al carrito

Comprar ahora

Kit de estructura SunForSon

Necesitas ayuda? chatea con nosotros.

Para línea de 4 paneles con inclinación, aluminio anodizado



Contiene:

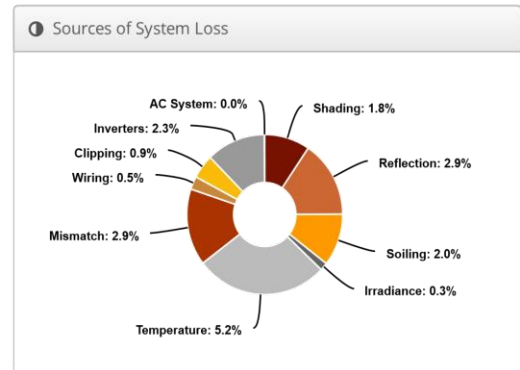
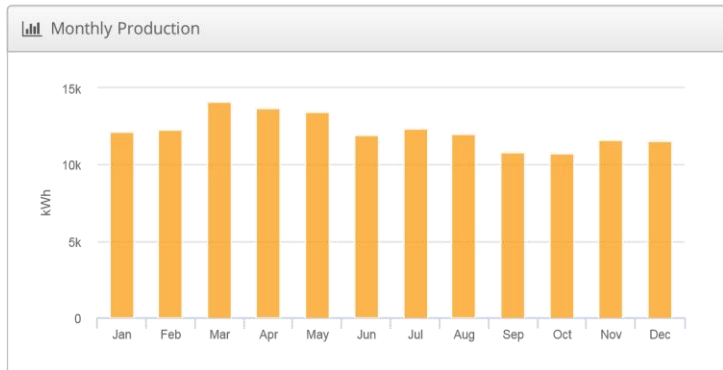
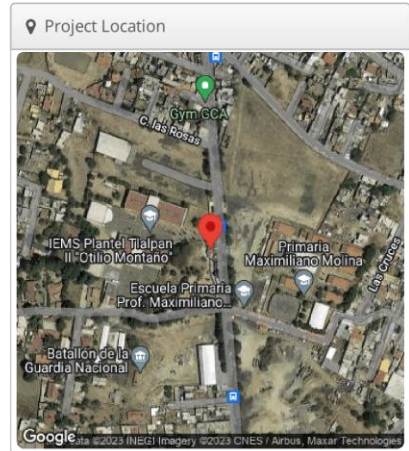
1. 2 Rieles 4.57m
2. 4 Patas largas ajustables
3. 8 Bases tipo L
4. 8 Conector tipo L
5. 8 Tornillos anonizado (65 mm)
6. 4 Tornillos anonizado (30 mm)
7. 6 Sujetadores centrales (40 mm ó 35mm) *Especificar medida
8. 4 Sujetadores laterales (40 mm ó 35mm) *Especificar medida
9. 1 Placa para tierra
10. 6 Laminas para tierra

d) Simulación HeliosCope

Preparatoria Gral. Otilio Montaño, IEMS San Miguel Topilejo Tlalpan CDMX

Report	
Project Name	Preparatoria Gral. Otilio Montaño
Project Description	Preparatoria
Project Address	iemS San Miguel Topilejo Tlalpan CDMX
Prepared By	EDUARDO CORONA REYES educorona82@gmail.com

System Metrics	
Design	propuesta 1
Module DC Nameplate	79.1 kW
Inverter AC Nameplate	66.0 kW Load Ratio: 1.20
Annual Production	146.7 MWh
Performance Ratio	82.5%
kWh/kWp	1,855.2
Weather Dataset	TMY, 0.04° Grid (19.21,-99.14), NREL (psm3)
Simulator Version	0adba856a3-9c76e33ff0-441925c571-dcd201090c



⚡ Annual Production			
	Description	Output	% Delta
Irradiance (kWh/m ²)	Annual Global Horizontal Irradiance	2,165.1	
	POA Irradiance	2,284.6	5.5%
	Shaded Irradiance	2,130.1	-6.8%
	Irradiance after Reflection	2,070.3	-2.8%
	Irradiance after Soiling	2,028.9	-2.0%
	Total Collector Irradiance	2,028.6	0.0%
Energy (kWh)	Nameplate	161,629.9	
	Output at Irradiance Levels	161,016.4	-0.4%
	Output at Cell Temperature Derate	152,399.0	-5.4%
	Output After Mismatch	140,793.5	-7.6%
	Optimal DC Output	140,077.2	-0.5%
	Constrained DC Output	26,736.2	-80.9%
	Inverter Output	23,514.4	-12.1%
	Energy to Grid	23,497.1	-0.1%
Temperature Metrics			
	Avg. Operating Ambient Temp		17.7 °C
	Avg. Operating Cell Temp		30.7 °C
Simulation Metrics			
	Operating Hours		4363
	Solved Hours		4363

☁ Condition Set			
Description	Condition Set 1		
Weather Dataset	TMY, 0.04° Grid (19.21,-99.14), NREL (psm3)		
Solar Angle Location	Meteo Lat/Lng		
Transposition Model	Perez Model		
Temperature Model	Sandia Model		
Temperature Model Parameters	Rack Type	a	b
	Fixed Tilt	-3.56	-0.075
	Flush Mount	-2.81	-0.0455
	East-West	-3.56	-0.075
	Carport	-3.56	-0.075
Soiling (%)	J	F	M
	A	M	J
Irradiation Variance	J	J	A
	S	O	N
Cell Temperature Spread	D		
	2	2	2
Module Binning Range	2	2	2
AC System Derate	2	2	2
Module Characterizations	Module	Uploaded By	Characterization
	BiHiKu CS6Y-565MB-AG (CanadianSolar)	HelioScope	Spec Sheet Characterization, PAN
Component Characterizations	Device	Uploaded By	Characterization
	Solis-100K-5G-US (Fronius)	HelioScope	Spec Sheet

📦 Components		
Component	Name	Count
Inverters	Solis-100K-5G-US (Fronius)	1 (6.00 kW)
AC Home Runs	1/0 AWG (Aluminum)	1 (722.2 ft)
Home Runs	6 AWG (Copper)	2 (159.4 ft)
Combiners	3 input Combiner	1
Combiners	6 input Combiner	1
Strings	10 AWG (Copper)	9 (1,326.6 ft)
Module	CanadianSolar, BiHiKu CS6Y-565MB-AG (565W)	141 (79.7 kW)

🔌 Wiring Zones			
Description	Combiner Poles	String Size	Stringing Strategy
Conexiones Eléctricas	12	2-17	Along Racking

🏠 Field Segments									
Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
Area1	Fixed Tilt	Portrait (Vertical)	20°	199°	3.0 ft	1x1	91	91	51.4 kW
Area2	Fixed Tilt	Portrait (Vertical)	20°	199°	2.0 ft	1x1	50	50	28.3 kW



e) **Contratos de interconexión para fuentes de energía renovable**

EL SUMINISTRADOR

EL GENERADOR

Las firmas y antefirmas que anteceden corresponden al **Contrato** celebrado entre _____ (el **Suministrador**) y _____ (el **Generador**).

ANEXO DOS

CONTRATO DE INTERCONEXION PARA FUENTE DE ENERGIA RENOVABLE O SISTEMA DE COGENERACION EN MEDIANA ESCALA QUE CELEBRAN, POR UNA PARTE, LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, DENOMINADA EN LO SUCESIVO EL **SUMINISTRADOR**, Y POR LA OTRA _____, A QUIEN EN LO SUCESIVO SE DENOMINARA EL **GENERADOR**, REPRESENTADO POR _____ EN SU CARACTER DE _____, AL TENOR DE LAS SIGUIENTES DECLARACIONES Y CLAUSULAS.

DECLARACIONES

I. Declara el **Suministrador** que:

- (a) Es un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propios, que se rige por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento, y acredita tal carácter en los términos del artículo 8 de la citada **Ley**.
- (b) Su representante, el señor _____, cuenta con todas las facultades necesarias para comparecer a la celebración del presente contrato, según consta en la Escritura Pública número _____ de fecha _____, pasada ante la fe del señor licenciado _____, Notario Público número _____ de la ciudad de _____.
- (c) Tiene su domicilio en _____, mismo que señala para todos los fines y efectos legales del presente **Contrato**.
- (d) El presente **Contrato** es aplicable a todos los **Generadores con Fuente de Energía Renovable** y **Generadores con Sistemas de Cogeneración** en mediana escala con capacidad de hasta 500 kW, que se interconecten a la red eléctrica del Suministrador en tensiones mayores a 1 kV y menores a 69 kV, y que no requieren hacer uso del **Sistema del Suministrador** para portear energía a sus cargas.

II. Declara el **Generador** que:

- (a) (Opción 1. persona física); Es una persona física que comparece por su propio derecho con capacidad jurídica para contratar y obligarse en términos del presente Contrato y se identifica con _____, expedida por _____, de fecha _____.

(Opción 2. persona moral); Es una sociedad mexicana, constituida de acuerdo con la Escritura Pública número ____ de fecha ____, pasada ante la fe del licenciado _____, Notario Público número _____ de la ciudad de _____, e inscrita en el Registro Público de Comercio de _____ bajo el número _____.

Su representante _____, quien actúa con el carácter de _____, cuenta con todas las facultades necesarias para la celebración del presente contrato, según se desprende de la Escritura Pública número _____ de fecha _____, pasada ante la fe del señor licenciado _____, Notario Público número _____ de la ciudad de _____ e inscrita en el Registro Público de Comercio de _____ bajo el número _____.

- (b) Tiene su domicilio en _____, mismo que señala para todos los fines y efectos legales de este **Contrato**.
- (c) Se obliga a proporcionar al Suministrador los anexos que formarán parte del Contrato, los cuales se describen a continuación:

1.- Anexo E-RMT "Características de los equipos de medición y comunicación"

2.- **Información Técnica** que acredite documentalmente que cuenta con equipo de cogeneración que cumple con los términos del artículo 36, fracción II, de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

- (d) Se obliga a cumplir lo establecido por el Suministrador en el Anexo E-RDT "Requisitos Técnicos para la Interconexión" y en la normatividad aplicable.

CLAUSULAS

PRIMERA. Objeto del **Contrato**. El objeto de este **Contrato** es realizar y mantener durante la vigencia del mismo, la interconexión entre el Sistema Eléctrico Nacional propiedad del **Suministrador** y la **Fuente de Energía Renovable** o el **Sistema de Cogeneración** en mediana escala del **Generador**.

SEGUNDA. Definiciones. Los términos que aparecen en este **Contrato**, ya sea en el propio cuerpo o en cualquiera de sus anexos, con inicial mayúscula y negrillas tendrán el significado que se les asigna en esta cláusula segunda. Dicho significado se aplicará al término tanto en singular como en plural.

- **Cogeneración.** Conforme a lo dispuesto en el artículo 36, fracción II, de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- **Contrato.** El presente **Contrato** para **Fuente de Energía Renovable** o Sistema de Cogeneración en mediana escala incluyendo todos y cada uno de sus anexos.

- **Generador.** La persona física o moral que cuente con un equipo de generación eléctrica con **Fuente de Energía Renovable** o aquellas personas físicas o morales que cuenten con un **Sistema de Cogeneración** en mediana escala.
- **Información Técnica.** Información suficiente con la que se deberá demostrar que se cuenta con equipo de cogeneración que se acreditará con copias de alguno de los siguientes documentos: factura, manuales del fabricante, diagramas de proceso, entre otros.
- **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador.** Energía entregada por el **Generador** al **Suministrador** que no fue posible compensar en un mes anterior determinado y que se acumula para futuras compensaciones.
- **Fuente de Energía Renovable. Generadores** de energía renovable como se define en el artículo 3, fracción II, de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.
- **Kilowatt hora (kWh).** Unidad convencional de medida de la energía eléctrica.
- **Ley.** La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- **Parte.** El Suministrador de acuerdo a la **Ley** y la persona física o moral que suscribe el Contrato.
- **Reglamento.** El Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- **Sistema.** El Sistema Eléctrico Nacional propiedad del **Suministrador**.
- **Sistema de Cogeneración.** Dispositivos que en su conjunto producen energía eléctrica mediante **Cogeneración**.

TERCERA. Vigencia del **Contrato**. El presente **Contrato** surtirá efecto a partir de la fecha en que sea firmado por ambas **Partes** y tendrá una duración indefinida.

CUARTA. Terminación anticipada y rescisión. El presente **Contrato** podrá darse por terminado anticipadamente por cualquiera de las causas siguientes:

- a) Por voluntad del **Generador**, siendo requisito previo la notificación por escrito del Generador al **Suministrador** con anticipación no menor a treinta (30) días hábiles.
- b) Por necesidades del servicio, siendo requisito previo la notificación debidamente justificada por escrito del **Suministrador** al **Generador** con anticipación no menor a treinta (30) días hábiles.
- c) Por acuerdo de las **Partes**.

El **Contrato** podrá rescindirse por contravención a las disposiciones que establece la **Ley**, el **Reglamento** y las demás disposiciones aplicables al **Contrato**, siempre y cuando dicha contravención afecte sustancialmente lo establecido en este **Contrato**, así como por el incumplimiento reiterado de alguna de las **Partes**, respecto de las obligaciones sustantivas que se estipulan en el presente Contrato.

Mientras no se rescinda el **Contrato**, cada **Parte** seguirá cumpliendo con sus obligaciones respectivas al amparo del mismo.

QUINTA. Entrega de energía por el **Generador**. El **Generador** se compromete a poner a disposición del **Suministrador** la energía producida por la **Fuente de Energía Renovable** o por el **Sistema de Cogeneración** en mediana escala, y el **Suministrador** se compromete a recibirla hasta por un total igual a la energía asociada a la potencia de _____kW.

La potencia máxima a instalar dependerá del tipo de servicio, y no podrá ser mayor a la carga contratada con el **Suministrador** de acuerdo a la cláusula octava del **Contrato** y estará limitada hasta 500 kW.

SEXTA. Interconexión. Las inversiones requeridas para la construcción de las instalaciones o equipos que técnicamente sean necesarios estarán a cargo del **Generador**.

Asimismo, estará a cargo del **Generador** cualquier modificación que sea necesario realizar a las instalaciones existentes del **Suministrador** para lograr la interconexión, mismas que, en su caso, realizará bajo la supervisión del **Suministrador** y previa autorización de éste.

Las instalaciones y equipos necesarios en el Punto de Interconexión así como los elementos de protección, requeridos para la interconexión con el **Sistema**, deberán cumplir con las especificaciones conducentes del **Suministrador** y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Las características de estas instalaciones y equipos, serán las establecidas por el **Suministrador**.

SEPTIMA. Medición. Los medidores y los equipos de medición a ser usados para medir la energía entregada por el **Generador** al **Suministrador** y la que entregue el **Suministrador** al **Generador** serán instalados por el **Suministrador** a costa del **Generador**. Los medidores a instalar tendrán la capacidad de registrar la energía entrante y saliente en el punto de interconexión, así como de efectuar la medición neta en cada subintervalo de cinco minutos, entre la energía eléctrica entregada por el **Suministrador** al **Generador** y la energía eléctrica entregada por el **Generador** al **Suministrador**. El **Generador** únicamente pagará la diferencia entre el costo del equipo necesario para realizar la medición de los parámetros indicados en el presente **Contrato** y el costo del equipo convencional que instalaría el **Suministrador** para la entrega de energía eléctrica en caso de que el servicio se proporcionara al amparo de un contrato de suministro normal.

El **Generador** puede instalar y mantener a su propio cargo, medidores y equipo de medición de reserva en el Punto de Interconexión adicionales a los mencionados en el párrafo anterior de esta cláusula, siempre y cuando cumplan con las normas y prácticas que tiene establecidas el **Suministrador** para ese propósito.

OCTAVA. Contrato de Suministro. El **Generador** se obliga a mantener vigente un contrato de suministro de energía eléctrica en la tarifa aplicable durante todo el tiempo que dure la interconexión de su fuente con la red del **Suministrador**.

NOVENA. Facturación. Para fines de facturación, el consumo de energía normal del suministro que cuenta con **Fuente de Energía Renovable** o **Sistema de Cogeneración** en mediana escala se determinará con las siguientes ecuaciones:

IX.1 Para suministros en tarifa ordinaria en media tensión:

$$EFn = \max(0, EESn - ERGn)$$

IX.2 Para suministros en tarifa

horaria en media tensión: $EFnp = \max(0, EESn - ERGn)p$

Donde:

EFn = Consumo de energía normal del Suministro en el mes de facturación n ;

$EESn$ = Energía entregada por el Suministrador en el mes de facturación n ;

$ERGn$ = Energía recibida del Generador en

el mes de facturación n ; p = energía en

punta, energía intermedia, energía base.

Las unidades de EFn y $EFnp$ se expresan en kWh.

- a) Cuando la diferencia, $EESn - ERGn$ sea negativa, se considerará como un crédito a favor del **Generador** y se conservará como **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador**, clasificándose en el periodo horario y mes en que el crédito fue generado. Dicho crédito será compensado automáticamente en los siguientes periodos de facturación, siempre y cuando exista energía a cargo del **Generador** que permita efectuar la compensación.
- b) Cuando la diferencia, $EESn - ERGn$, sea positiva, y exista **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador**, se realizarán las compensaciones que sean posibles, desde el mes más antiguo hasta el más reciente.

Lo anterior se realizará hasta agotar la energía acumulada o hasta que la facturación normal del suministro del mes sea de cero kilowatthoras.

Si la facturación normal del suministro del mes llega a cero kilowatthoras antes que se agote la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador**, el remanente de esta última se conservará, clasificado en el periodo horario y mes en que se generó, para utilizarse en futuras compensaciones.

Dicha energía deberá compensarse en un período máximo de 12 meses siguientes al mes en que se originó cada una de sus partes. De no efectuarse la compensación en ese periodo, el crédito será cancelado y el **Generador** renuncia a cualquier pago o bonificación por este concepto.

- c) Las compensaciones se efectuarán automáticamente, restando de la energía entregada por el **Suministrador** en el mes de facturación, la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador**, según se trate de un contrato de suministro con o sin tarifa horaria. No se compensarán excedentes generados en el mes de facturación, con la energía entregada por el **Suministrador** en el mismo mes de facturación.
- c.1) La compensación automática para suministros proporcionados en tarifa ordinaria se realizará en el siguiente orden:
 - a. Se tomará la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador** del mes más antiguo, y se compensará contra la energía entregada por el **Suministrador** en el mes de facturación tomando en cuenta las consideraciones del inciso c.3.
 - b. Se repetirá la operación con la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador** del mes inmediato posterior al mes más antiguo, hasta que la energía entregada por el **Suministrador** en el mes de facturación sea cero o hasta que se agote la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador**.
- c.2) La compensación automática para suministros proporcionados en tarifa horaria se realizará en el siguiente orden:
 - a. Se tomará la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador**, en el período punta del mes más antiguo, y se compensará* contra la energía entregada por el **Suministrador** en el periodo de punta del mes de facturación.
 - b. Si después de efectuar la operación anterior, queda remanente en la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador** en el período punta del mes más antiguo, se compensará* contra la energía entregada por el **Suministrador** en el periodo de intermedia del mes de facturación.
 - c. Si después de efectuar la operación anterior, queda remanente en la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador** en el período punta del mes más antiguo, se compensará* contra la energía entregada por el **Suministrador** en el periodo de base del mes de facturación.
 - d. Se tomará la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador**, en el período intermedio del mes más antiguo, y se compensará* contra la energía entregada por el **Suministrador** en el periodo de punta del mes de facturación.

Si después de efectuar la operación anterior, queda remanente en la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador** en el período intermedia del mes más antiguo, se compensará* contra la energía entregada por el **Suministrador** en el periodo de intermedia del mes de facturación.

Si después de efectuar la operación anterior, queda remanente en la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador** en el período intermedia del mes más antiguo, se compensará* contra la energía entregada por el **Suministrador** en el periodo de base del mes de facturación.

- e. Se tomará la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador**, en el período base del mes más antiguo, y se compensará* contra la energía entregada por el **Suministrador** en el periodo de punta del mes de facturación.
- f. Si después de efectuar la operación anterior, queda remanente en la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador** en el período base del mes más antiguo, se compensará* contra la energía entregada por el **Suministrador** en el periodo de intermedia del mes de facturación.
- g. Si después de efectuar la operación anterior, queda remanente en la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador** en el período base del mes más antiguo, se compensará contra la energía entregada por el **Suministrador** en el periodo de base* del mes de facturación.
- h. Se repetirán las operaciones de los incisos a) al i) con la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador** del mes inmediato posterior al más antiguo, hasta que la energía entregada por el **Suministrador** en el mes de facturación sea cero, o hasta que se agote la **Energía Acumulada de Meses Anteriores en Favor del Generador**.

* tomar en cuenta las consideraciones del inciso c.3

c.3) Debido a que la energía tiene cargos diferentes dependiendo del horario y mes en que fue generada, para efectuar las compensaciones se debe convertir la energía acumulada de meses anteriores a kilowatthoras equivalentes actuales, mediante las siguientes consideraciones:

Ordinaria.

- a. Se tomará el cargo de la energía del mes más antiguo entre el cargo de la energía del mes facturable.

Horaria.

- a. Cuando se requiera convertir energía acumulada en el mismo periodo horario (punta punta, intermedia intermedia, base base) se tomará el cargo de la energía del mes más antiguo del periodo horario entre el cargo de la energía del mismo periodo del mes facturable.
- b. Cuando se requiera convertir energía acumulada de diferentes periodos horarios (X Y; punta intermedia, punta base; intermedia punta, intermedia base; base punta, base intermedia) se tomará el cargo de la energía del mes más antiguo del periodo horario (X) entre el cargo de la energía de un diferente periodo horario (Y) del mes facturable.

- d) Si el suministro se proporciona en tarifa ordinaria, los cargos por energía consumida por el **Generador** en el mes de facturación serán los que resulten de aplicar, al valor de *EFn* expresado en kWh, las cuotas establecidas en el Acuerdo de Tarifas vigente.
- e) Si el suministro se proporciona en tarifa horaria, los cargos por energía consumida por el **Generador** en el mes de facturación serán los que resulten de aplicar, en cada uno de los diferentes períodos horarios, al valor del *EFnp* expresado en kWh, las cuotas establecidas en el Acuerdo de Tarifas vigente, que corresponda a la región en que se ubica la Fuente de Energía Renovable.
- f) Después de efectuar las compensaciones, el valor de *EFn* o *EFnp* resultante se considerará como un crédito a favor del Suministrador y se facturará al Generador en la tarifa aplicable según el contrato mencionado en la cláusula octava, previa aclaración de que los cargos indicados en los incisos d) y e) anteriores corresponden exclusivamente a los cargos por el consumo de energía de suministro normal, por lo que a los montos resultantes se les añadirán los demás conceptos establecidos en el Acuerdo de Tarifas vigente.

DECIMA. El **Generador** se obliga a no intervenir ni modificar los equipos en sus instalaciones que están asociados a la desconexión de su fuente de energía, ni a los asociados a la desconexión al punto de entrega del **Suministrador**. En caso contrario, el **Generador** deberá responder de los daños y perjuicios que cause al **Suministrador**.

DECIMA PRIMERA. Pagos. Todos los pagos que resulten de la aplicación del presente contrato se harán en moneda de curso legal en los Estados Unidos Mexicanos en las oficinas de atención al público del **Suministrador** o en las instituciones bancarias o medios que éste establezca.

DECIMA SEGUNDA. Supletoriedad. Para lo no establecido en el **Contrato**, se aplicarán las disposiciones del contrato de suministro de energía eléctrica mencionado en la cláusula octava de este **Contrato**.

DECIMA TERCERA. Modificaciones. Cualquier modificación al presente **Contrato** deberá formalizarse por escrito y el nuevo **Contrato** sustituirá al anterior.

DECIMA CUARTA. Caso fortuito y fuerza mayor. Las **Partes** no serán responsables por el incumplimiento de sus obligaciones cuando el mismo resulte de caso fortuito o fuerza mayor.

DECIMA QUINTA. Cesión de derechos. El **Generador** tiene prohibida la cesión parcial o total de los derechos y obligaciones derivadas del presente **Contrato**, sin la previa autorización por escrito del **Suministrador**.

DECIMA SEXTA. Legislación y tribunales. El presente **Contrato** se rige e interpreta por las leyes federales de los Estados Unidos Mexicanos y, en particular, por la **Ley** y su **Reglamento**. Las controversias que surjan del presente contrato serán competencia de los tribunales federales en la ciudad _____ y al efecto las partes renuncian al diverso fuero que pudiere corresponderles por razón de su domicilio u otras causas.

Este **Contrato** se firma en ___ ejemplares en la Oficinas del Suministrador, ubicadas en la dirección _____, el ___ de _____ de _____.

EL SUMINISTRADOR EL GENERADOR

Las firmas y antefirmas que anteceden corresponden al **Contrato** celebrado entre _____ (el **Suministrador**) y _____ (el **Generador**).

ANEXO E-RMT

Características de los equipos de medición y comunicación.

Medidor electrónico multifunción de 2.5 clase 20 Amperes o 30 clase 200 Amperes, según corresponda a la carga y tipo de medición del cliente, 3 fases, 4 hilos, 3 elementos, 120 volts, conexión estrella, base tipo "S", forma 9S o 16S, debiendo cumplir con lo siguiente:

1. Clase de exactitud de 0,2% de acuerdo con la Especificación CFE G0000-48.
2. Medición de kWh-kW y de kVARh inductivos y capacitivos.
3. Medición Bidireccional.
4. Con módem interno para comunicación remota a través de línea telefónica de velocidad mínima de 1200 bauds.
5. Con interface de puerto óptico tipo 2 en la parte frontal del medidor, para programar, interrogar y obtener todos los datos del medidor.
6. Programable para que cada fin de mes y estación realicen un restablecimiento de demanda, reteniendo en memoria las lecturas de tarifas horarias (congelamiento de lecturas), para su acceso tanto en pantalla, como mediante el software propietario.
7. Con memoria no volátil para almacenar los datos de programación, configuración y tarifas horarias.
8. Con pantalla que muestre tarifas horarias.
9. Programables para que proporcione valores de:
 - * 4 diferentes tarifas, 4 diferentes días, 4 diferentes horarios, 4 estaciones y cambio de horario de verano.
 - * Consumo de energía activa y reactiva, entregada y recibida, para cada una de las 4 tarifas, de los 4 diferentes días, de los 4 diferentes horarios y de las 4 diferentes estaciones.
 - * Demanda rolada en intervalos de 15 minutos y subintervalos de 5 minutos, para la potencia entregada, en cada una de las 4 tarifas, de los 4 diferentes días, de los 4 diferentes horarios y de las 4 diferentes estaciones.
 - * Valores totales por tarifa y total de totales.

10. Dispositivo para el restablecimiento de la demanda.
11. Compatible con computadora personal portátil.
12. Memoria masiva para almacenar un mínimo de 2 variables cada 5 minutos un mínimo de 35 días.
13. Reloj calendario programable en base a la frecuencia de la línea o al cristal de cuarzo.
14. Batería de respaldo para el reloj y la memoria masiva con vida útil mínima de 5 años y capacidad mínima para 30 días continuos o 365 días acumulables.

15. Capacidad para colocar el medidor en modo de prueba, ya sea por software o hardware indicando que está operando en este modo.
16. Pantalla para que mediante un dispositivo muestre en forma cíclica la información del modo normal, modo alterno y modo de prueba.

Nota: Estas características son las mínimas requeridas.

De acuerdo o lo indicado en las DECLARACIONES, punto II, inciso c), del Contrato de Interconexión: Se incluyen en este ANEXO los datos del equipo de medición y comunicación a ser usados para medir en el **Punto de Interconexión la Energía Entregada** por el **Generador** al **Suministrador** y la que entregue el **Suministrador** al **Generador**.

Equipo de medición:

- 1.- Marca del medidor: _____
- 2.- Modelo del medidor: _____
- 3.- No. de medidor: _____
- 4.- Código de medidor: _____
- 5.- Código de lote: _____
- 6.- No. de serie del medidor: _____
- 7.- Fases ____, Hilos ____, Elementos ____, Volts ____, Forma ____, Exactitud: ____ Nota: El medidor será cedido a la CF para su operación y mantenimiento.

Equipo de comunicación:

- 1.- Tipo de comunicación remota (línea telefónica convencional, celular): _____
- 2.- No. telefónico:

REQUISITOS TECNICOS PARA LA INTERCONEXION

1. ALCANCE

Este documento establece los requisitos y especificaciones técnicas para la interconexión entre una fuente de energía distribuida y el sistema eléctrico nacional.

Los requisitos deben ser cumplidos en el punto de interconexión (PI), aunque los dispositivos usados para cumplir estos requerimientos estén instalados en otro lugar.

2. DEFINICIONES.

Generación distribuida. GD

Equipos e instalaciones de generación eléctrica conectadas al sistema eléctrico nacional por medio de un punto de interconexión.

Sistema Eléctrico

Equipos e instalaciones que entregan energía eléctrica a una carga.

Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

Sistema eléctrico disponible en toda la república y que entrega energía eléctrica a las redes eléctricas locales. **Sistema Eléctrico Local (SEL)**

Sistema eléctrico contenido enteramente dentro de uno o varios recintos y que no pertenece al Sistema Eléctrico Nacional.

Fuente de Energía Distribuida (FED)

Fuente de energía eléctrica que no está directamente conectada a los grandes sistemas de transmisión. Las fuentes incluyen generadores y tecnologías de almacenamiento de energía.

Interconexión

El resultado del proceso de conectar una fuente de energía distribuida al Sistema Eléctrico Nacional.

Isla

Condición en la cual una porción del sistema eléctrico nacional es energizada únicamente por uno o más sistemas eléctricos locales a través de los puntos de interconexión mientras que esta porción del sistema eléctrico nacional está eléctricamente separada del resto del SEN.

Isla Intencional

Una condición de operación en isla planeada

Isla No Intencional

Condición de operación en isla no planeada.

Punto de Interconexión (PI)

Punto donde un sistema eléctrico local es conectado al Sistema Eléctrico Nacional.

Punto de Conexión de una Fuente de Energía Distribuida.

Punto en el que una fuente de energía distribuida (FED) es eléctricamente conectada a un sistema eléctrico ya sea local o nacional.

CFE

Comisión Federal de Electricidad
SISTEMA ELECTRICO NACIONAL (SEN)

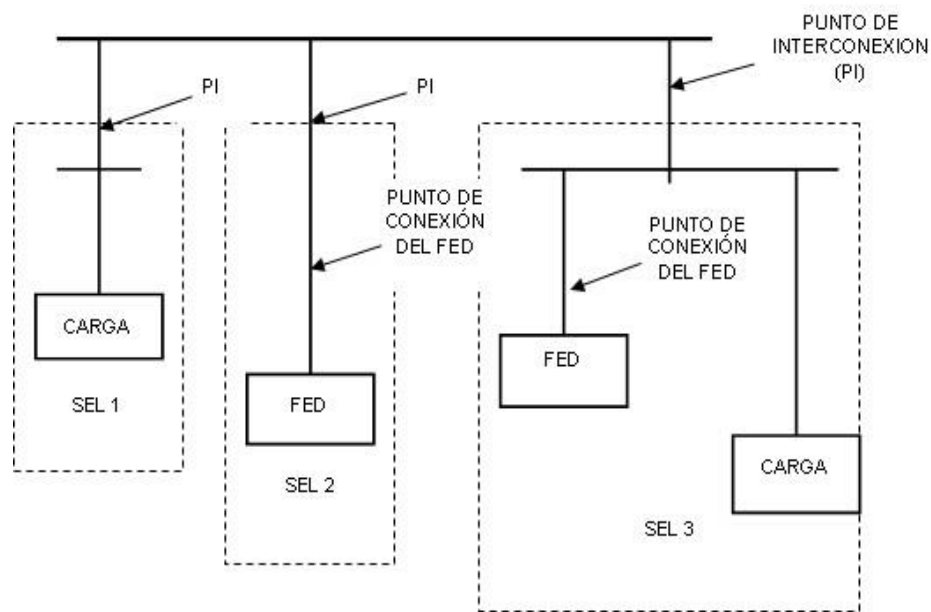


Figura No. 1.- Interconexiones

3. REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA INTERCONEXION

Los requerimientos deben ser cumplidos en el punto de interconexión, aunque los dispositivos usados para cumplir estos requerimientos estén localizados en otro lugar distinto al punto de interconexión. Los requerimientos aplican tanto para la interconexión ya sea de una sola FED o bien para varias FED contenidas en un solo SEL.

3.1. Requerimientos Generales

3.1.1. Regulación de Tensión

La FED no deberá regular la tensión en el punto de interconexión. La FED no deberá causar que la tensión de suministro del

SEN salga de lo requerido por la CFE

3.1.2. Sincronía

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

3.1.3. Energización del Sistema Eléctrico Nacional

La FED no debe energizar el SEN cuando el SEN esté desenergizado.

3.1.4. Dispositivo de Desconexión

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

3.2. Condiciones Anormales de Operación

El FED deberá contar con los dispositivos de protección adecuados para desconectarse del SEN en caso de fallas en el propio SEN al cual se encuentra conectado, como se muestra en la Figura No. 2.

3.2.1. Voltaje

La protección en el PI deberá detectar el valor rms o la frecuencia fundamental de cada voltaje de fase a fase, excepto cuando el transformador para la conexión entre el SEL y el SEN sea Estrella-Estrella aterrizado, o monofásico, en donde se deberá detectar el voltaje de fase a neutro. Los tiempos totales de desconexión dependiendo del nivel de voltaje se indican en la Tabla No. 1. Los dispositivos de voltaje podrán ser fijos o ajustables en campo para FEDs menores o iguales a 30 kW de capacidad total, y ajustables en campo para FEDs mayores a 30 kW de capacidad total.

El voltaje deberá ser detectado ya sea en el PI o en el punto de conexión del FED.

Tabla No. 1.- Respuesta del Sistema de Interconexión con

Rango de Voltaje (% del Voltaje Nominal)	Tiempo de Operación (s)¹
$V < 50$	0.16
$50 \leq V \leq 88$	2.00
$110 < V < 120$	1.00
$V \geq 120$	0.16

Voltajes Anormales

¹ FED \leq 30 kW, tiempo máximo de operación

FED > 30 kW, tiempo recomendado

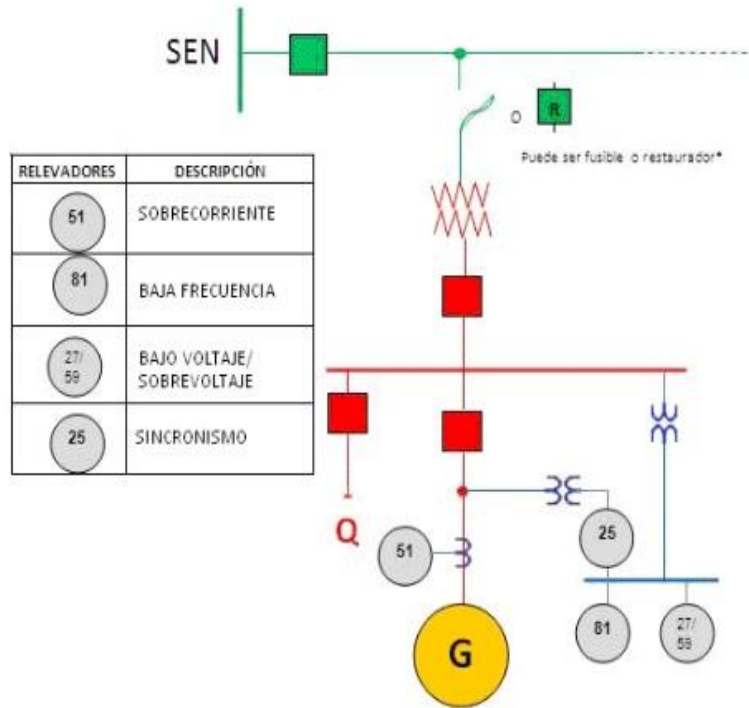


Figura No. 2 Diagrama básico de interconexión

NOTA: Cuando el proyecto se localiza en una derivación de la línea troncal, la capacidad de los equipos de protección intermedios al punto de interconexión debe seleccionarse con base a un estudio de coordinación de protecciones.

La capacidad del fusible o restaurador ubicado en el punto de interconexión debe seleccionarse en función de la carga del servicio. Se recomienda utilizar fusibles de operación rápida tipo "K".

3.2.2. Frecuencia

Cuando la frecuencia del sistema se encuentre en los rangos dados en la Tabla No. 2 la protección en el

PI deberá operar con los tiempos totales indicados en la misma. Los dispositivos de frecuencia podrán ser fijos o ajustables en campo para FEDs menores o iguales a 30 kW de capacidad total, y ajustables en campo para FEDs mayores a 30 kW de capacidad total.

Los ajustes de baja frecuencia deberán ser coordinados con los dispositivos del SEN.

Tabla No. 2.- Respuesta del Sistema de Interconexión con Frecuencias Anormales

Capacidad del FED	Rango de Frecuencia (Hz)	Tiempo de Operación (s) ¹
-------------------	--------------------------	--------------------------------------

≤ 30 kW	> 60.5	0.16
	< 59.3	0.16
> 30 kW	> 60.5	0.16
	< 59.8 - 57.9 (Ajustable)	0.16 300 (Ajustable)
	< 57.0	0.16

1 FED ≤ 30 kW, tiempo
máximo de operación
FED > 30 kW, tiempo
recomendado

3.2.3. Re-Conexión al SEN

Después de un disturbio, el FED no deberá reconectarse hasta que el voltaje en el SEN esté dentro de los límites preestablecidos por la CFE y la frecuencia esté entre 59.3 Hz y 60.5 Hz.

El sistema de interconexión del FED deberá incluir un retardo de tiempo ajustable (o fijo a 5 min.) para retardar la re-conexión hasta 5 min, después de que el voltaje y la frecuencia se hayan restablecido dentro de los límites indicados anteriormente.

3.3. Operación en Isla

3.3.1. Operación en Isla No Intencional

Para una operación en isla no-intencional en la que la FED alimenta una parte del SEN en el PI, la FED deberá detectar esta condición y desconectarse del SEN en un tiempo no mayor a medio segundo.

3.3.2. Otros

Debido a la magnitud de la capacidad de generación, este tipo de proyectos no requiere de dispositivos especiales de protección en el SEN.

El generador debe asegurarse que sus instalaciones cuenten con dispositivos de control y protección, diseñados para prevenir la formación de una isla eléctrica involuntaria al ocurrir cualquier disturbio eléctrico. No se aceptará el uso de fusibles para proveer esta función.

El generador será responsable de operar, mantener y reparar sus instalaciones a fin de que éstas cumplan en todo momento con los requisitos de seguridad y confiabilidad de la operación en paralelo con el sistema.

Luis Alfonso Marcos González De Alba, secretario ejecutivo de la Comisión Reguladora de Energía, con fundamento en lo dispuesto por el artículo 36, fracción V del Reglamento Interior de la Secretaría de Energía certifico: Que el presente documento, que consta de veintisiete fojas útiles, es copia fiel de su

original que obra en los archivos de esta Secretaría Ejecutiva, como Resolución Núm. RES/054/2010 del 4 de marzo de 2010.

La presente certificación se expide en México, Distrito Federal, a diez de marzo de dos mil diez.