



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE ENERGÍA

**Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico
interconectado a la red en la Universidad Autónoma de
la Ciudad de México, plantel San Lorenzo Tezonco**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIATURA EN:

**INGENIERÍA EN
SISTEMAS ENERGÉTICOS**

P R E S E N T A N :

Edgar Geovanni Bustos Badillo

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Rogelio Mendoza Pérez

Ciudad de México, 19 de febrero, 2024

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. José Alfredo Del Oso Acevedo, UACM
Secretario: Dr. Rogelio Mendoza Pérez, UACM
Vocal: Dr. Carlos Chávez Baeza, PEUACM
1er. Suplente: Dr. José Joaquín Lizardi Del Ángel, UACM
2do. Suplente: Grado, Nombre completo e Institución

Lugar donde se realizó la carrera:

PLANTEL SAN LORENZO TEZONCO, UACM.

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Rogelio Mendoza Pérez
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Agradecimientos.

Agradecimiento a la Universidad Autónoma de la Ciudad de México por haberme brindado la oportunidad de formar parte de ella como estudiante de nivel superior.

Un agradecimiento a todo el académico de esta gran casa de estudios por haberme formado como estudiante.

Un agradecimiento a mi Madre Bertha Badillo Mendoza por ser el pilar fundamental en todo lo que soy también por su incondicional apoyo a través de todo este tiempo.

Agradezco sinceramente la ayuda, colaboración y paciencia al Dr. Rogelio Mendoza Pérez por haber sido mi director de tesis y de servicio social.

263488 “Diseño e instalación de un laboratorio de pruebas y certificación para colectores solares destinados al calentamiento de agua”, autorizado en el extinto Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética, ahora Programa Presupuestario F003.

Índice.

Resumen del Proyecto	9
Introducción.....	11
Metodología.....	16
Capítulo I Antecedentes de la energía fotovoltaica en México	18
1.1. Introducción a la energía fotovoltaica.....	18
1.2. Evolución de celdas fotovoltaicas.	18
1.3. Historia sobre las tecnologías de celdas fotovoltaicas.	20
1.4. Antecedentes de la energía fotovoltaica en México.	21
1.5. Reforma energética del 2015.....	22
1.6. Programas para desarrollo de energía fotovoltaica a media y baja escala. 23	
1.7. Aprovechamiento de la energía fotovoltaica en la Ciudad de México.	24
1.8. Generación Distribuida (GD).....	26
1.9. Marco regulatorio para GD.....	27
Capítulo II Teoría de los sistemas fotovoltaicos	30
2.1. Efecto Fotoeléctrico en las celdas fotovoltaicas.....	30
2.2. Sistema Fotovoltaico interconectado a la red.....	30
2.3. Elementos de un Sistema Fotovoltaico interconectado a la red.....	31
2.4. Medidor bidireccional.	33
2.5. Elementos de seguridad en un SFV-I	34
2.6. Distribución de módulos fotovoltaicos.....	36
Capítulo III Dimensionamiento.....	39
3.1. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico en San Lorenzo Tezonco.	39
3.2. Estudio de la zona donde se implementará el sistema fotovoltaico.	39
3.3. Estudio de irradiación de la zona.	40
3.4. Elección de modulo fotovoltaico a utilizar.	41
3.5. Datos de consumo por edificio.	42

3.6. Analizando GD al SFV-I-UACM-SLT.....	43
3.7. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico en el edificio A.	44
3.8. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico en el edificio B.	47
3.9. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico en el edificio C.	48
3.10. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico en el edificio de profesores...	49
3.11. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico en el edificio site.....	51
3.12. Orientación de los edificios de la UACM-SLT.	52
3.13. Análisis de sombras.	54
3.14. Orientación de los MFV.....	55
Capítulo 4 Análisis de resultados	58
4.1. Resultados del SFV-I.	58
4.2. Aplicando GD al SFV-I.	58
4.3. Generación anual del SFV-I.....	59
4.4. Costo beneficio.	59
4.5. Medio ambiente.....	62
Conclusiones.....	63
Bibliografía.	66
Anexo 1. Recibo emitido por CFE.	69
Anexo 2. Ficha técnica MFV Trina Solar, modelo Vertex TSM-DE18M(II) de 500 W	70
Anexo 3. Inversor 150 kW, SMA modelo SUNNY HIGHPOWER PEAK3 150-20.	71
Anexo 4. Inversor Huawei SUN2000-105KTL-H.	72
Anexo 5. Inversor Huawei SUN2000-115KTL-H.	73
Anexo 6. Inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1.	74
Anexo 7. Inversor Growatt 50 kW.....	75
Anexo 8. Solicitud de interconexión.	76

Índice de imágenes.

Imagen 1. Rango de eficiencias de las celdas fotovoltaicas según el tipo.....	20
Imagen 2. Generación de energía fotovoltaica.....	23
Imagen 3. Potencial renovable.....	26
Imagen 4. Capacidad de GD por Entidad Federativa 2017.....	27
Imagen 5. Net Metering.....	28
Imagen 6. Net Billing.....	29
Imagen 7. Venta total.....	29
Imagen 8. Región N, P.....	30
Imagen 9. Elementos de un MFV.....	31
Imagen 10. Elementos de un SFV-I.....	34
Imagen 11. Elementos de seguridad.....	35
Imagen 12. Curva Característica.....	37
Imagen 13. UACM-SLT.....	40
Imagen 14. Inversor SMA.....	46
Imagen 15. Inversor SUN2000-105KTL-H1.....	48
Imagen 16. Inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1.....	51
Imagen 17. Inversor Growatt 50 kW.....	52
Imagen 18. Vistas de los edificios A, B, C.....	53
Imagen 19. Edificio de profesores.....	54
Imagen 20. Site.....	54
Imagen 21. Análisis de sombras en plantel.....	55
Imagen 22. Colocación de MFV en edificios A, B, C.....	56

Imagen 23. Velocidad del viento.....	56
Imagen 24. Colocación de MFV en el edificio-profesores.....	57
Imagen 25. Colocación de MFV en el Site.....	57
Imagen 26. Trayectoria optima solar del SFV-I.....	64

Índice de tablas.

Tabla 1. Horas solares pico.....	41
Tabla 2. Parámetros de operación MFV Vertex.....	42
Tabla 3.3.1. Consumo del plantel SLT diagnostico energético.....	43
Tabla 3.3.2. Consumo del plantel SLT recibo CFE.....	43
Tabla 4. Potencia instalada.....	44
Tabla 5. Resultados del SFV-A.....	45
Tabla 6. Características de inversor SMA.....	45
Tabla 7. Soporte de inversor.....	46
Tabla 8. Arreglo fotovoltaico.....	46
Tabla 9. Resultados del SFV-B.....	47
Tabla 10. Características de inversor SUN2000-105KTL-H1.....	47
Tabla 11. Resultados del AFV-B.....	48
Tabla 12. Resultados del SFV-C.....	48
Tabla 13. Características de inversor SUN2000-115KTL-H1.....	48
Tabla 14. Resultados del AFV-C.....	49
Tabla 15. Resultados del SFV-profesores.....	49
Tabla 16. Características de inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1.....	50

Tabla 17. Resultados del AFV-Profesores	50
Tabla 18. Resultados del SFV-Site.....	51
Tabla 19. Características de inversor Growatt 50 kW.....	51
Tabla 20. Resultados del AFV-Site.....	52
Tabla 21. Orientación óptima.....	53
Tabla 22. Resultados obtenidos del SFV-I.....	58
Tabla 23. MW del plantel.....	58
Tabla 24. Cotización del SFV-I.....	58
Tabla 25.1. Resultados del estudio energético parte 1.....	60
Tabla 25.2. Resultados del estudio energético parte 2.....	61
Tabla 26. Periodo de recuperación.....	61
Tabla 27. Emisiones de CO ₂	62
Tabla 28. Resumen del SFV-I.....	64
Tabla 29. Reposición de inversores.....	65
Índice de gráficas.	
Grafica 1. Excedentes para el SFV.....	60
Grafica 2. Ton. de CO ₂	62

Resumen del Proyecto

Este trabajo de tesis destaca la importancia de la energía fotovoltaica como una alternativa sostenible para la generación de electricidad de manera limpia y amigable con el medio ambiente, realizando un breve recorrido histórico sobre el desarrollo de esta tecnología, de igual manera se presenta la Reforma Energética de Enrique Peña Nieto del año 2015 para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), que promueve el desarrollo de energía fotovoltaica en el país mediante generación distribuida, la cual hace mención que un externo puede generar electricidad siempre y cuando su capacidad instalada sea menor a 0.5 MW. En la Ciudad de México se promovió la iniciativa de "CIUDAD SOLAR" que busca fomentar la sustentabilidad energética en dependencias gubernamentales, escuelas y hospitales.

Este trabajo de tesis consiste en realizar un dimensionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el plantel San Lorenzo Tezonco, de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Se tomó como base el estudio energético proporcionado por el Dr. Carlos Chávez Baeza, que lleva como nombre "Diagnostico Energético del Sistema de Iluminación en el mes de septiembre del año 2009" y a la vez haciendo un comparativo con el recibo emitido por CFE en el año 2019 del mes de septiembre. El dimensionamiento consiste primero en el estudio de la zona que se encuentra ubicada en la calle Prolongación San Isidro No. 151, Colonia San Lorenzo Tezonco, Alcaldía de Iztapalapa, Ciudad de México; que cuenta con una irradiancia promedio de 5.48 kWh/m^2 , posteriormente se realizan los cálculos para determinar el número de módulos fotovoltaicos con base al consumo de energía eléctrica, con el objetivo de cubrir el consumo energético del edificio de profesores, Site y los edificios A, B, C, que están destinados para aulas de clases, laboratorios de experimentación, comedor, biblioteca y sala de computo. Se realizó un estudio de sombras para determinar que no existen obstáculos que representen un problema para el correcto

funcionamiento del mencionado sistema fotovoltaico, de tal forma se analizó que la orientación óptima de los módulos fotovoltaicos debe ser hacia el sur con una inclinación de 19° para aprovechar al máximo la radiación solar promedio anual y no haya pérdidas en la generación de energía eléctrica.

Para llevar a cabo este trabajo de tesis se tomó en cuenta el contrato de interconexión de CFE en la tarifa GDMTH, Gran Demanda Media Tensión Horaria donde se mencionan las normas específicas de interconexión a la red eléctrica, por lo que se considerará el 50% del consumo de los edificios, logrando generar una potencia pico de 0.487 MW justo por debajo de los requerimientos de GD, dicho dimensionamiento tendrá un total de 974 módulos fotovoltaicos controlados por inversores inteligentes. La implementación de este dimensionamiento tendrá un costo inicial de \$12, 228,698.10 MXN; teniendo en cuenta que el plantel tiene un gasto mensual de \$370,438.21 MXN, por lo que al implementar este sistema fotovoltaico traerá un ahorro anual de \$1,115,982.14 MXN, y el periodo de recuperación de este sistema sería en 11 años, una vez cumpliéndose este periodo, el dimensionamiento traería consigo un ahorro de \$15, 623,374.96 MXN, en los próximos 14 años considerando una vida útil de 25 años en los módulos fotovoltaicos, por lo que al ser una fuente generadora sustentable estará ayudando al medio ambiente a evitar un total de emisiones de 322 toneladas de CO₂ cada año.

Introducción

La energía eléctrica representa un factor de notable importancia para el desarrollo social y económico de cualquier país a nivel mundial, sin embargo, la fuente principal de energía proviene de fuentes no renovables. México ha sido siempre un país petrolero pero debido a la escasez de este recurso se han implementado reformas de transición energética a través de energías renovables.

Por lo que este trabajo de tesis tiene como primer objetivo el buscar una alternativa ecológica a la problemática global en el ámbito energético, como se sabe la energía eléctrica para el ser humano es fundamental, lamentablemente ésta se genera mediante grandes cantidades de recursos de petróleo, gas natural y carbón, estos tres encabezan la producción en la generación eléctrica a nivel mundial, pero el problema es serio ya que estos son finitos, esto quiere decir que con el uso indiscriminado con el que se les está trabajando en poco tiempo se agotarán y a su vez estos se encarecerán como se ha estado viendo en los últimos años, pero la problemática más grave que trae consigo la quema de estos combustibles es que se está afectando gravemente a la ecología del planeta y la salud del ser humano con el famoso cambio climático. Un estudio realizado por el Dr. César Romo Millares sobre el sector energético en el 2008, declara que la producción e importación de energía eléctrica es el que mayor contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) alcanzando un porcentaje del 42% frente al total de las demás industrias y actividades. (Fuente: Inventario de Emisiones de GEI en la CAPV 1990-2008. Publicación de IHOBE).

El segundo objetivo es fomentar el uso de la energía renovable solar fotovoltaica dentro de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, plantel San Lorenzo Tezonco (UACM-SLT) para generar conciencia, siendo una excelente opción. Cabe destacar que la energía solar fotovoltaica no emite gases de efecto invernadero mientras está generando electricidad, su fuente es de forma finita y a la larga es más eficaz a un menor costo, es decir, la inversión que se realiza se recupera

mediante costos de pago en electricidad en un tiempo determinado que trae ganancias posteriores al periodo de recuperación de la inversión.

El tercer objetivo es realizar un dimensionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red (SFV-I), en UACM-SLT. El cual busca ser una base documentada para futuros y posibles proyectos, ya que constara de estudios previos los cuales son.

1. Realizar el estudio de consumo energético en la UACM-SLT.
2. Realizar un estudio de irradiancia en la zona.
3. Realizar el dimensionamiento para calcular el número de MFV por edificación.
4. Analizar el MFV más ideal que se apeguen a las características de la zona y de la universidad.
5. Analizar el tipo de inversor que sea más conveniente para el sistema fotovoltaico interconectado a la red SFV-I.
6. Hacer el estimado de costos y el periodo de recuperación para la implementación.
7. Analizar las normas recientes por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) que sean compatibles a los contratos de interconexión a la red de los sistemas fotovoltaicos, que incluya medidor bidireccional.
8. Analizar la viabilidad del sistema para instalar el SFV-I por medio de un estudio de consumo energético.

Los puntos anteriores usan como base el manual de contrato de interconexión de CFE, el estudio energético proporcionado por el Dr. Carlos Chávez Baeza, que lleva como nombre “Diagnostico Energético del Sistema de Iluminación en el mes de septiembre del año 2009” y a su vez se realiza un comparativo con el recibo emitido por CFE del año 2019 en el mes de septiembre (Anexo 1).

Este trabajo de tesis está conformado por 4 capítulos los cuales son:

Capítulo I. Antecedentes de la energía fotovoltaica en México. Se aborda la importancia que tiene la energía eléctrica para el desarrollo de un país, ya que se realizan avances de tipo tecnológico, medicinal, científico y educación, sin duda alguna ayuda a mejorar la calidad de vida para el ser humano porque no es posible realizar toda actividad sin la electricidad, por lo que es importante el uso de la energía fotovoltaica, pero cabe resaltar que las celdas implementadas en estos sistemas han pasado por grandes avances tecnológicos por lo que en este capítulo estudia los 4 tipos de generaciones, las cuales abarcan el descubrimiento del efecto fotoeléctrico, pasando por la primera celda solar descubierta en el año de 1883 hecha de selenio con una eficiencia muy baja entre 1 a 2 % con costos altos de producción, al descubrimiento de celdas de silicio con mayor eficiencia llegando hasta un 6% en la transformación de energía eléctrica, por lo que este tipo de celdas al ser muy costosas solamente se usaban para el espacio con el fin de alimentar satélites espaciales, pero la ciencia no se detendría así que se fueron abaratando los costos en producción y mejorando las eficiencias, hasta llegar a la cuarta generación bajo los términos comunes de celdas de capa delgada, otro aspecto importante de mencionar es como la Reforma Energética del Presidente Enrique Peña Nieto que fue aprobada en el año 2013 ha impulsado un crecimiento en la generación de electricidad mediante sistemas fotovoltaicos, lo que se debe este éxito en el crecimiento, es la creación de distintos mercados mayoristas que venden la energía eléctrica generada por estos sistemas y posteriormente son distribuidas mediante las líneas de transmisión de C.F.E para su venta a consumidores finales; otra acción fue que en baja escala incentivan al ciudadano para adquirir apoyos de sectores privados y públicos, como INFONAVIT, FIDE, FIRCO, FIRA, FSE y el proyecto de CIUDAD SOLAR de la SEDECO.

Capítulo II. Teoría de los sistemas fotovoltaicos, se explica el proceso del efecto fotoeléctrico en las celdas solares para la transformación de la luz radiante emitida

por el Sol a energía eléctrica, posteriormente se describe la transmisión de la energía eléctrica que están en corriente directa (C.D) por lo que es necesario la implementación de un inversor para su conversión a corriente alterna (A.C) para que pueda ser usada en la misma frecuencia de los aparatos y pueda pasar por un medidor bidireccional, por lo que se muestran los elementos que contiene un SFV-I incluyendo elementos de seguridad proporcionando a detalle los componentes y normativas necesarias para la implementación de estos sistemas.

Capítulo III. “Diseño y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en el plantel San Lorenzo Tezonco”, se realiza un estudio de irradiancia en la zona de San Lorenzo Tezonco alcaldía Iztapalapa, para conocer la potencia a explotar en la zona, se elige un MFV de 500 W de la marca Trina Solar modelo Vertex II, a diferencia de otros en el mercado este MFV cuenta con mejores ventajas, mayor calidad de fabricación, cumple con los estándares y tiene mayor eficiencia en la generación de electricidad. Para el dimensionamiento se toma como fuente principal el diagnóstico energético realizado por el Dr. Carlos Chávez Baeza del año 2009 y se hace un comparativo con el recibo de facturación eléctrica emitido por CFE de los kWh consumidos del plantel del año 2019, conociendo el consumo del plantel SLT se realiza el dimensionamiento por edificación, eligiendo la orientación optima de los MFV, se hace un estudio del área donde se colocará el SFV para evitar sombras y posibles calentamientos, se elige el inversor dependiendo la demanda de cada edificio y el número de MFV. Para ello se usa como factor principal el marco regulatorio de GD, el cual indica que para cada proyecto de generación eléctrica su potencia instalada debe ser menor a 0.5 MW, por lo que se realiza un reajuste al 50% del SFV-I del plantel para así poder cumplir con la ley de transición energética del país (LAERFTE) mediante generación distribuida.

Capitulo IV. Análisis de resultados. Este capítulo se expone los resultados obtenidos del SFV-I; se analiza mediante un estudio de consumo energético del

plantel para conocer el comportamiento del SFV-I por cada mes del año, teniendo como limite 0.5 MW, posteriormente se demuestra el costo beneficio que trae este sistema mediante un estudio de viabilidad para conocer qué tan rentable es implementar el SFV-I para la UACM-SLT, se demuestra los años de recuperación de la inversión y el margen de ganancias dentro de 25 años y el beneficio que trae al medio ambiente.

Metodología

El presente trabajo de tesis denominado “Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, plantel San Lorenzo Tezonco” corresponde a un proyecto de desarrollo sustentable.

Por naturaleza es una investigación cuantitativa en razón de que se busca analizar el problema mediante la experimentación y comprensión mediante un análisis a un SFV-I, los objetivos de la investigación serán en torno a un estudio de forma descriptivo y explicativo, ya que establece una relación de causa efecto, se interesa averiguar el beneficio que traerá el SFV-I mediante costo/beneficio para la UACM-SLT.

El presente trabajo de tesis se realizó sobre las siguientes bases:

1. Marco teórico. En este apartado se muestra toda la información corresponde al tema de investigación, por lo que se usa conceptos importantes acerca de los SFV-I, los elementos, la historia en la evolución de la tecnología de las celdas fotovoltaicas.

2. Para el desarrollo se realiza la formulación y planteamiento del problema, para esto se hace una revisión bibliográfica y documental de estudios previos del plantel SLT, por lo que el planteamiento del problema se realiza la redacción del objetivo general y secundario, la correcta selección de información se tendrá que seleccionar fuentes de información de confianza para que la investigación no tenga margen de error.

En el planteamiento del problema se formula dos preguntas que ayuda a escoger el tema y como consecuencia buscar los problemas las soluciones que se deben atender.

1) ¿Cuáles serían los costos/beneficios que tendría la implementación del SFV-I en los edificios por separado en la UACM-SLT?

2) ¿Qué características técnicas requieren un SFV-I en UACM-SLT?

La revisión documental se consulta de sitios web como son SciELO, Dialnet, Redalyc y Google Académico, además de libros, tesis, estudios previos del plantel para que la información sea de calidad siendo así de fuentes confiables. El estudio de radiación se calcula mediante la aplicación de la Nasa para conocer el potencial energético de la zona y para el dimensionamiento se usa como apoyo el software HELISCOPE.

La Investigación está basada en el estudio energético proporcionado por el Dr. Carlos Chávez Baeza, que lleva por nombre “Diagnóstico Energético del Sistema de Iluminación en el mes de septiembre del año 2009” y a su vez se hace un comparativo con el recibo emitido por CFE del año 2019 del mes de septiembre, por lo que se conocen las cargas requeridas de la UACM-SLT.

4. Elaboración de conclusiones. Donde se expondrán los resultados obtenidos de la investigación y algunas recomendaciones de eficiencia energética.

5. Presentación del Informe de Investigación. El trabajo se presentará completo conforme a los datos de consumo energético de los edificios de la UACM-SLT.

Capítulo I. Antecedentes de la energía fotovoltaica en México

1.1. Introducción a la energía fotovoltaica.

La implementación de la energía solar fotovoltaica, surge de la necesidad de la problemática mundial de abastecer de electricidad a la población de una forma más limpia y amigable con el medio ambiente, este tipo de energía se incorpora como una de las alternativas de desarrollo de tipo sostenible más importantes en el mundo, ya que la energía solar es una fuente abundante y limpia, por que se aprovecha la radiación que emite el Sol y la convierte en energía eléctrica logrando generar electricidad, todo este proceso no genera emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera.

1.2. Evolución de celdas fotovoltaicas.

Para hablar sobre la evolución de los MFV, tendremos que referirnos a las cuatro generaciones que actualmente existen.

1. **Primera generación.** Este tipo de celdas están construidas principalmente con silicio monocristalino y policristalino, se basan prácticamente en dos láminas con materiales semiconductores y tienen un rendimiento en su eficiencia hasta un 16%.

2. **Segunda generación.** Este tipo de tecnología se agrupa bajo los términos comunes de celdas de capa delgada, lo interesante de este avance tecnológico es que logra reducir los costos en la producción de MFV los materiales más ocupados para la construcción de este tipo de generación son:

Celdas que reportan del 10 al 15% de eficiencia.

- ✓ Teluro de cadmio (CdTe).
- ✓ Silicio amorfo (a-Si).
- ✓ Cu (In, Ga) Se₂ (CIGS).

- ✓ SnS: Bi.
- ✓ GaAs.
- ✓ CIGS – Película delgada.

Entre las variantes de celdas de película delgada existen fabricadas con estructura tandem que significan de multijuntura, la máxima eficiencia reportada es de hasta un 35.2% entre las más comunes son:

Celdas tándem.

- GaInP/GaAs/Ge.
- GaInP/GaInAs/Ge.

3. **Tercera generación.** La tercera generación, todavía están en fase de experimentación, se le conoce como celdas multiuniones de películas delgadas III-V y persigue mejorar aún más los MFV de películas delgadas. Son también usados para generar pinturas para casas y carreteras, prendas textiles, que sean capaces de generar electricidad con una eficiencia reportada que van desde 30 a 60%.

4. **Cuarta generación.** Son MFV de nanopartículas, hechos principalmente de Polímeros que logran mayores eficiencias y reducen los costos de producción, este MFV estaría basado en varias capas que sería capaz de aprovechar la luz infrarroja.

Un estudio realizado por el instituto Fraunhofer de Alemania, publicó un gráfico que muestra el desarrollo de las diferentes tecnologías fotovoltaicas, donde se puede apreciar mejor el rango de eficiencias en las que se mueven. Como se puede ver en la imagen 1.

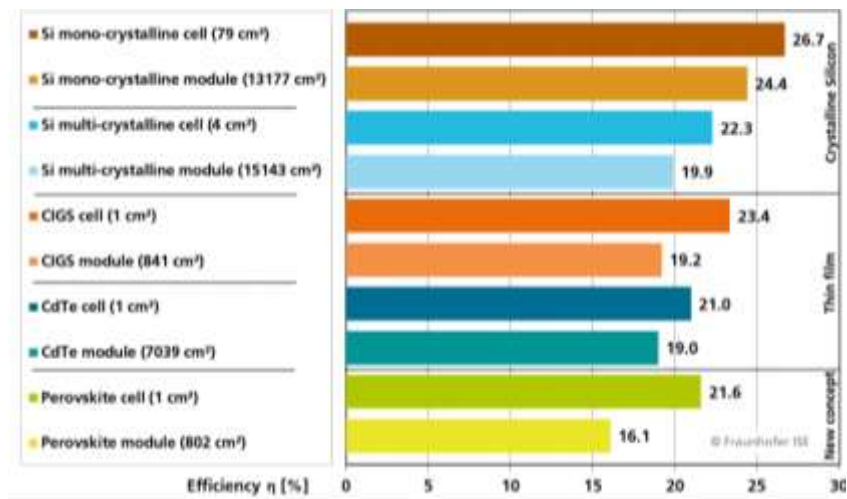


Imagen 1. Rango de eficiencias de las celdas fotovoltaicas según el tipo.
Fuente: Fraunhofer Institut ISE (Alemania).

1.3. Historia sobre las tecnologías de celdas fotovoltaicas.

Los MFV han pasado por una serie de sucesos y avances tecnológicos, para así poder llegar a ser lo que hoy en día conocemos, por lo que enseguida se presenta los sucesos históricos más importantes sobre el desarrollo de los MFV.

- En 1833: Se crea la primera celda solar. El inventor neoyorquino Charles Fritts produjo las primeras celdas solares cubriendo selenio con una fina capa de oro, con una eficiencia entre el 1 al 2%.
- En 1839: Se descubre el efecto fotovoltaico. El científico francés Edmond Becquerel determinó que la luz podía aumentar la generación de electricidad cuando se colocaban dos electrodos metálicos en una solución conductora. Este avance se definió como el “efecto fotovoltaico”.
- En 1873: El ingeniero eléctrico inglés Willoughby Smith descubrió que el selenio tiene potencial fotoconductor.
- En 1953: Daryl Chapin, Calvin Fuller y Gerald Pearson, físicos de los laboratorios Bell, descubrieron que el silicio es más eficiente que el selenio, creando la primera celda solar prácticamente con un 6% de eficiencia.

- En 1958: Se encuentran las primeras aplicaciones de los MFV, que serían utilizados para alimentar equipos de exploración espacial y alimentar al Vanguard 1, que sería el primer satélite en utilizar tecnología fotovoltaica.
- En 1982: La empresa Arco Solar construyó el primer parque solar, básicamente consistía en una planta de energía solar en Hesperia, California este parque generaba 1,000 kW/h.
- En 1994: Los investigadores del laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) en EUA, desarrollaron una nueva celda solar de capa delgada a partir de fosfuro de galio indio y arseniuro de galio que superaba el 30% de eficiencia.
- En 2005: los MFV comienzan a llegar al mercado para uso comercial y residencial.
- En 2016: Un equipo de investigación de la Universidad de California Berkeley y la Universidad Nacional Australiana, descubren nuevas propiedades de los nanomateriales con celdas termo fotovoltaicas las cuales son capaces de convertir el calor a electricidad sin necesidad de luz solar.

1.4. Antecedentes de la energía fotovoltaica en México.

México está altamente comprometido con un mayor desarrollo en las tecnologías mediante SFV. Todo esto gracias a los apoyos a diversos centros de investigación e instituciones, el cual se ha buscado impulsar mayormente a los proyectos nacionales y con ello disminuir la fuerte dependencia a la importación de tecnología proveniente de otros países, por ello es importante el analizar de manera breve los impulsos que han generado el crecimiento de la energía fotovoltaica, un claro ejemplo es la planta piloto del Cinvestav la cual fue creada en el año de 1961 por un decreto presidencial siendo fundada por el Dr. Arturo Rosenblueth, esta planta piloto fue uno de los primeros sitios en el país donde se propusieron soluciones a los problemas relacionados en la fabricación de dispositivos semiconductores, como resultado de este proyecto se desarrolló uno de los proyectos de investigación tecnológico más exitoso en el área de los semiconductores en el país, la planta

piloto de celdas con capacidad para producir 24 kW anuales mediante SFV colocados en diversas comunidades, telesecundarias, albergues, repetidoras de telefonía rurales, estaciones meteorológicas, sistemas de bombeo de agua, etc.

1.5. Reforma energética del 2015.

En México como en todos los países, la energía eléctrica es uno de los temas fundamentales en desarrollo, ya que es uno de los principales pilares económicos para una nación. En México actualmente se han realizado varias reformas en pro de la energía solar fotovoltaica para su mayor crecimiento. Una de las más importantes es la Reforma Energética del ex mandatario Enrique Peña Nieto que fue implementada en el año del 2015, México se comprometía al cumplimiento en las metas de mitigación que se establecieron en la ley de Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE). Esta señala que el sector eléctrico debe transformarse para que en el 2024 la electricidad tenga un máximo de generación del 65% mediante combustibles fósiles y el 35% sea proveniente de energías limpias, por lo que la Reforma Energética logra establecer regulaciones e instituciones necesarias, para un mayor crecimiento en la implementación de proyectos de energía fotovoltaica.

Un estudio realizado por la Secretaría de Energía en el año 2016, (SENER, prospectiva de energías renovables (2016-2030, 2016) menciona que después de la publicación de la Reforma Energética en el país, México tuvo avances considerables en la generación de energía fotovoltaica, esta paso de 170.24 MWh a 190.26 GWh, este acelerado crecimiento se debe al incremento en los contratos de interconexión ligados a pequeña y mediana escala, como se puede observar en la siguiente imagen 2 muestra el crecimiento anual de la generación de electricidad mediante energía fotovoltaica.

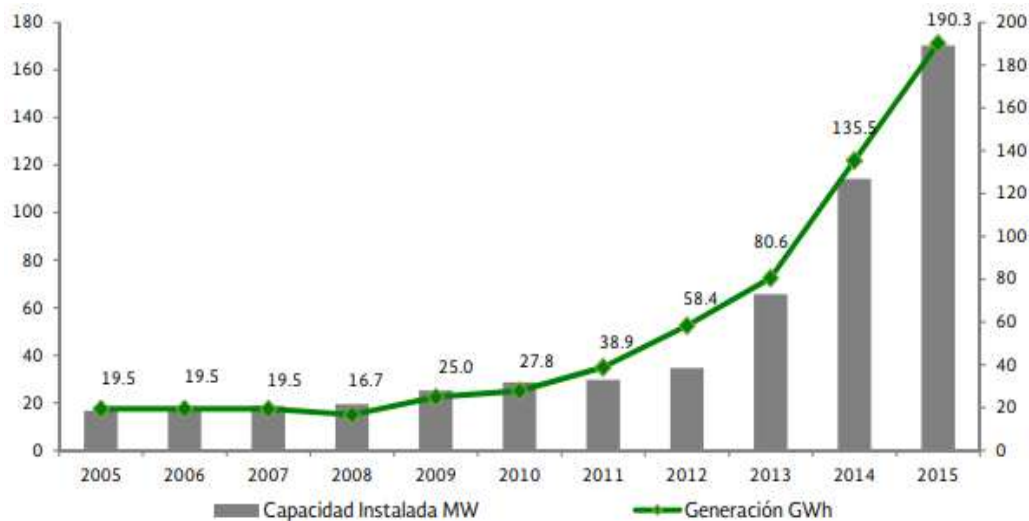


Imagen 2. Generación de energía fotovoltaica.
Fuente. SENER.

1.6. Programas para desarrollo de energía fotovoltaica a media y baja escala.

En México existen diversas instituciones que promueven y financian sistemas fotovoltaicos para los sectores de vivienda, MiPymes y agronegocios entre ellas se encuentran los siguientes organismos.

1. INFONAVIT.
2. Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE).
3. El Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO).
4. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA).
5. Fondo de Fondo de sustentabilidad energética (FSE).
6. La Secretaría de Desarrollo Económico de la Ciudad de México (SEDECO).

El Infonavit hace presencia en el sector residencial, ya que al ser un organismo de préstamos a vivienda que representaba un consumo de energía eléctrica del 14.8% del consumo total del país en el 2015, por lo que empezó a promover mediante programas el uso de energía solar en viviendas, logrando una producción de energía solar récord, el cual representó tan sólo 0.7% de su consumo energético

a si lo declara la sociedad Alemana de cooperación internacional (El auge del sector solar en México, GIZ, Abril 2018).

El FIRCO y FIDE, son instituciones que apoyan a la instalación de SFV que verifican y califican a empresas nacionales y extranjeras dedicadas a la manufactura de tecnologías fotovoltaicas.

El FSE fue Creado en 2008 y busca incentivar el desarrollo de proyectos en materia de sustentabilidad energética mediante la promoción de la investigación, el desarrollo tecnológico y la formación de capital humano en materia energética.

1.7. Aprovechamiento de la energía fotovoltaica en la Ciudad de México.

La Ciudad de México es el centro más importante en el ámbito económico, político, cultural y de innovación de todo el país. La ciudad de México a pesar de no ser una entidad generadora de energía eléctrica, fue la tercera entidad con mayor consumo en el país de energía eléctrica con 12.6 TWh/año, equivalente al 6.2% del total del consumo nacional a si lo declara la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía mediante un estudio realizado en la CDMX. (Consumo de electricidad en la ciudad de México, CONUEE, 2019).

Por lo que, para ayudar a contribuir a reducir la dependencia energética en la CDMX, la SEDECO y la Jefa de Gobierno Claudia Sheinbaum de la misma entidad (2018-2024), lanzó una iniciativa para crear un área específica para el fomento en la sustentabilidad energética, con la ayuda del Banco Interamericano de Desarrollo a través de una cooperación técnica con la SENER, se presentó la estrategia de “CIUDAD SOLAR” a cargo del Dr. Alberto Valdés Palacios, que tiene los siguientes objetivos:

1. Reducción de gastos en el sector público.
2. Promover el uso eficiente de la energía y de fuentes renovables.
3. Reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero.

4. Aumento de la seguridad energética en los edificios gubernamentales y comerciales.
5. Crear certeza en otros sectores de la ciudad sobre las nuevas estrategias y modelos de negocio de sustentabilidad energética.
6. Potenciar el crecimiento económico del sector de las energías solares en la Ciudad de México.

Al dar inicio la estrategia de CIUDAD SOLAR se plantearon metas anuales estas son:

- Nixtamalización con energía solar en 2019. La meta principal es de 240 molinos de nixtamal anualmente.
- 400 negocios por año de los cuales son: Lavanderías y tintorerías, hoteles, pensiones y casas de huéspedes, salones, clínicas de belleza y peluquerías, cabañas, villas y similares, departamentos y casas amueblados con servicio de hotelería, parques acuáticos y balnearios del sector privado, baños públicos, entre otros.
- SFV en 8 edificios anualmente.
- SFV en 300 edificios del gobierno de la Ciudad de México.
- SFV para la central de abasto (25 MW) en el año 2020.
- SFV para el servicio de transporte eléctrico del tren ligero (4 MW).

Por lo que la capacidad instalada renovable por SFV a finales del 2020 asciende a 350 MW y se espera que se adicione anualmente un promedio de 58.3 MW que equivaldrían al 48% del consumo actual de energía eléctrica en la CDMX, como se observa en la imagen 3 por lo que esto ha tenido un gran impacto en las emisiones mitigadas acumuladas que abarcan del año 2019-2024 con un aproximado de 1,298,122 TCO₂. (Plan de estrategia de sustentabilidad energética, Ciudad Solar, 2019).

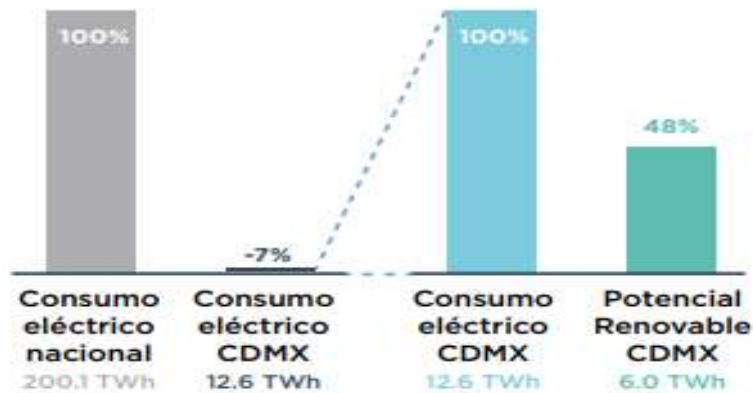


Imagen 3. Potencial renovable.
Fuente. GIZ.

1.8. Generación Distribuida (GD).

La generación distribuida (GD) hace mención a que un externo puede generar su propia electricidad y a su vez estar interconectado a la red de CFE mediante energías alternativas, la CRE público disposiciones para la interconexión, la GD se divide en:

1. Pequeña escala cuya capacidad instalada se encuentra entre 0 y 10 kW para uso residencial y hasta 30 kW para uso general en baja tensión, con tensión de interconexión menor a 1 kV.
2. Mediana escala cuya capacidad instalada es menor a 500 kW y la tensión de interconexión es menor a 35 kV.

La GD bruta es la capacidad máxima que da la suma de las potencias máximas unitarias de los módulos fotovoltaicos que configuran dicha instalación.

Una de las principales tecnologías empleadas en la GD son los MFV y los principales estados con capacidad de GD en el 2017 son: El Estado de México, Jalisco, Nuevo León, Sonora y Chihuahua, esto se puede ver en la imagen 4.



Imagen 4. Capacidad de GD por entidad federativa 2017.
Fuente SENER.

1.9. Marco regulatorio para GD.

El modelo de contrato de interconexión de la CRE pone a disposición las reglas generales para la interconexión al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) para generadores o permisionarios con fuentes de energías renovables o cogeneración eficiente menor a 0.5 MW por lo que se muestran a continuación los requisitos para realizar un contrato de interconexión.

- a) Llenar el formato de la solicitud para interconexión debidamente contestado DOF:15/12/2016.
- b) Croquis de ubicación geográfica de la central eléctrica (ubicación del suministro eléctrico del solicitante).
- c) Diagrama unifilar de la central eléctrica y, en su caso, centros de carga que compartirán el mismo punto de interconexión/conexión.
- d) Ficha técnica de la tecnología de generación utilizada.

- e) Ficha técnica y certificado del inversor de corriente o sistema de adecuación de corriente (si es el caso).
- f) Si cuentas con servicio de energía eléctrica suministrado a través de CFE Suministrador de Servicios Básicos, es necesario presentar una copia del último recibo del usuario final (al corriente en los pagos), cuyo centro de carga compartirá el mismo punto de interconexión/conexión que la central eléctrica. Caso contrario, deberás contar con el registro móvil de usuario (RMU) asignado en tu contrato de suministro.

Es importante conocer los tres modelos de contraprestación en la GD ya que establece cada uno de ellos los derechos y obligaciones del suministrador CFE y el generador (usuario) a cumplir este contrato se puede solicitar a CFE como contrato de interconexión de Resolución RES-142-2017, el cual contiene las disposiciones administrativas de carácter general, los modelos de contrato son los siguientes.

1. Medición neta Net Metering.

Aquí se genera la energía que consumes y el excedente se va guardando como saldo a favor en tu cuenta y si en un año no usas este saldo puedes solicitar un pago.

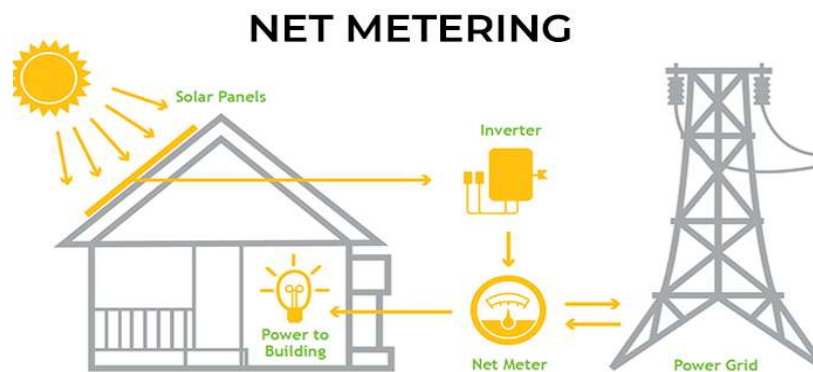


Imagen 5. Net Metering.
Fuente Cenace.

2. Facturación neta Net Billing.

Este modelo te permite vender tu excedente de energía a la red, tú compras la energía a la tarifa que la CFE determina y tu excedente lo vendes al precio marginal local (PML).

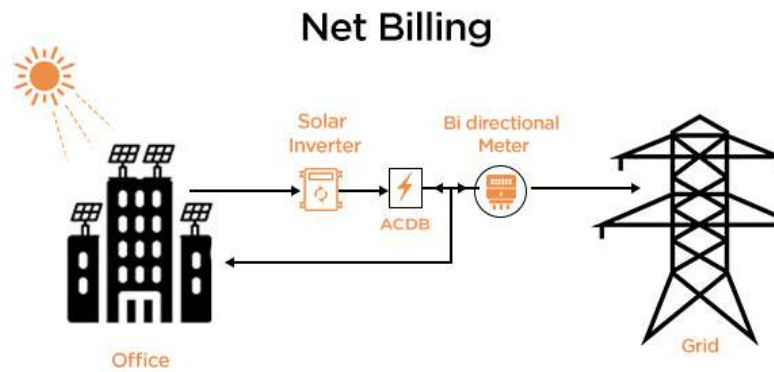


Imagen 6. Net Billing.
Fuente Cenace.

3. Venta total.

El cual te permite vender toda la energía que generas, inyectándola a la red de la CFE y siendo pagada al precio local.



Imagen 7. Venta total.
Fuente Cenace.

Capítulo II: Teoría de los sistemas fotovoltaicos

2.1. Efecto Fotoeléctrico en las celdas fotovoltaicas.

Se sabe que la luz emitida por el Sol se le denomina como radiación solar, está compuesta por fotones que tienen una energía determinada por la longitud de onda de la luz emitida, por lo que cuando un fotón entra en contacto con el material semiconductor tipo P por un lado, e impurezas tipo N por el otro lado, la atracción entre cargas positivas y negativas, los electrones libres de la región N más próximos a la región P se difunden en esta, produciéndose la recombinación con los huecos más próximos de dicha región, como se muestra en la 8, en la región N se crean iones positivos y en la región P se crean iones negativos esta distribución de cargas en la unión establece un campo eléctrico.

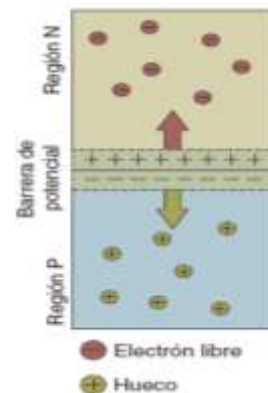


Imagen 8. Región N, P.
Fuente. Editex.

2.2. Sistema Fotovoltaico interconectado a la red.

Para este proyecto es de notable importancia estudiar un SFV-I, ya que presenta grandes ventajas a diferencia de los otros sistemas que son de tipo autónomo e híbrido, el factor más importante es el del precio de inversión, por lo que el periodo de recuperación (PR), será más rápido, viable y atractivo para la UACM, SLT.

Un SFV-I es un conjunto de equipos eléctricos que posteriormente se estarán analizando cada uno de ellos, este conjunto aprovecha la radiación solar y la convierten en electricidad, este continúa interactuando con la red eléctrica de CFE, con el fin de tomar la energía eléctrica necesaria cuando sea requerida o almacenarla en las líneas de distribución. Cabe mencionar que para poder implementar un SFV-I tenemos que tener en cuenta normas específicas, éstas son implementadas por diferentes organismos del sector energético los cuales son:

- SENER. Encargada de diseñar la política energética del país.
- CRE. Regula y otorgar permisos de generación eléctrica.
- CFE. Encargada de la generación, transmisión y distribución del suministro eléctrico y verificar que se cumplan las normas para GD.

2.3. Elementos de un Sistema Fotovoltaico interconectado a la red.

Modulo Fotovoltaico (MFV).

El principal elemento es el MFV, este elemento se caracteriza principalmente por estar constituido por un grupo de celdas de iguales características que trabajan mediante el denominado efecto fotoeléctrico, que están conectadas entre sí y pueden ser conectadas en paralelo o en serie con el fin de lograr incrementar el voltaje o la corriente que se generan entre ellas, el MFV cabe destacar que genera corriente de tipo directa (DC). Un MFV está armado con los siguientes elementos que muestra la imagen 9.

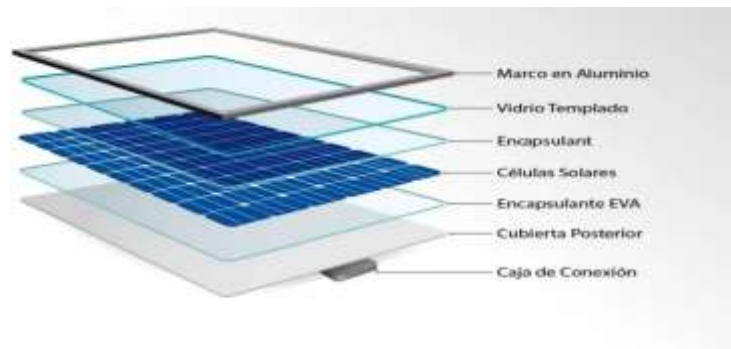


Imagen 9. Elementos de un MFV.
Fuente. Iter.

Los MFV deben cumplir ciertos estándares en su fabricación y funcionamiento, las normas más específicas son:

- IEC 61730. Evalúa los requerimientos de seguridad para un MFV.
- IEC 61215. Evalúa características de tipo mecánicas en MFV.
- UL17703. Esta es la norma de seguridad emitida por EUA para requerimientos de construcción, desempeño eléctrico y pruebas de seguridad y durabilidad.
- NMX-J-655/1-ANCE-2012 norma mexicana de desempeño y eficiencia en sistemas fotovoltaicos.

Inversor.

La parte más importante de un SFV-I. es el Inversor, en ocasiones es conocido como el cerebro del sistema por su gran importancia, este tiene varias funciones. Una de ellas y de las más relevantes es el de transformar el voltaje de entrada que es emitido por los MFV en CD a un voltaje simétrico en corriente alterna CA, ya que se sabe que actualmente toda la energía distribuida en la red de CFE y todos los aparatos electrónicos que utilizamos son de CA. Otras funciones importantes es el de monitorear, la cantidad de energía eléctrica generada por los MFV, la energía que es utilizada a través de la red eléctrica, el cual siempre estará protegiendo al sistema de picos de voltaje.

Los inversores deben cumplir el artículo 705 de la NOM-001- SEDE 2012 que nos brinda información acerca de la interconexión a CFE. Sobre requerimientos y la aprobación del equipo, es decir los equipos deben cumplir con la certificación NMX-J643-ANCE, la certificación UL-1741 que abarca la conversión de energía y sistemas de protección para inversores de GD, también deberán ser etiquetados por CFE en el sitio para el uso previsto del servicio de interconexión.

2.4 Medidor bidireccional.

El tercer elemento es el medidor de tipo bidireccional, este es indispensable en cualquier proyecto de SFV-I por que cumple la función de regular y calcular la cantidad de energía producida por los MFV y restarle la del consumo total de energía por el usuario. De este modo, si los MFV no están produciendo tanta energía requerida la CFE proveerá la energía demandada y por lo contrario mientras se produzca en exceso energía eléctrica esta se almacenará en la red de CFE y será descontada en la facturación o se podrá tomar posteriormente cuando haga falta.

El medidor bidireccional de CFE establece ciertas características y condiciones que deben satisfacer una de ellas es la NOM-001-CRE/SCFI-2019 o la que la sustituya las especificaciones CFE G0000-48, CFE G0100-05 Y CFE GWH00-09 con las siguientes especificaciones.

- Perfil de Carga de dos canales en 15 minutos.
- Contador de apagones.
- Técnicas de medición digitales.
- Medición bidireccional en 4 cuadrantes de kWh, kW.
- Pantalla LCD de hasta 6 dígitos.
- Cubierta de Policarbonato.

Para tener una mayor noción de estos elementos mencionados con anterioridad, veamos la siguiente imagen 10. Elementos de un SFV-I, el cual se logra observar de una manera gráfica cada uno de estos elementos señalando su lugar correspondiente de cada uno de ellos.

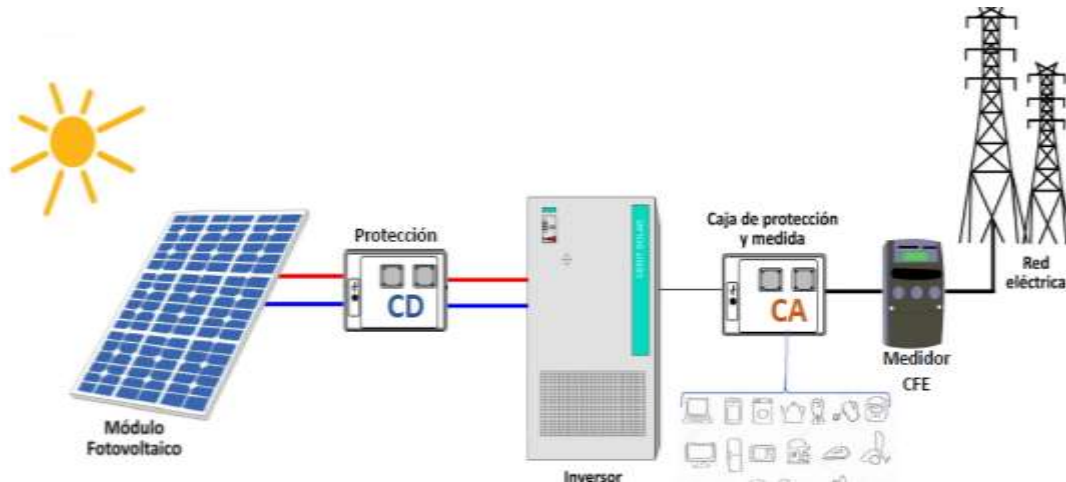


Imagen 10. Elementos de un SFV-I.

2.5 Elementos de seguridad en un SFV-I.

Existen elementos importantes que faltan por mencionar para hacer que el SFV-I cumpla con la NOM-001-SEDE-2012 que incluyan dispositivos que garanticen su funcionamiento de una forma segura bajo cualquier imprevisto.

Se analizarán las medidas de protección contra daños o deterioros provocados por:

- Sobretensiones.
- Corto Circuito.
- Sobre Carga.

En la siguiente imagen 11. Elementos de seguridad. Se muestra cómo van distribuidos cada uno de los elementos de seguridad, los cuales están enumerados para conocer su ubicación dentro del SFV-I.

1. Puesta a tierra: Permite proteger a las personas y a los equipos contra fallas de aislamiento, por lo que todas las partes metálicas del sistema que no forman parte de los circuitos eléctricos deben estar sólidamente conectadas

a tierra, estas se deben dimensionar de acuerdo con el Art.690-45 de la NOM-001-SEDE-2012.

2. Descargador Gaseoso: Sirve para proteger a los equipos de un sobre voltaje en el sistema de CD de un generador FV, el cual es generado por descargas atmosféricas (rayos).
3. Interruptores termomagnéticos.: Protege al SFV contra sobre corrientes.
4. Paro de emergencia: Este dispositivo es esencial para posibles fallas o cualquier implementación de mantenimiento.
- 5, 6. Son interruptores diferenciales los cuales cortan automáticamente el suministro eléctrico de la instalación en el momento en que se produce una fuga de intensidad.
- 7,8. Son interruptores termomagnéticos protección contra cortocircuito en CA.
9. Seleccionador: Permite al usuario elegir de que fuente será el suministro a usar.
10. Diodos: Estos son instalados en las cajas de conexión en los módulos fotovoltaicos y sirven para prevenir el consumo de energía cuando las células están sombreadas o dañadas.

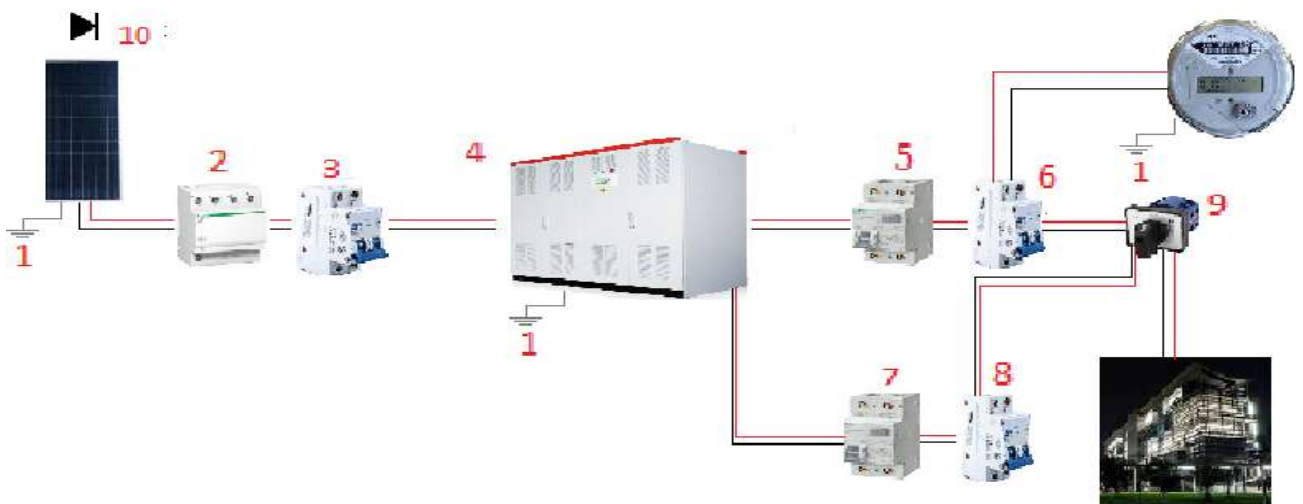


Imagen 11. Elementos de seguridad.

2.6 Distribución de módulos fotovoltaicos.

Por otra parte, es importante conocer los arreglos de los MFV que va a tener el SFV-I, ya sea en paralelo, serie o mixto, esto es para su óptimo funcionamiento por lo que enseguida se estará analizando más a profundidad.

Para esto debemos conocer que es un string fotovoltaico y un array.

- String esto es la asociación de MFV conectados en serie, cuando se realiza esta conexión la tensión del string fotovoltaico es el resultado de la suma de cada uno de los MFV mientras que la corriente es igual a la corriente del MFV de menor intensidad.

Esto quiere decir lo siguiente.

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_{\text{menor}}$$

- String esto es la asociación de MFV conectados en paralelo. Cuando se realiza esta conexión la corriente de los MFV es el resultado de las sumas de las intensidades de cada uno de ellos, mientras que la tensión es igual al voltaje del string de menor tensión.

Esto quiere decir lo siguiente.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$V_T = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_{\text{menor}}$$

Es muy importante tener en cuenta la siguiente imagen 12, para un análisis posterior.

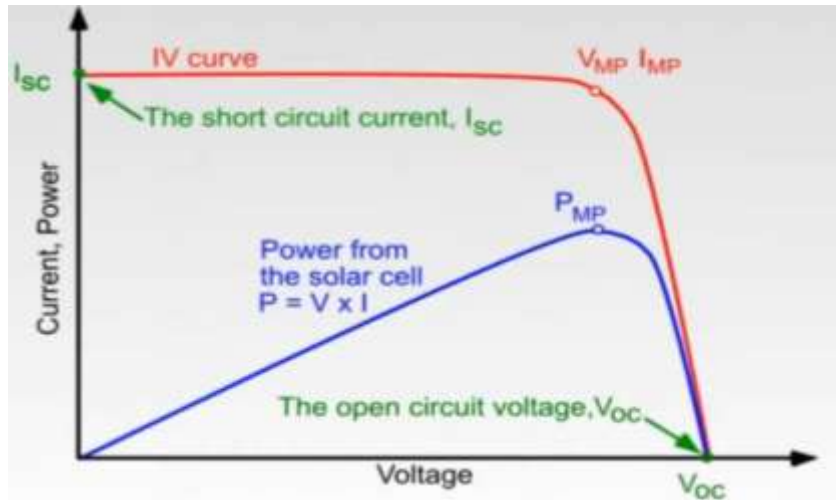


Imagen 12. Curva Característica.
Fuente. Energy Solar.

Los dos datos importantes a analizar de la imagen 2.6. Curva característica es para conocer el comportamiento del módulo a utilizar en operación. Los elementos de esta curva característica más importantes a analizar son los siguientes.

❖ Intensidad de cortocircuito (I_{sc}).

La intensidad de corto circuito del MFV se produce durante el corto periodo de tiempo en el que la resistencia del MFV es cercana a cero. Esto quiere decir la I_{sc} corresponde con su intensidad máxima y cuando esta se produce tal como se muestra en la imagen 12. La tensión del MFV se acerca a cero. Por lo que este valor será utilizado para definir el número máximo de módulos conectados en serie que puede soportar un inversor. Ya que uno de los parámetros del inversor solar es su intensidad máxima admisible y al no analizar dicho parámetro podría quemarse los elementos electrónicos del inversor, cabe recabar que este elemento es el más costoso y su pérdida puede ser lamentable.

❖ Tensión de circuito abierto (V_{oc}).

Un circuito se considera abierto cuando no hay corriente circulando por él MFV, en este momento, cuando la diferencia de tensión entre los polos del módulo es máxima y es otorgado un valor de tensión de circuito abierto, esto es muy común cuando el MFV está recibiendo radiación, pero no hay carga conectada, en cuanto se conecta la carga, la tensión del MFV disminuye, mientras aumenta la intensidad de salida, según la curva de funcionamiento.

❖ Factor de llenado (FF).

FF es un parámetro que en conjunto con V_{oc} e I_{sc} determina la potencia máxima de un MFV y esta se define como la relación de la potencia máxima del MFV, por lo general un valor bajo de FF está asociado con la existencia de pérdidas en la eficiencia de un MFV, por lo contrario, cuando está funcionando en óptimas condiciones los valores de FF son superiores a 0.70.

❖ Punto de máxima potencia P_m .

P_m es un punto de trabajo en el que la potencia entregada por el panel solar a la carga externa, es máxima. La potencia P entregada por el panel es: $P = I \times V$, que se ha representado también en la figura anterior

❖ Eficiencia η .

La η , se expresa habitualmente en porcentaje siendo la relación entre la potencia eléctrica entregada por un MFV y la potencia de la radiación que incide sobre él. Una eficiencia estándar estaría en torno de 15 a 16%, y un panel de alta eficiencia sería a partir de 19%.

Capitulo III. Dimensionamiento

3.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico en San Lorenzo Tezonco.

El siguiente SFV-I será realizado mediante un comparativo entre el estudio energético proporcionado por el Dr. Carlos Chávez Baeza, que lleva con el nombre Diagnostico Energético del Sistema de Iluminación en el mes de septiembre del año 2009 y a su vez haciendo una comparativa con el recibo emitido por CFE del año 2019 en el mes de septiembre.

Para llevar este SFV-I, se estará tomando como referencia la norma oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 para instalaciones eléctricas, el manual de interconexión para centrales de generación con capacidad menor a 0.5 MW mediante generación distribuida emitida por CFE.

3.2. Estudio de la zona donde se implementará el sistema fotovoltaico.

La zona para el SFV-I está ubicada en la calle Prolongación San Isidro No. 151, colonia San Lorenzo Tezonco, en la alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México. Con las siguientes coordenadas.

- Latitud: 19.4284706.
- Longitud: -99.1276627.



Imagen 13. UACM-SLT.
Fuente. Google Earth.

3.3. Estudio de irradiación de la zona.

La CDMX se encuentra en un punto estratégico para poder explotar la energía fotovoltaica, esto se debe a su localización respectivamente al ecuador. Por lo que el siguiente estudio de irradiación es tomado de la página de internet del sitio de la Nasa (POWER Data Access viewer) y haciendo el comparativo con los datos recabados del Laboratorio de Ciencia y Tecnología Sustentable LACYTES de la UACM. Este estudio nos ayuda a conocer las horas solar pico (H.S.P) que significan la unidad de medida de la irradiación solar en el lugar de estudio esto con la finalidad de poder realizar SFV-I-UACM-SLT.

La siguiente tabla 1. Horas solares pico, muestra las horas solares pico mensual, por lo que para el dimensionamiento utilizaremos el promedio de todas ellas.

Tabla 1. Horas solares pico.

Mes	H.S. P NASA POWER	H.S.P LACYTES
ENERO	5.00	
FEBRERO	5.77	
MARZO	6.6	
ABRIL	6.72	
MAYO	6.47	
JUNIO	5.28	
JULIO	5.26	5.6
AGOSTO	5.96	4.9
SEPTIEMBRE	5.02	6.4
OCTUBRE	4.63	5
NOVIEMBRE	4.68	5.3
DICIEMBRE	4.71	5.5
PROMEDIO	5.48	5.45

3.4. Elección de modulo fotovoltaico a utilizar.

1. El MFV seleccionado será de tipo monocristalino de la marca Trina Solar, modelo Vertex TSM-DE18M(II) de 500 W. (Anexo 2. Ficha técnica de modulo Vertex de 500 W).

Este módulo tiene bastantes ventajas en el mercado ya que es de tipo monocristalino, estos son más eficientes en la generación de electricidad por lo que son de mayor calidad y tienen menores pérdidas. Seleccionar el de 500 W ayudará a reducir el área que se utilizará, ya que con mayor potencia que tenga el MFV menor número de MFV se usaran, por lo que se podrá aprovechar el área restante para otros proyectos a futuro de la UACM-SLT.

Características principales del MFV Vertex TSM-DE18M(II).

- 500 W.

- Eficiencia del 21.1%.
- Tecnología MBB para mejorar la captación de radiación.
- Peso 26.3 Kg.

Para el SFV-I es importante conocer los parámetros de operación del MFV, por lo que en la siguiente tabla 2 Parámetros de operación MFV Vertex, se muestran.

Tabla 2. Parámetros de operación MFV Vertex.

Parámetros eléctricos	
Corriente de corto circuito I_{sc} (A)	12.28 A
Tensión en circuito abierto V_{oc} (V)	51.70 V
Corriente en máxima potencia i_{mp} (A)	11.69 A
Tensión en máxima potencia V_{mp} (V)	42.8 V

3.5. Datos de consumo por edificio.

En la siguiente tabla 3. Consumo del plantel SLT se muestra el consumo energético del mes de septiembre. El cual fue obtenido mediante el estudio realizado por el Dr. Carlos Chaves Baeza el consumo se asemeja en gran medida al mismo mes de septiembre del año 2019, consultado en el recibo emitido por CFE.

Tabla 3.1 Consumo del plantel SLT diagnóstico energético.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE LA CIUDAD DE MEXICO SLT.		
Edificios	Consumo de energía (kWh)	Superficie m ²
Edificio A	36,547	7,387.13
Edificio B	27,656	7,387.13
Edificio C	27,934	7,387.13
Edificio de profesores	23,154	952.41
Site	13,328	163.48
Total (mes)	128,617	
Total, anual en 2019	1,476,016	

--	--	--

Tabla 3.2. Consumo del plantel SLT recibo CFE.

Recibo emitido por CFE	
Periodo	Consumo total kWh
nov-18	114,984
dic-18	91,954
ene-19	97,367
feb-19	105,841
mar-19	119,118
abr-19	103,539
may-19	117,307
jun-19	112,758
jul-19	100,182
ago-19	123,498
sep-19	128,995
oct-19	134,351
nov-19	126,122
Total	1,476,016
promedio	123,001.33

3.6 Analizando GD al SFV-I-UACM-SLT

Considerando que la GD solo permite tener una capacidad instalada neta no mayor de 0.5 MW. Teniendo en cuenta esto; se muestra un comparativo entre el SFV-I al 100% y al 50% de su capacidad instalada (Ver tabla 4).

Tabla 4. Potencia instalada.

Edificio	Pot (Sistema) MW 100%	Potencia al 50%
A	0.278	0.139
B	0.210	0.105

C	0.212	0.106
Profesores	0.176	0.088
Site	0.101	0.050
Total	0.978	0.489

La capacidad instalada neta del SFV-I al 100%, es mayor que a la permitida por GD, no se podrá abastecer el consumo total de la UACM-SLT. Este trabajo de tesis se deberá ajustar a un máximo de consumo de 51.12% MWp, por lo que se debe satisfacer la siguiente condición 1.

$$\text{Potencia del sistema} < 0.5 \text{ MW.} \quad (\text{Condición 1})$$

3.7 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico en el edificio A.

Para el siguiente dimensionamiento del SFV-A, se tomará la información recabada anteriormente, por lo que en la siguiente tabla 5. Se muestra un análisis de los resultados obtenidos del dimensionamiento en el edificio A (SFV-A). Nota: En los edificios A, B, C se usará un factor de pérdidas del 1.25% sobre el consumo de dichos edificios, todo esto con el fin de garantizar los consumos altos que puedan realizarse en el transcurso del día.

Tabla 5. Resultados del SFV-A.

		SFV-A	
Consumo mensual al 50% CM	(CM al 100%) (0.50) =	18,273.50	kWh/mes
Consumo Promedio diario (CPD)	CM 50% = 30 días	18273.50 30	= 609.11 kWh/diarios
Pot (AFV)	CPD = H.S. P	609.11 5.48	=111.15 kWh/diarios
Aplicar un factor de pérdidas del 25%			

Pot (Fp)	(Pot(AFV) (1.25)	(111.14) (1.25)	= 138.92	kWh/diarios
Calcular la cantidad de MFV				
NMFV	Pot(Fp)	138.92	= 277.85	278 módulos
	Pot. Panel	0.5		
Calcular la superficie a ocupar (NMFV * L * A * Fdesombras)				
Superficie Afectada	(b)(a) (F. Sombras)	278*2.178*1.098*1.20	= 797.8	m ²
Potencia del sistema				
Pot (Sistema)	(Núm. Módulos) (Pot. Modulo)	(278) (500W)	= 139	kW
Potencia del inversor				
Pot (Inv)	(Pot(sistema)) (F. Seguridad)		= 139	kW

Elección del inversor.

El inversor es seleccionado en base a la potencia del sistema, por lo que se usará un comercial de 150 kW, de la marca SMA, modelo SUNNY HIGHPOWER PEAK3 150-20 (ficha técnica anexo 3). Para realizar el mejor reacondicionamiento de módulos fotovoltaicos tanto en serie como en paralelo, se tomarán los datos siguientes para realizar las cadenas (Ver tabla 6).

Tabla 6. Características de inversor SMA.

SUNNY HIGPOWER150		Modulo FV. VERTEX
Tensión Max	1500 V	Voc 51.70 V
Corriente continua Max.	180 A	Isc 12.28 A
No. De entradas CC	1	

Recordando la importancia de la Imagen 12. Curva característica y los términos I_{sc} Y V_{oc} , se procederá a calcular las cadenas de MFV por lo que, analizando el inversor, se obtiene el rango máximo en operación.

Tabla 7. Soporte de inversor.

Soporte de inversor	
Calcular cuántos módulos en serie soporta el inversor	
Max. serie	$\frac{1500 \text{ V}}{51.7 \text{ V}}$ 12 MFV en serie
Calcular cuántos módulos en paralelo soporta el inversor	
Max paralelo	$\frac{180 \text{ A}}{12.28 \text{ A}}$ 14 MFV en paralelo

Al solo tener un puerto se hará un AFV con 20 MFV en serie y 14 MFV en paralelo, tendremos que agregar dos módulos extras para evitar calentamientos y pérdidas ya que las cadenas deben ser homogéneas y de no ser así el sistema reduciría su vida media (ver tabla 8).

Tabla 8. Arreglo fotovoltaico edificio A.

Arreglo fotovoltaico en serie y paralelo	
Puerto 1	(20 serie) (14 Paralelo) 280 Módulos

El inversor seleccionado se presenta en la siguiente imagen 14. Inversor SMA modelo SUNNY HIGHPOWER PEAK3 150.



Imagen 14. Inversor SMA.
Fuente. SMA.

3.8 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico en el edificio B.

En la tabla 9. Se muestran los resultados obtenidos del dimensionamiento en el edificio B (SFV-B).

Tabla 9. Resultados del SFV-B.

SFV-B		
Consumo mensual	13828	kWh
Consumo promedio diario	460.93	kWh
Numero de módulos	210	Módulos
Superficie a utilizar	602.90	m ²
Potencia del sistema	105	kW
Potencia del inversor	105	kW

Elección del inversor.

El inversor para el edificio B y C, se usará uno de 105 kW de la marca Huawei modelo SUN2000-105KTL-H1, este inversor fue seleccionado en una comparación con 5 inversores en el mercado, ya que cumple con excelentes rangos de recomendación por sus estándares en su fabricación y funcionamiento a demás que por sus puertos permite varias cadenas de arreglos evitando perdidas y calentamientos.

Para realizar el mejor reacomodo de MFV tanto en serie como en paralelo se tomarán los datos siguientes para realizar las cadenas de MFV (Ver tabla 10).

Tabla 10. Características de inversor SUN2000-105KTL-H1.

SUN-2000-105KTL-H1		Modulo FV. VERTEX
Tensión Max	1500 V	51.7 V
Corriente continua Max.	25 A	12.28 A
No. De entradas CC	12 MPP	

Analizando el inversor se obtiene el rango máximo en operación, al solo tener un puerto se hará un AFV con 5 cadenas de 21 en serie y 2 en paralelo (ver tabla 11).

Tabla 11. Resultados del AFV-B.

AFV-B		
Serie	21	Módulos
Paralelo	2	Módulos
MPP 1,2,3,4,5.	42	Por 5 MPP = 210 Módulos

El inversor seleccionado se presenta en la siguiente imagen 15. Inversor SUN2000-105KTL-H1 (Ficha técnica anexo 4).



Imagen 15. Inversor SUN2000-105KTL-H1.
Fuente. Huawei.

3.9 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico en el edificio C.

En la tabla 12. Se muestran los resultados obtenidos del dimensionamiento en el edificio C (SFV-C).

Tabla 12. Resultados del SFV-C.

SFV-C		
Consumo mensual	13967	kWh
Consumo promedio diario	465.56	kWh
Numero de módulos	213	Módulos
Superficie a utilizar	610.69	m ²
Potencia del sistema	106.50	kW
Potencia del inversor	106.50	kW

Utilizando tabla 13. Características de inversor SUN2000-115KTL-M2, analizamos las condiciones de operación para el AFV-C.

Tabla 13. Características de inversor SUN2000-115KTL-H1.

SUN-2000-115KTL-M2		Modulo FV. VERTEX
Tensión Max	1100 V	51.7 V
Corriente continua Max.	30 A	12.28 A
No. De entradas CC	12 MPP	

El arreglo constará de 9 cadenas con 12 módulos en serie y 2 en paralelo ya que esto nos permite las características técnicas del inversor por tener 12 MPP, se tendrá que agregar 3 módulos extra para evitar calentamientos y pérdidas (Ver tabla 14).

Tabla 14. Resultados del AFV-C.

AFV-C		
MFV en serie	12	Módulos
MFV en paralelo	2	Módulos
MPP 1-9	24	Por 9 MPP = 216 Módulos.

3.10 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico en el edificio de profesores.

En la tabla 15. Se muestran los resultados obtenidos del dimensionamiento en el edificio de profesores (SFV-profesores). Nota: Para no sobrepasarnos en excedentes sobre la capacidad instalada se sobredimensionará por el 1.20% sobre el factor de pérdidas solo en los edificios de profesores y en el site, ya que son los edificios que menos consumo tienen.

Tabla 15. Resultados del SFV-profesores.

SFV-Profesores	
Consumo mensual	11577 kWh

Consumo promedio diario	385.9 kWh
Numero de módulos	170 Módulos
Superficie a utilizar	486.6 m ²
Potencia del sistema	85 kW
Potencia del inversor	85 kW

Elección del inversor.

El inversor en base a la potencia del sistema sería comercialmente de 100 kW, de la marca inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1, Para realizar el mejor reacomodo de MFV tanto en serie como en paralelo se tomarán los datos siguientes para realizar las cadenas de módulos (Ver tabla 16).

Tabla 16. Características de inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1.

SUN2000-100KTL-M1		Modulo FV. VERTEX
Tensión Max	1,100 V	51.7 V
Corriente continua Max.	26 A	12.28 A
No. De entradas CC	10	

Analizando el inversor se obtiene el rango máximo en operación, por lo que se harán 5 cadenas de 17 en serie y 2 en paralelo (Ver tabla 17).

Tabla 17. Resultados del AFV-Profesores.

AFV-Profesores.		
MFV en serie	17	Módulos
MFV en paralelo	2	Módulos
MPP 1-5	34	Por 5 MPP = 170 Módulos

El inversor seleccionado se presenta en la siguiente imagen 16. Inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1 (Ficha técnica anexo 5).



Imagen 16. Inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1.
Fuente. Huawei.

3.11 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico en el site.

En la tabla 18. Se muestran los resultados obtenidos del dimensionamiento en el Site.

Tabla 18. Resultados del SFV-Site.

SFV-Site		
Consumo mensual	6664	kWh
Consumo promedio diario	222.13	kWh
Numero de módulos	98	Módulos
Superficie a utilizar	279.54	m ²
Potencia del sistema	49	kW
Potencia del inversor	49	kW

Elección del inversor.

El inversor en base a la potencia del sistema seria comercialmente de 50 kW, de la marca Inversor Growatt 50 Kw (Ver tabla 19).

Tabla 19. Características de inversor Growatt 50 kW.

Growatt 50 kW		Modulo FV. VERTEX
Tensión Max	600 V	57.7 V
Corriente continua Max.	40 A	12.28 A
No. De entradas CC	8	

Analizando el inversor se obtiene el rango máximo en operación, se ocuparán 7 MPPT, cada uno con la configuración de 7 en serie y 2 en paralelo.

Tabla 20. Resultados del AFV-Site.

AFV-Site.	
MFV en serie	7 Módulos
MFV en paralelo	2 Módulos
MPP 1-7	14 Por 7 MPP = 98 Módulos

El inversor seleccionado se presenta en la siguiente imagen 17. Inversor Growatt 50 kW MAX50KTL3-XL2 (Ficha tecnica anexo 6).



Imagen 17. Inversor Growatt 50 kW.
Fuente. Growatt.

3.12. Orientación de los edificios de la UACM-SLT.

Durante el diseño del SFV-I es fundamental elegir la mejor orientación para poder aprovechar la mayor posible radiación solar y así poder tener la máxima producción de energía posible. La mejor orientación de las construcciones es sin duda alguna la que está en dirección al azimut, la cual es la inclinación de norte o sur, para saber la inclinación correcta tomaremos como referencia la tabla 21. Orientación óptima.

Tabla 21. Orientación óptima.

Latitud	Hemisferio
+	Norte
-	Sur
latitud de la zona	Angulo de inclinación
0° a 15°	15° (El mínimo)
15° a 25°	latitud de la zona
25° a 30°	latitud + 5°
30° a 35°	latitud + 10°
35° a 40°	latitud + 15°
> 40 °	latitud + 20°

Los edificios A, B, C son exactamente iguales, el techado tiene las características particulares de dos pendientes invertidas, el lado sur con una elevación de 4° y hacia el lado norte con elevación 15°, estos edificios caben señalar que en el lado más alto cuentan con 22 metros de altura se puede observar en las vistas de edificios A, B, C imagen 18.

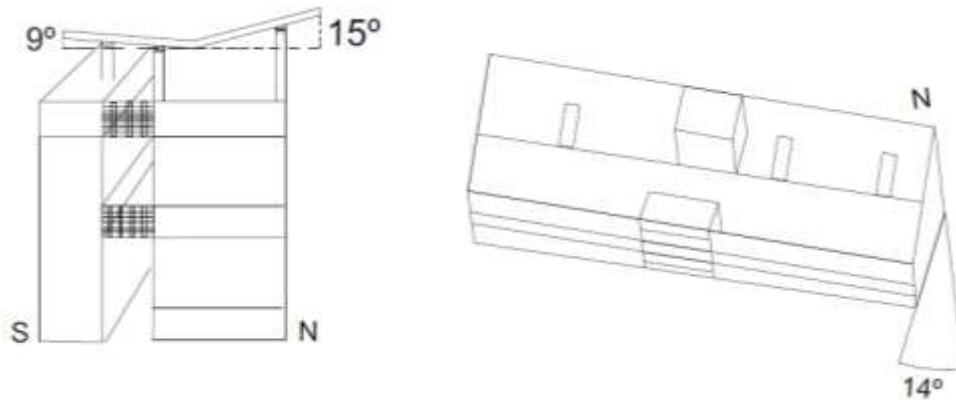


Imagen 18. Vistas de los edificios A, B, C.

El edificio de profesores también conocido con las letras D y E, cuenta con una construcción en horizontal con respecto al azimut de -60° , como se puede observar en la siguiente imagen 19. Edificio de profesores.

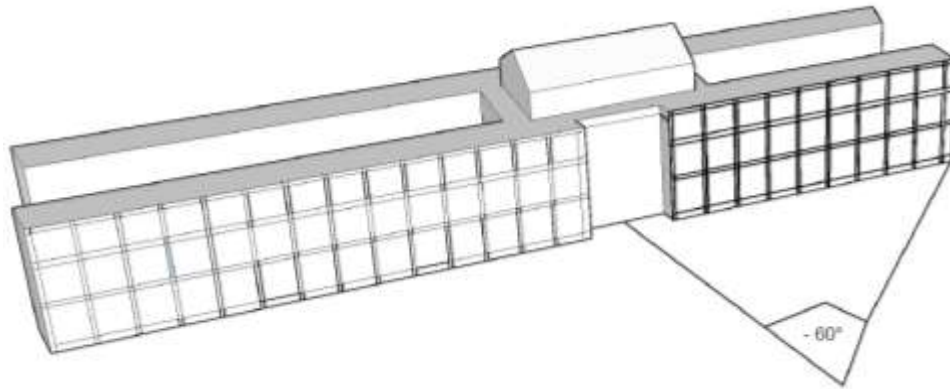


Imagen 19. Edificio de profesores.

El Site es el edificio donde se encuentra el centro de telecomunicaciones de la UACM-SLT, esta es una construcción en horizontal con respecto al azimut de -80° , como se puede observar en la siguiente imagen 20. Site.

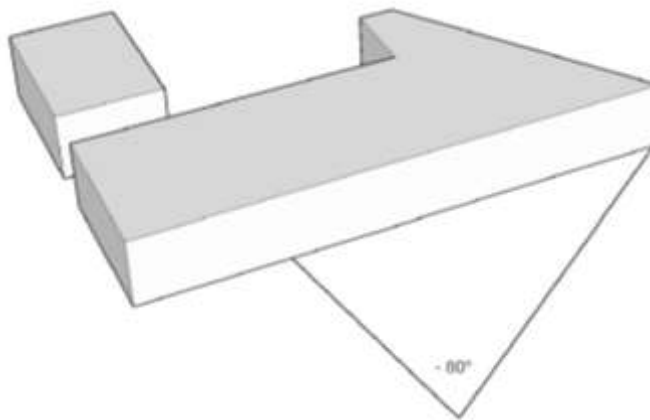


Imagen 20. Site.

3.13 Análisis de sombras.

Es importante conocer si los edificios donde se implementara el SFV-I tienen alguna sombra con el fin de evitar calentamientos al sistema, la siguiente imagen 21. Análisis de sombras en el plantel, se puede observar que a las 6.30 P.M cuando

la sombra tiene la mayor área de cobertura no representa ningún obstáculo para el SFV-I. Se conoce que los edificios A, B, C, Tienen una altura de 22 m, en la esquina más alta, el edificio de profesores cuenta con una altura de 11 m, es decir la mitad de los otros edificios y el edificio del Site cuenta con una altura máxima de 2.50 m.

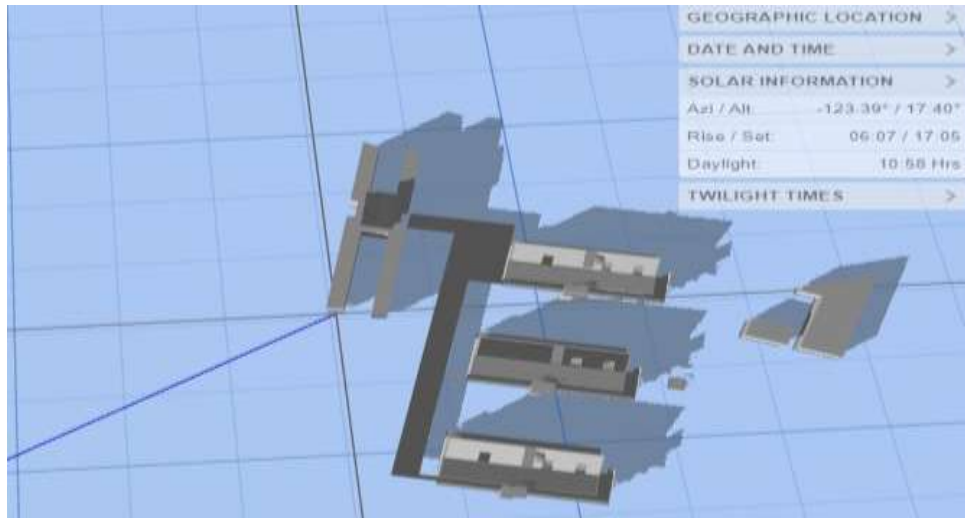


Imagen 21. Análisis de sombras en el plantel.

3.14. Orientación de los MFV.

La orientación de los MFV en los edificios A, B y C, se plantea que sea en la misma dirección que el edificio, guiándonos por la tabla 21. Orientación óptima, México se encuentra en el hemisferio norte por lo que entonces los MFV se deberán orientar hacia el sur con una inclinación de 19° , esto ayuda bastante para aprovechar tanto el largo como el ancho del techo, siendo esto lo más viable logrando optimizar el área que será utilizada, sabiendo que el techo de los edificios tiene pendientes invertidas como se muestra en la imagen 22. Se observa que el lado norte tiene una inclinación de 15° viendo hacia el sur, por lo que usaremos una estructura inclinada en horizontal, con una elevación de 4° , y para el lado norte, que cuenta con una inclinación de -9° la inclinación estará compuesta de tal manera que el ángulo de la estructura final sea de 19° , como se puede observar en la imagen 22 la colocación de estructura en A, B, C.

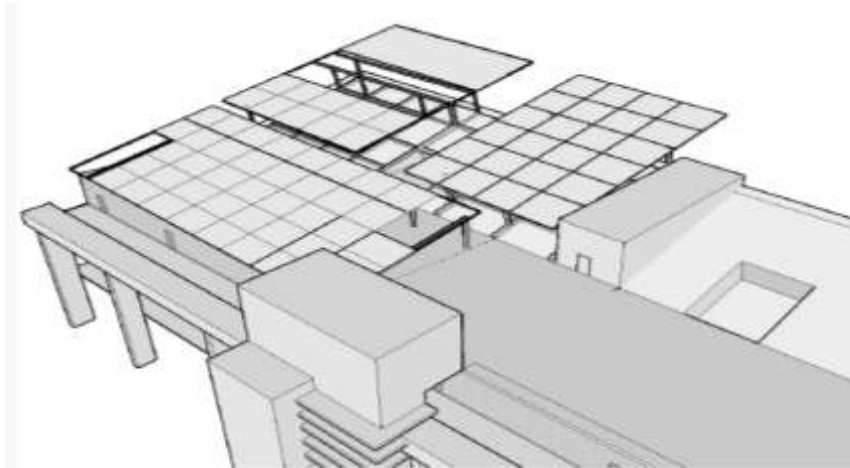


Imagen 22. Colocación de MFV en edificios A, B, C.

La estructura para el montaje de los MFV debe cumplir con la certificación ANSI/UL 2703 denominada sistemas de montaje, apriete y retención en módulos fotovoltaicos, la cual declara que los perfiles para los sistemas de montaje deben ser de aluminio anodizado y se debe usar tornillería de acero inoxidable, todo esto con el fin de resistir la corrosión y cumpla la vida útil similar o mayor a la de los MFV, por lo que estaremos utilizando una estructura 6061-T6 con tornillería de acero inoxidable, teniendo una resistencia al viento de 177 km/h, teniendo en cuenta que la velocidad más alta es de aproximadamente 30 km/h.



Imagen 23. Velocidad del viento.

La orientación de los MFV en el edificio de profesores estará orientada hacia el sur para no perder potencia, respetando los tragaluces a lo largo de este edificio.

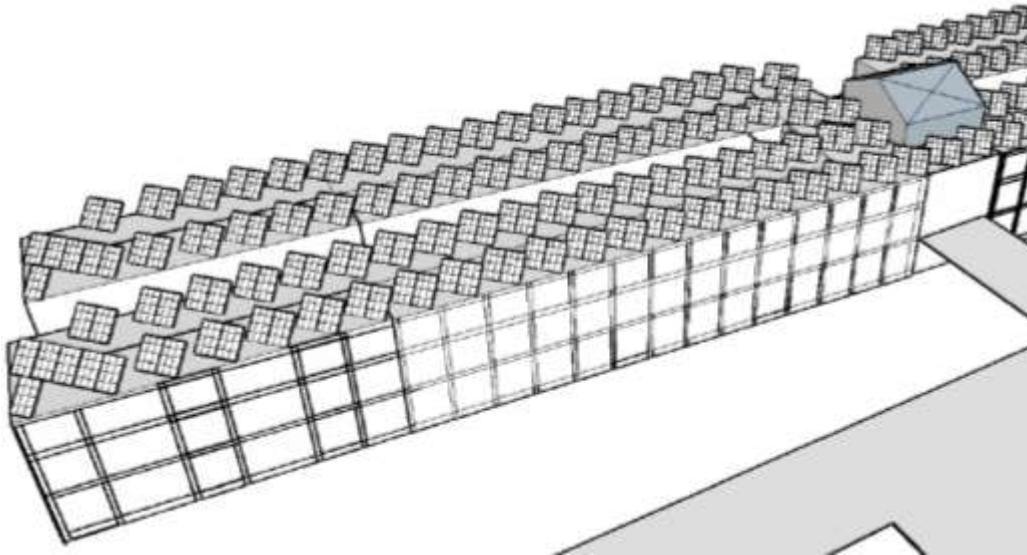


Imagen 24. Colocación de MFV en el edificio-profesores.

Orientación de los MFV en el Site, la construcción cuenta con 163 m², por lo que se requiere un área de 280 m² por lo que se tendrá que ocupar de la subestación que se encuentra aún costado 120 m² como se observa en la imagen 25. colocación de MFV en el Site.

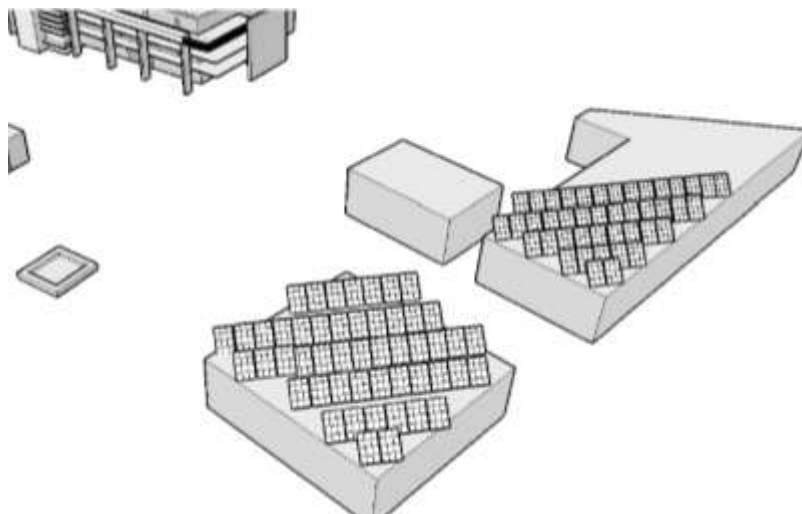


Imagen 25. Colocación de MFV en el Site.

Capítulo 4. Análisis de resultados

4.1 Resultados del SFV-I.

En la siguiente tabla 22. Se expone los resultados obtenidos del SFV-I del plantel UACM-SLT.

Tabla 22. Resultados obtenidos del SFV-I.

Edificio	No. De módulos	Superficie m ²	kW
A	280	803.52	140
B	210	602.64	105
C	216	619.86	108
Profesores	170	487.85	85
Site	98	281.23	49
Total	974	2795.1	487

4.2. Aplicando GD al SFV-I.

Con base al dimensionamiento del SFV-I en el plantel UACM-SLT, se tiene que satisfacer la condición 1 del punto 3.6, donde solo se puede abastecer el 51.9% del consumo del plantel.

Tabla 23. MW del plantel.

Edificio	MW
A	0.140
B	0.105
C	0.108
Profesores	0.085
Suite	0.049
Total	0.487

Potencia del sistema > 0.5 MW.

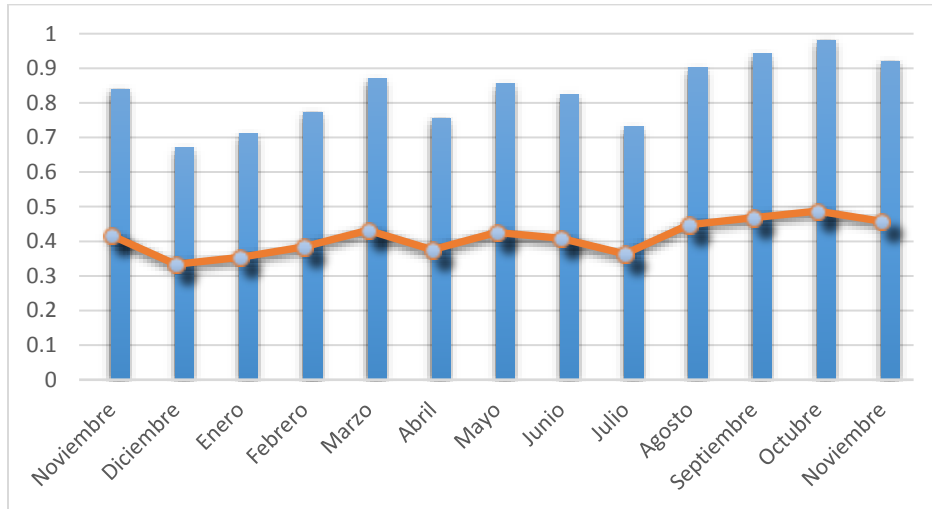
Se puede observar que se cumple la condición

Por lo que se estará abasteciendo el 50%

del consumo del plantel.

4.3. Generación anual del SFV-I.

En la gráfica 1. Se presenta el comportamiento de la generación de energía eléctrica del SFV-I en anaranjado por cada mes del año, por lo que se puede observar que está por debajo del límite de los 0.5 MW de GD. Por lo que se está cumpliendo los objetivos.



Grafica 1. Excedentes para el SFV.

4.4. Costo beneficio.

Un aporte relevante de este trabajo de tesis es el de conocer el benéfico económico que trae este SFV-I para la UACM-SLT, por lo que se realizó un estudio de mercado realizando 4 cotizaciones para los elementos que componen el sistema, se consideró un IVA de 16%, y un margen de instalación del 10%. Por lo que en la tabla 24. Se presenta la cotización más conveniente, ya que presenta mayor calidad en los elementos de fabricación por ende su vida media es más alta a comparación de otros materiales.

Tabla 24. Cotización del SFV-I.

Producto	Unidad	PRECIO	total
Modulo	Vertex	974 \$ 4,232.42	\$ 4,122,377.08
Inversor	a	1 \$ 128,316.00	\$ 128,316.00
	b	1 \$ 121,720.00	\$ 121,720.00
	c	1 \$ 127,248.72	\$ 127,248.72
	profesores	1 \$ 110,656.00	\$ 110,656.00
	suite	1 \$ 63,388.00	\$ 63,388.00
Estructura	4 U	\$ 4,150.00	\$ 1,800,000.00
Cableado			\$ 1,109,913.40
Elementos sec			\$ 2,000,000.00
Total			\$ 9,583,619.20
IVA	16%		\$ 11,116,998.27
Mano de obra	10%		\$ 12,228,698.10
Total			\$ 12,228,698.10

Para determinar el beneficio económico primero se realizó un análisis en materia energética el cual se calculó los costos energéticos de la UACM-SLT, cabe señalar que este plantel se encuentra en tarifa GDMTH, el cual consiste en que el costo por kWh consumidos varía dependiendo al horario del día y cambia dependiendo el mes del año.

Para este estudio se hizo mediante una estimación mensual del mes de noviembre del año 2019 con 126,122 kWh de consumo facturado por CFE y noviembre del año 2020. Por lo que la siguiente tabla 25.1. Muestra los resultados del estudio energético.

Tabla 25.1. Resultados del estudio energético parte 1.

Consumo		Nov-19	Nov-2020			
GDMTH	kWh	Año anterior	Año actual	Diferencia absoluta	Gasto año anterior	Gasto actual

Básico	37,056	\$0.9745	\$0.9933	\$0.0188	\$36,111.07	\$36,807.72
Intermedio	71,050	\$0.5992	\$1.6313	\$0.0321	\$113,623.16	\$115,903.87
Punta	18,016	\$1.8681	\$1.9059	\$0.0378	\$33,655.69	\$34,336.69
Total	126,122				\$183,398.92	\$187,048.28

Tabla 25.2. Resultados del estudio energético parte 2.

GDMTH	Incremento	Bimestre	Meta SFV-I	Ahorro	Ahorro anual
Básico	\$696.65	\$72,918.80			
Intermedio	\$2,280.71	\$229,527.03			
Punta	\$681.00	\$67,992.38			
Total	\$3,658.36	\$370,438.21	\$184,441.18	\$185,997.02	\$1,115,982.14

Por esta razón se puede observar el precio por kWh en los tres horarios va aumentando mes a mes, por lo que este trabajo de tesis está demostrando un ahorro aproximado de \$ 1,115,982.14 MXN, anual en la facturación eléctrica por lo visto periodo de recuperación de la inversión será en 11 años.

Tabla 26. Periodo de recuperación.

Periodo de recuperación	
Costo de inversión	12,228,698.10
Años de recuperación	11.0

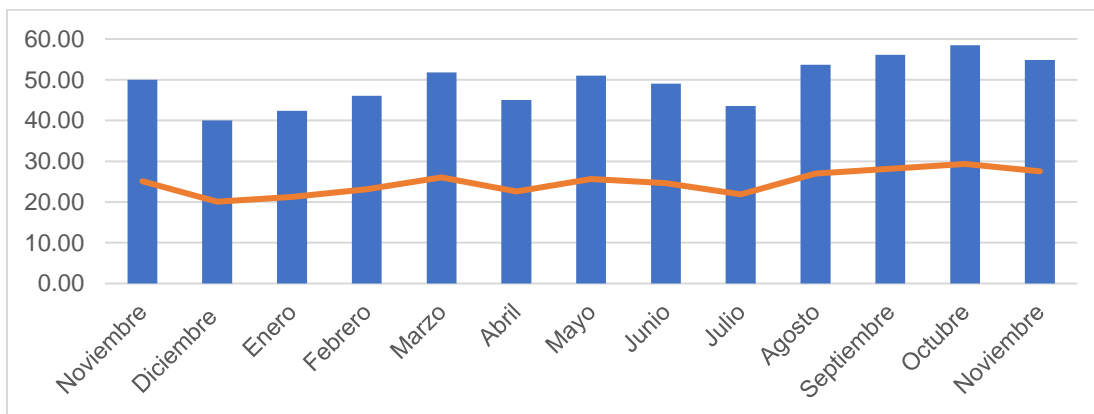
4.5. Medio ambiente.

Cabe mencionar que los beneficios ambientales es otro objetivo planteado en este trabajo de tesis, para calcular las toneladas de CO₂ por kWh, se utiliza el factor de emisión de 2022, de acuerdo con la CRE es de 0.435 kg de CO₂/kWh generados.

Tabla 27. Emisiones de CO₂.

Mes	kWh	Ton deCO ₂	Ton. No generadas
Noviembre	114,984	50.02	25.11
Diciembre	91,954	40.00	20.08
Enero	97,367	42.35	21.27
Febrero	105,841	46.04	23.12
Marzo	119,118	51.82	26.02
Abril	103,539	45.04	22.61
Mayo	117,307	51.03	25.62
Junio	112,758	49.05	24.63
Julio	100,182	43.58	21.88
Agosto	123,498	53.72	26.97
Septiembre	128,995	56.11	28.17
Octubre	134,351	58.44	29.34
Noviembre	126,122	54.86	27.55
Total	1,476,016	642.07	322.38

Actualmente para abastecer la UACM-SLT se generan 642 toneladas de CO₂ anualmente, por lo que el SFV-I evitará 322 toneladas de CO₂ al año.



Grafica 2. Ton de CO₂.

Conclusiones

Este trabajo de tesis tuvo como objetivo abordar la problemática energética de la UACM-SLT con el fin de reducir costos en la facturación eléctrica del plantel así mismo la principal aportación es un dimensionamiento fotovoltaico en base a la norma oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 para instalaciones eléctricas, el manual de interconexión para centrales de generación con capacidad menor a 0.5 MW mediante generación distribuida emitida por CFE. El SFV-I se realizó al 50% del consumo total, para ello fue indispensable identificar la zona donde se ubica el plantel SLT, para conocer las horas promedio solar pico de 5.48 HSP, la orientación de los MFV estará orientados al sur con una inclinación de 19° por lo que en la siguiente imagen se puede observar la trayectoria solar la orientación de los MFV (Ver imagen 26).



Imagen 26. Trayectoria solar del SFV-I.

En cuanto al dimensionamiento se realizaron los cálculos acordes para determinar el número de MFV a utilizar, el área que se asignara para este proyecto, la visualización del proyecto mediante un diseño en Sketchup, todos los elementos

que compondrán el SFV-I se escogieron mediante 3 a 5 cotizaciones por elemento y a si considerando la mejor oferta en el mercado en México con la mejor relación calidad precio.

La implementación de este SFV-I cubrirá el 50% del consumo de la UACM-SLT con una capacidad instalada de 0.487 MWp justo por debajo de G.D, esto se debe a que se utilizaran.

- El MFV seleccionado es de la marca trina solar modelo Vertex TSM-DE18M (II) monocristalinos, estos se escogieron por que cuentan con muy buena popularidad de relación precio en el mercado eléctrico, tienen una eficiencia de 21.4%.
- Los inversores seleccionados son de la marca Huawei y Growatt ya que estos cuentan con la nueva tecnología inteligente de desconexión individual entre los MPPT, esto ayuda a que no halla sobrecalentamientos, y al realizar un mantenimiento posterior se desconecte un MPPT y aun este en marcha el SFV-I con los MPPT conectados.

Los elementos principales de este dimensionamiento cumplen con la normatividad y los estándares requeridos para la interconexión ante CFE. A continuación, se presenta una tabla con el resumen del SFV-I en la UACM-SLT con el fin de comparar los beneficios obtenidos que traerá consigo este SFV.

Tabla 28 Resumen del SFV-I.

Resumen	
Paneles	974 U
Capacidad instalada	0.487 MWp
Inversión	\$ 12,228,698.10
Ahorro anual	\$ 1,115,982.14
Retorno de inversión	11 años
Utilidad año 25	\$ 15,072,046.24
CO ₂ Evitado	322 Ton por año.

Por lo que este SFV tendrá una inversión total de \$ 12,228,698.10 MXN, por ende, constará de 974 MFV distribuidos en cada uno de los edificios correspondientes y un inversor inteligente por edificación, este sistema estará ahorrando un total de \$ 1,115,982.14 MXN, al año por concepto de pagos en la facturación eléctrica de CFE.

La ventaja de este SFV es el retorno de la inversión que tiene como lapso 11 años y que cuenta con un margen de ganancia de \$ 15,072,046.24 MXN en los próximos 14 años, ya que esto se debe que la vida útil de los MFV es de 25 años y la de los inversores seleccionados es de 15 años por lo que el sistema en los primeros 15 años se tendrán que renovar los inversores.

Tabla 29. Reposición de inversores

Reemplazo de inversores	
Años	Costo
15	\$ 128,316.00
15	\$ 121,720.00
15	\$ 127,248.72
15	\$ 110,656.00
15	\$ 63,388.00
Total	\$ 551,328.72

Este sistema traerá consigo una ayuda ambiental, ya que se estará evitando 322 toneladas al año de CO₂ al medio ambiente esta reducción se dará posteriormente de los 2 años de la instalación del SFV-I debido a que la huella ecológica de la fabricación de los elementos de este SFV-I se cumpla. Por este motivo se muestra que es una excelente opción y manifiesta que si se pusiera en práctica a nivel mundial el uso de esta energía renovable se podría evitar el gran problema del cambio climático.

Bibliografía.

- *Nuevo Contrato*. (s/f). Cfe.mx. Recuperado el 25 de enero de 2024, de https://www.cfe.mx/hogar/nuevocontrato/pages/contratacion_interconexion_hogar.aspx.
- Beckwith Electric 2005 Protection Seminar “Generator Protection” Book 2 Volume 1. Avenue North – Largo, Florida 33773.
- McGraw Hill España. (s/f). Mheducation.es. Recuperado el 25 de enero de 2024, de <http://www.mheducation.es>.
- Antonio Luque and Steven Hegedus, E. (2011). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. 2nd Edition. USA: John Wiley & Sons Ltd.
- Gray, J. L. (2003). The Physics of the Solar Cell. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, 61-112.
- Brandon O. 2014 General Electric “The Rise of Distributed Power” magazine.
- Lorenzo, E. et. al. *Electricidad solar. Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos*, Sevilla, Ed. Progensa, 1994.
- Morán, N. V. (11 de marzo de 2002). Integración de Sistemas-sección 1bc. *Archivo PDF*. Tijuana, Baja California, México.
- Reported IEA–PVPS T1–10:2001. *Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries*, September 2001.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (2015) Panorama Sociodemográfico. Encuesta Intercensal 2015. www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/encuestas/hogares/especiales/ei2015. Febrero 2016.
- (S/f). Edu.com. Recuperado el 25 de enero de 2024, de <http://repositorio.utp.edu.com>.
- CORE – Aggregating the world’s open access research papers. (s/f). Core.ac.uk. Recuperado el 25 de enero de 2024, de <http://core.ac.uk>.
- Secretaría de Desarrollo Social del Distrito Federal SDS DF (2013a) Diagnóstico del Programa de Coinversión para el Desarrollo Social del Distrito Federal Gestión 2012. www.sds.df.gob.mx/pdf/2013/programas. Septiembre 2014.

- Secretaría de Desarrollo Social del Distrito Federal SDS DF (2014a) Evaluación Interna del Programa de Atención Social a Familias que Habitan en Vecindades y Viviendas Precarias referencias 166 en el Distrito Federal 2013. [En línea] www.sds.df.gob.mx/pdf/2013/programas. Sep./2014.
- Secretaría de Desarrollo Social SEDESOL (2014a) Guía de programas sociales. www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Transparencia/DocumentosOficiales/. Jul/2014.
- Secretaría de Energía - Deutsche Gesellschaft für International Zusammenarbeit SENER-GIZ (2012) Programa de Fomento de Sistemas Fotovoltaicos en México. www.giz.de. Ene/2014.
- Secretaría de Energía SENER (2012) Sexto Informe de Labores. www.sener.gob.mx. Jul/2014.
- Secretaría de Energía SENER (2013b) Primer informe de Labores 2012-2013. www.sener.gob.mx. Jul/2014.
- Secretaría de Energía SENER (2014b) Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018. www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=2613. Jun/2014.
- Sistema de Información Energética de la Secretaría de Herejía SIE-SENER (2015) Balance Nacional de Energía: Indicadores económicos y energéticos. <http://sie.energia.gob.mx>. Feb/2016.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) “Aplicación en México de las tecnologías de generación distribuida” Recuperado el 11 de enero del 215 http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/aplicacion_en_mexico_de_las_tecnologias_de_generac.
- Hom, H. (2001). Solar radiation model. *applied energy*, (pags16-32).
- Maza, M. A. (2012). Energía Solar Fotovoltaica. En M. A. Maza, *Energía Solar Fotovoltaica* (págs. 16-17). LIMUSA.
- Messenger Roger A, V. J. (2003). *Photovoltaic Systems Engineering*. En V. J. Messenger Roger A, *Photovoltaic Systems Engineering* (pág. 480). CRC Press.
- Pérez, V. R. (2003). Radiación Solar. En V. R. Pérez, *Radiación Solar*.
- SEMARNAT. (2010). Recuperado el 2 de enero de 2012, de SEMARNAT: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=180:du rango&catid=14:normalespor-estación.

- Son, J. W. (2003). Handbook of Photovoltaic and Engineering. En J. W. Son, Handbook of Photovoltaic and Engineering (pág. 1168). WILEY.
- V. D. A. (s.f.). Curso de Solarimetria. Curso de Solarimetria.
- Vitoria, J. R. (2012). Energías Renovables Lo que hay que saber. Paraninfo.
- Ortiz L. (noviembre 2012), Diario Oficial, Secretaría de Energía (SENER); NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas. [En línea]. Extraído el: 03-12-2015. http://www.sener.gob.mx/res/Acerca_de/29112012-VES.pdf.
- ivian W. W. Yam, E. (2010). WOLEDs and Organic Photovoltaics. Hong Kong, China: Springer.

Anexo 1. Recibo emitido por CFE.



CFE Suministrador de Servicios Básicos
 Río Rodano No. 14, colonia Cuauhtémoc,
 Alcaldía Cuauhtémoc, Código Postal 06500,
 Ciudad de México
 RFC: CSS160300P7

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE LA CIU

CALLE 4 S N SAN LORENZO IZTAPA
 PROLG SN ISIDRO Y CTO SN Y CTO SN LORENZO TEZONCO
 LOMAS DE SAN LORENZO
 IZTAPALAPA, CDMX
 C.P. 09780

TOTAL A PAGAR:
\$324,219.00

(TRESCIENTOS VEINTICUATRO MIL DOSCIENTOS
 DIECINUEVE PESOS 00/100 M.N.)

NO. DE SERVICIO: 147040804073
RMU: 09780 04-08-11 UAC0-10426 004 CFE

PERIODO FACTURADO: 31 OCT 19 - 30 NOV 19

TARIFA: GDMTH **NO. MEDIDOR:** 750KD6 **MULTIPLICADOR:** 1200

FECHA LÍMITE DE PAGO: 15 DIC 2019

CARGA CONECTADA kW: 1529 **DEMANDA CONTRATADA kW:** 1223

CORTE A PARTIR: 16 DIC 2019

Concepto	Consumo		Precio (MXN)	Subtotal (MXN)
	Medida	Estimada		
kWh base			37,056	
kWh intermedia			71,050	
kWh punta			18,016	
kW base			183	
kW intermedia			247	
kW punta			240	
kWMaxAñoMovil			247	
kVArh			40,260	
Factor de potencia %			95.26	

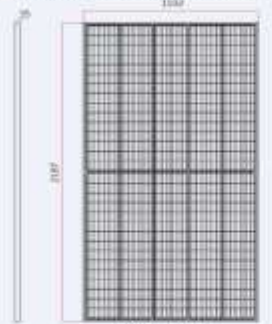
Concepto	Costos de la energía en el Mercado Eléctrico Mayorista				Desglose del importe a pagar	
	\$	\$/kW	\$/kWh	Importe (MXN)	Concepto	Importe (MXN)
Suministro	676.7	0	0	676.7	Cargo Fijo ¹	676.70
Distribución	0	16294.59	0	16294.59	Energía	282,791.72
	0	0	0	0	Balanzar(A) Factor de Potencia ¹	3,968.58

Anexo 2. Ficha técnica MFV Trina Solar, modelo Vertex TSM-DE18M(II) de 500 W.

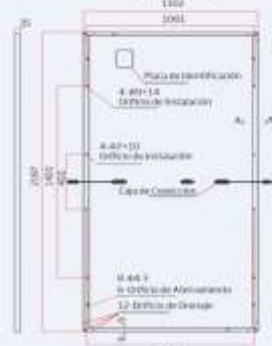


MÓDULO MONOCRISTALINO MONOFACIAL

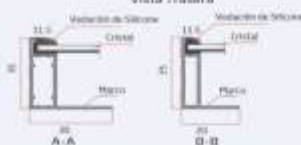
DIMENSIONES DEL MÓDULO (mm)



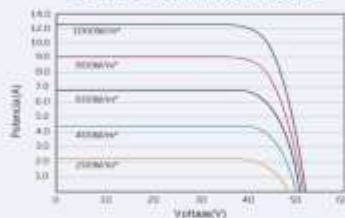
Vista Frontal



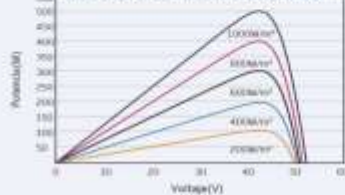
Vista Trasera



CURVAS I-V DEL MÓDULO (505W)



CURVAS P-V DEL MÓDULO (505W)



DATOS ELÉCTRICOS (STC)

	490	495	500	505	510	515
Potencia Nominal Watts-Pmax (Wp)*	490	495	500	505	510	515
Tolerancia de Potencia-Pmax (W)	0 ~ +5					
Voltaje en Máxima Potencia-Vmp (V)	42.4	42.6	42.8	43.0	43.2	43.4
Corriente en Máxima Potencia-Impp (A)	11.56	11.63	11.69	11.75	11.81	11.87
Tensión de Circuito Abierto-Voc (V)	51.3	51.5	51.7	51.9	52.1	52.3
Corriente de Corto Circuito-Isc (A)	12.14	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49
Eficiencia del Módulo η (%)	20.3	20.5	20.7	21.0	21.2	21.4

STC: Irradiación 1000W/m², Temperatura de Celda 25°C, Masa de Aire AML5
*Tolerancia de Medición: ±3%

DATOS ELÉCTRICOS (NOCT)

	369	373	377	381	385	388
Potencia Máxima-Pmax (Wp)	369	373	377	381	385	388
Voltaje en Máxima Potencia-Vmp (V)	40.0	40.2	40.4	40.6	40.5	40.7
Corriente en Máxima Potencia-Impp (A)	9.22	9.28	9.33	9.38	9.50	9.53
Tensión en Circuito Abierto-Voc (V)	48.2	48.4	48.6	48.8	49.0	49.2
Corriente de Corto Circuito-Isc (A)	9.78	9.84	9.90	9.95	10.01	10.06

NOCT: Irradiación at 900W/m², Temperatura Ambiente 20°C, Velocidad del Viento 1m/s.

DATOS MECANICOS

Células Solares	Monocristalinas
Orientación de Células	150 células
Dimensiones del Módulo	2187 × 1102 × 35 mm (86.10 × 43.39 × 1.38 pulgadas)
Peso	26.3 kg (58.0 lb)
Cristal	3.2 mm (0.13 pulgadas), alta transmisión, vidrio termoendurecido con recubrimiento AR
Material Encapsulante	EVA
Backsheet	Blanco
Marco	Aleación de aluminio anodizado de 35mm (1.38 pulgadas)
J-Box	IP 68
Cables	Cable Fotovoltaico 4.0mm² (0.006 pulgadas²), Retrato: 350 mm / 280 mm (13.78/11.02 pulgadas) Las dimensiones de los cables pueden ser customizadas
Conectores	MC4 EVO2 / TS4*

*Verificar el conector con el vendedor local.

COEFICIENTES DE TEMPERATURA

NOCT (Temp. de Operación Nominal de la Celda)	43°C (±2°C)
Coefficiente de Temperatura Pmax	-0.34%/°C
Coefficiente de Temperatura Voc	-0.25%/°C
Coefficiente de Temperatura Isc	0.04%/°C

LIMITES OPERACIONALES

Temperatura de Operación	-40 ~ +85 °C
Tensión Máxima del Sistema	1500V DC (IEC / UL)
Capacidad Máxima del Fusible	20A

GARANTÍA

12 Años de Garantía de integridad del producto
25 Años de Garantía de generación de energía
2% Degradación del primer año
0.55% Degradación anual de la energía

(Consulte la garantía de producto para más informaciones)

CONFIGURACIÓN DE EMBALAJE

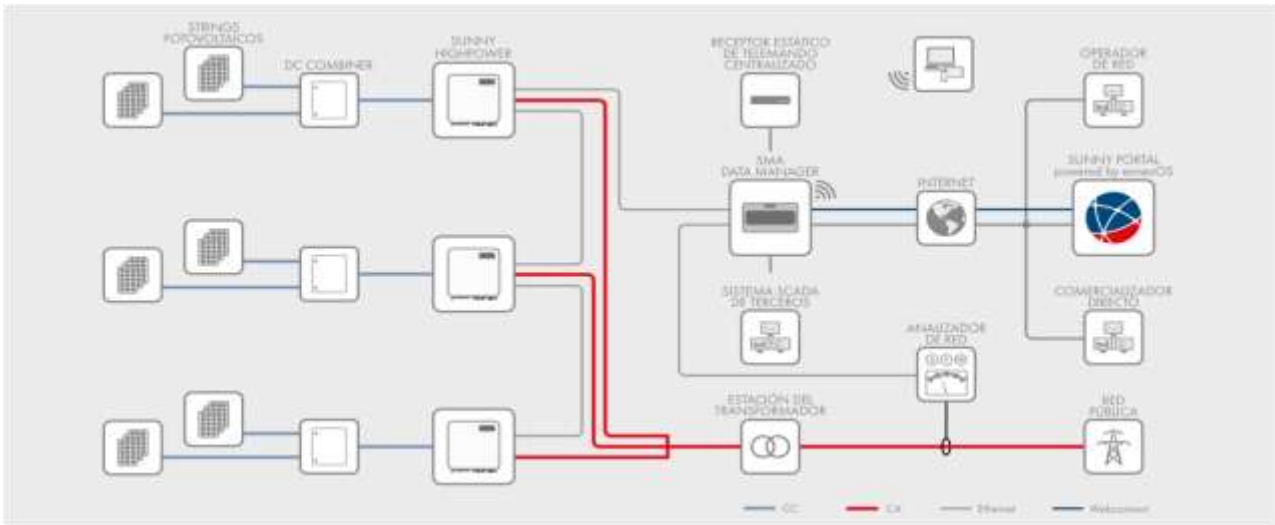
Módulos por caja: 31 unidades
Módulos por 40' container: 620 unidades



PRECAUCIÓN: LEA LAS INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD E INSTALACIÓN ANTES DE UTILIZAR EL PRODUCTO.

© 2020 Trina Solar Limited. Todos los derechos reservados. Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.
Version número: TSM_EN_2022_B www.trinasolar.com

Anexo 3. Inversor 150 kW, SMA modelo SUNNY HIGHPOWER PEAK3 150-20.



Datos técnicos	Sunny Highpower 100-20	Sunny Highpower 150-20
Entrada (CC)		
Potencia máx. del generador fotovoltaico	150000 Wp	225000 Wp
Tensión de entrada máx.	1000 V	1500 V
Rango de tensión MPP/tensión asignada de entrada	590 V a 1000 V/590 V	880 V a 1450 V/880 V
Corriente de entrada máx./Corriente de cortocircuito máx.	180 A/325 A	180 A/325 A
Número de seguidores del MPP independientes	1	1
Número de entradas	1 o 2 (opcional) para cajas de conexión del generador externas	
Potencia asignada a tensión nominal	100000 W	150000 W
Potencia máx. aparente de CA	100000 VA	150000 VA
Tensión nominal de CA/intervalo de tensión de CA	400 V/304 V a 477 V	600 V/480 V a 690 V
Frecuencia de red de CA/rango	50 Hz/44 Hz a 55 Hz 60 Hz/54 Hz a 66 Hz	50 Hz/44 Hz a 55 Hz 60 Hz/54 Hz a 66 Hz
Frecuencia de red asignada	50 Hz	50 Hz
Corriente máx. de salida	151 A	151 a
Factor de potencia a potencia asignada/factor de desfase ajustable	1/0 inductivo a 0 capacitivo	1/0 inductivo a 0 capacitivo
Armónicos (THD)	< 3 %	< 3 %
Fases de inyección/conexión de CA	3/3-PE	3/3-PE
Rendimiento		
Rendimiento máx./rendimiento europeo	98,8 %/98,6 %	99,1 %/98,8 %
Dispositivos de protección		
Monitorización de toma a tierra/monitorización de red/protección contra polarización inversa de CC	• / • / •	• / • / •
Resistencia al cortocircuito de CA/Con separación galvánica	• / —	• / —
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal	•	•

Anexo 4. Inversor Huawei SUN2000-105KTL-H.

Efficiency	
Max. Efficiency	99.0%
European Efficiency	98.8%
Input	
Max. Input Voltage	1,500 V
Max. Current per MPPT	25 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	33 A
Start Voltage	650 V
MPPT Operating Voltage Range	600 V ~ 1,500 V
Rated Input Voltage	1,080 V
Number of Inputs	12
Number of MPP Trackers	6
Output	
Rated AC Active Power	105,000 W @40°C
Max. AC Apparent Power	116,000 VA @25°C
Max. AC Active Power (cosφ=1)	116,000 W @25°C
Rated Output Voltage	800 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	75.8 A
Max. Output Current	84.6 A
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	<3%
Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED Indicators, Bluetooth/WLAN + APP
USB	Yes
RS485	Yes
MBUS	Yes
General	
Dimensions (W x H x D)	1,075 x 605 x 310 mm (42.3 x 23.8 x 12.2 inch)
Weight (with mounting plate)	79 kg (174.2 lb.)
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method	Natural Convection
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Amphenol UTX
AC Connector	Cable Gland + OT Terminal
Protection Degree	IP65
Topology	Transformerless
Standard Compliance (more available upon request)	
Certificates	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, EN 50530, IEC 60068, IEC 61683, IEC 61727, G59/3, G99/1, PEA, MEA, Philippine Resolution No. 07, IEEE 1547, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150, UNE 206006 IN, P.O. 12.3, UTE C15-712-1, CEI 0-16

Anexo 5. Inversor Huawei SUN2000-115KTL-H.

Technical Specification		SUN2000-115KTL-M2
Efficiency		
Max. efficiency		98.6% @400 V, 98.8% @480 V
European efficiency		98.4% @400 V, 98.6% @480 V
Input		
Max. Input Voltage ₁		1,100 V
Max. Current per MPPT		30 A
Max. Current per Input		20 A
Max. Short Circuit Current per MPPT		40 A
Start Voltage		200V
MPPT Operating Voltage Range ₂		200 V ~ 1,000 V
Nominal Input Voltage		600 V @400 Vac, 720 V @480 Vac
Number of MPP trackers		10
Max. input number per MPP tracker		2
Output		
Nominal AC Active Power		115,000W
Max. AC Apparent Power		125,000VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)		125,000W
Nominal OutputVoltage		400 V / 480 V, 3W+(N)+PE
Rated AC Grid Frequency		50 Hz / 60 Hz
Nominal Output Current		166.0 A @400 V, 138.4 A @480 V
Max. OutputCurrent		182.3 A @400 V, 151.9 A @480 V
Adjustable Power Factor Range		0.8 leading... 0.8 lagging
Max. Total, Harmonic Distortion		< 3%
Protection		
Input-side Disconnection Device		Yes
Anti-islanding Protection		Yes
AC Overcurrent Protection		Yes
DC Reverse-polarity Protection		Yes
PV-array String Fault Monitoring		Yes
DC Surge Arrester		Type II
AC Surge Arrester		Type II
DC Insulation Resistance Detection		Yes
Residual Current Monitoring Unit		Yes
Smart String Level Disconnecter		Yes
Communication		
Display		LED indicators; WLAN adaptor+ FusionSolar APP
RS485		Yes
USB		Yes
Smart Dongle-4G		4G / 3G / 2G via Smart Dongle – 4G (Optional)
MonitoringBUS (MBUS)		Yes (isolationtransformer required)
General Data		

Anexo 6. InversorHuawei SUN2000-100KTL-M1.

Technical Specification		SUN2000-100KTL-M2
Efficiency		
Max. efficiency		98.6% @ 400 V, 98.8% @ 480 V
European efficiency		98.4% @ 400 V, 98.6% @ 480 V
Input		
Max. Input Voltage ₁		1,100 V
Max. Current per MPPT		30 A
Max. Current per Input		20 A
Max. Short Circuit Current per MPPT		40 A
Start Voltage		200V
MPPT Operating Voltage Range ₂		200 V ~ 1,000 V
Nominal Input Voltage		600 V @ 400 Vac, 720 V @ 480 Vac
Number of MPP trackers		10
Max. input number per MPP tracker		2
Output		
Nominal AC Active Power		100,000W
Max. AC Apparent Power		110,000VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)		110,000W
Nominal OutputVoltage		400 V/ 480 V, 3W+(N)+PE
Rated AC Grid Frequency		50 Hz / 60 Hz
Nominal Output Current		144.4 A @ 400 V, 120.3 A @ 480 V
Max. OutputCurrent		160.4 A @ 400 V, 133.7 A @ 480 V
Adjustable Power Factor Range		0.8 leading... 0.8 lagging
Max. Total, Harmonic Distortion		< 3%
Protection		
Input-side Disconnection Device		Yes
Anti-islanding Protection		Yes
AC Overcurrent Protection		Yes
DC Reverse-polarity Protection		Yes
PV-array String Fault Monitoring		Yes
DC Surge Arrester		Type II
AC Surge Arrester		Type II
DC Insulation Resistance Detection		Yes
Residual Current Monitoring Unit		Yes
Arc Fault Protection		Yes
Smart String Level Disconnecter		Yes
Communication		
Display		LED indicators; WLAN adaptor+ FusionSolar APP
RS485		Yes
USB		Yes
Smart Dongle-4G		4G / 3G / 2G via Smart Dongle – 4G (Optional)
MonitoringBUS (MBUS)		Yes (isolationtransformer required)

Anexo 7. Inversor Growatt 50 kW.

Datasheet	MAC 50KTL3-X LV	MAC 50KTL3-X MV	MAC 60KTL3-X LV	MAC 60KTL3-X MV	MAC 70KTL3-X MV
Input Data(DC)					
Max. recommended PV power for module (DC)	75000W	75000W	90000W	90000W	105000W
Max.DC voltage			1100V		
Start voltage			250V		
Nominal voltage	600V	700V	600V	700V	700V
MPPT voltage range			200V-1000V		
No. of MPP trackers			3		
No. of PV strings per MPP tracker	4/3/3	4/3/3	4/4/4	4/4/4	4/4/4
Max. input current per MPP tracker	52A/39A/39A	52A/39A/39A	52A/52A/52A	52A/52A/52A	52A/52A/52A
Max. short-circuit current per MPP tracker			55A		
Output Data(AC)					
Rated AC output power	50000W	50000W	60000W	60000W	70000W
Max. AC apparent power	55000VA	55000VA	66000VA	66000VA	77000VA
Nominal AC voltage (range*)	230V/400V (340-440V)	277V/480V (425-540V)	230V/400V (340-440V)	277V/480V (425-540V)	277V/480V (425-540V)
AC grid frequency (range*)			50/60 Hz (45-59Hz/55-65 Hz)		
Max. output current	80.5A	66.9A	96.5A	80.2A	93.6A
Adjustable power factor			0.8leading...0.8lagging		
THD			<3%		
AC grid connection type	3W+N+PE	3W+PE	3W+N+PE	3W+PE	3W+PE
Efficiency					
Max. efficiency			98.8%		
European efficiency			98.5%		
MPP efficiency			99.9%		
Protection Devices					
DC reverse polarity protection			Yes		
DC switch			Yes		
AC/DC surge protection			Type I / Type II		
Insulation resistance monitoring			Yes		
AC short-circuit protection			Yes		
Ground fault monitoring			Yes		
Grid monitoring			Yes		
Anti-islanding protection			Yes		
Residual-current monitoring unit			Yes		
General Data					
Dimension(W / H / D)			680/508/281mm		
Weight			52kg		
Operating temperature range			-25°C ... +60°C		
Nighttime power consumption			<1W		
Topology			Transformerless		
Cooling			Smart air cooling		
Protection degree			IP65		
Relative humidity			0-100%		
Altitude			4000m		
DC connection			H4/MC4(Optional)		
AC connection			Cable gland + CF terminal		
Display			OLED + LED/WE+APP		
Interface: RS485 / USB /WiFi /GPRS / 4G			Yes/Yes /Optional/Optional/Optional		
Warranty: 5 years / 10 years			Yes/Optional		
CE, EUC2116, EUC61737, EUC80065, EUC61683, EEE1547					

* The AC voltage range and frequency range may vary depending on specific country grid standard.
All specifications are subject to change without notice.

Anexo 8. Solicitud de interconexión.

Fecha;

No. Solicitud

I. Datos del Solicitante

Nombre, Denominación o Razón Social

Domicilio

Calle

Número exterior

Número Interior

Código
Postal

Colonia/Población

Delegación/Municipio

Estado

Teléfono

Correo Electrónico

Fax

II. Datos de Contacto

Nombre

Puesto

Domicilio

Número exterior

Número Interior

Calle

Código Postal

Colonia/Población

Delegación/Municipio Estado

Teléfono

Correo

Fax

Electrónico

III. Datos de la Solicitud

Modalidad de la Baja Tensión

Media

Solicitud

Tensión

IV. Utilización de la Energía Eléctrica Producida

V. Datos del Servicio Suministro Actual

5		
6		

(Representante Legal o El Solicitante) (El Solicitante) certifica que la

Información proporcionada en la presente solicitud es apropiada, precisa y verídica.
 El solicitante acepta que los datos proporcionados sean utilizados para llevar a cabo los Estudios de

Interconexión para garantizar la confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional con la Interconexión de la Central Eléctrica del solicitante al amparo de la *Ley de la Industria Eléctrica y su Reglamento*, en caso de ser requeridos.

El solicitante entiende que los datos proporcionados, se añadirán a las bases de datos del suministrador cuando se firme un contrato de interconexión respectivo.

Firma de Conformidad Solicitante

sello y firma Centro de Atención
