



**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN
DE UN SISTEMA DE ENERGÍA LIMPIA MEDIANTE
CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA LA ALIMENTACIÓN
ELÉCTRICA DEL EDIFICIO 4 EN EL ITSLV.**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN MANUFACTURA AVANZADA

ING. RODOLFO HERNÁNDEZ GALLEGOS

VILLAHERMOSA, TABASCO, AGOSTO 2017.

RESUMEN

En la presente investigación se analizó la factibilidad de instalar un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas interconectadas a la red eléctrica para alimentar el consumo energético de un edificio en el Instituto Tecnológico Superior de La Venta.

Se investigó los avances teóricos sobre la radiación solar, efecto fotovoltaico, así como el funcionamiento de un sistema fotovoltaico y sus costos. Dentro de los antecedentes se encontró información acerca de diversos proyectos nacionales similares al de esta tesis.

Se determinó el consumo teórico del edificio que es de 1224 kW día y el real máximo en un día que fue de 1117 kW, se determinó que el tipo de celda fotovoltaica adecuada para el edificio 4 son paneles monocristalinos de 320 W, por tener alta eficiencia y desempeño; se suministrara 70% del máximo consumo registrado durante el muestreo por lo que se suministrara 781 kW con 498 paneles solares y 4 inversores de 30 kW cada uno.

También se muestra el cálculo de inclinación, de sombras y distancias, tomando en cuenta las especificaciones geográficas y climatológicas del lugar; la selección del tipo de estructura para los módulos y el anclaje así como la determinación de los conductores para sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Utilizando el software Solidwork se diseñó el sistema de celdas fotovoltaicas que se adecue a los espacios disponibles para su instalación en el techo del edificio 4.

Se realizó un análisis del costo-beneficio de la instalación del sistema fotovoltaico para el edificio 4 y se determinó la factibilidad de instalar el sistema de energía limpia en el edificio 4 del ITSLV puesto que la vida útil promedio de los paneles fotovoltaicos es de 25 años en condiciones normales, pero el tiempo de amortización es de 8.3 años, quedando de ganancia alrededor de 16.7 años, en este tiempo el ITSLV podría ahorrar \$6, 560,792.43 pesos M.N. por lo que se considera factible la instalación de paneles fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica de CFE para el ITSLV y cualquier edificio con características similares.

Se concluyó que es factible la instalación de sistemas de paneles fotovoltaicos (FVS) en edificios del gobierno y casas habitación, viéndose reflejado el ahorro económico y una pequeña contribución al ambiente, utilizando energías limpias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.4 OBJETIVOS.....	8
1.4.1 Objetivo general.....	8
1.4.2 Objetivos específicos.....	9
1.5 HIPÓTESIS.....	9
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	10
2.1.1 La radiación solar.....	10
2.1.2 Efecto fotovoltaico.....	13
2.1.3. Celda Fotovoltaica.....	16
2.1.4. Módulos Fotovoltaicos.....	18
2.1.5. Sistemas Fotovoltaicos (SFV).....	19
2.1.6. Criterios de diseño de un SFV.....	21
2.1.7 Clasificación de los SFV por su estructura.....	26
2.7.1.1 Sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR).....	26
2.7.1.2 Sistemas fotovoltaicos no conectados a la red.....	29
2.1.8 Mantenimiento al SFCR.....	30
2.1.9 Costos de un SFV.....	31
2.2 FACTOR DE EFICIENCIA Y DE POTENCIA EN INSTALACIONES INDUSTRIALES.....	32
2.3 BALANCEO DE CARGAS.....	34
CAPÍTULO 3 PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN.....	36

3.1 ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO TEÓRICO Y REAL DEL EDIFICIO 4 DEL ITSLV.	36
3.1.1 Análisis del consumo energético teórico del edificio 4.	36
3.1.2 Análisis del consumo energético real del edificio 4.	37
3.2 ANÁLISIS DEL TIPO DE CELDA FOTOVOLTAICA ADECUADA PARA EL EDIFICIO 4, TOMANDO EN CUENTA LOS FACTORES AMBIENTALES Y LOS COSTOS.	40
3.3 CALCULO DEL NÚMERO DE paneles FOTOVOLTAICos NECESARIAS PARA ABASTECER LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO 4.....	42
3.4 CÁLCULO DEL ARREGLO DE LOS PANELES FV.....	43
3.5 DETERMINACIÓN DE NÚMERO DE LOS INVERSORES.....	45
3.6 DISEÑAR UN SISTEMA DE CELDAS FOTOVOLTAICAS EN EL SOFTWARE SOLIDWORK QUE SE ADECUE A LOS ESPACIOS DISPONIBLES PARA SU INSTALACIÓN EN EL TECHO DEL EDIFICIO 4.	46
3.6.1 Azotea del edificio 4.....	46
3.6.2 Diseño de panel.....	48
3.6.3 Cálculo de inclinación, sombras y distancia entre paneles.	49
3.6.4 Diagrama de distribución de los paneles FV.....	52
3.6.5 Diagrama de conexión de los módulos FV.....	54
3.6.6 Diagrama de instalación de anclaje de los módulos FV.....	55
3.7 SELECCIÓN DE LOS CONDUCTORES.	60
3.8 DIAGRAMA UNIFILAR.	63
CAPÍTULO 4 RESULTADOS.....	64
4.1 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL EDIFICIO 4.	64
4.1.1 Total del material y mano de obra necesaria para instalación del SFV.	64
4.1.2 Cálculo de la energía eléctrica propuesta con paneles fotovoltaicos.....	64
4.1.3 Costo por consumo de la energía eléctrica con paneles fotovoltaicos.....	65
4.1.4 Amortización del sistema fotovoltaico.	65

CONCLUSIONES.	67
RECOMENDACIONES.	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	69
ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.

Figura 1. SFCR en la UAM Iztapalapa.....	2
Figura 2. SFCR The Green Corner.....	3
Figura 3. Museo Tecnológico de la CFE, Ciudad de México.	4
Figura 4. Fraccionamiento Valle de las Misiones.....	5
Figura 5. Edificio 4 ITSLV. Fuente: Elaboración propia.....	6
Figura 6. Vista aérea del Edificio 4 ITSLV. Fuente: https://www.google.com.mx/map	7
Figura 7. Componentes de la radiación solar terrestre.....	11
Figura 8. Intensidad de radiación solar a nivel mundial.....	12
Figura 9. Radiación solar promedio anual en la República Mexicana.....	13
Figura 10. Símbolo del diodo.....	14
Figura 11. Comportamiento del silicio en una celda solar (A), estructura de Si (B), estructura del Si con P (C).....	15
Figura 12. Sección de una celda Fotovoltaica.....	17
Figura 13. Módulos fotovoltaicos presentes en el mercado.....	18
Figura 14. Sistema fotovoltaico conectado a la red.....	20
Tabla 1. Latitud y longitud ITSLV.....	22
Figura 15. Orientación del módulo FV para máxima producción anual.....	23
Tabla 2. Ángulo de inclinación para la generación eléctrica máxima.....	23
Tabla 3. Consumo Teórico Edificio 4. Fuente: Elaboración propia.....	36
Tabla 4. Consumo real edificio 4. Fuente: Elaboración propia.....	37

Tabla 5. Tabla comparativa consumo teórico-real. Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 16. Tablero Eléctrico E-4 ITSLV	39
Figura 17. Clima Tabasco	40
Figura 18. Panel monocristalino 320 W de 1956 mm x 992 mm x 45 mm.	41
Figura 19. Inversor Xantrex GT30.....	42
Figura 20. Arreglo de los paneles FV.....	44
Figura 21. Azotea del edificio 4 del ITSLV	46
Figura 22. Azotea del edificio 4 del ITSLV en 3D.....	47
Figura 23. Dimensiones de la azotea del edificio 4 del ITSLV	47
Figura 24. Panel solar de 320 Watts en 3D	48
Figura 25. Medidas en metros del panel solar de 4320 Watts	48
Figura 26. Distancia mínima entre aristas de paneles.....	50
Figura 27. Distancia entre aristas inferiores.	52
Figura 28. Distribución en el área de azotea.	53
Figura 29. Acomodo de los paneles.....	53
Figura 30. Acomodo de los paneles para 3 inversores.....	54
Figura 31. Acomodo de los paneles para 1 inversor.....	54
Figura 32. Estructura para el módulo fotovoltaico en 3D.....	55
Figura 33. Dimensiones de la estructura para módulos FV.	56
Figura 34. Mapa de isotacas para velocidades regionales con periodo de retorno de 50 años.....	58
Figura 35. Mapa de isotacas para Q=15.....	59
Figura 36. Cables tipo PV ZZ-F (AS).....	61
Figura 37. Diagrama unifilar del SFV.	63
Tabla 6. Costo del sistema Fotovoltaico	64
Tabla 7. Costo del sistema Fotovoltaico	66

GLOSARIO

Ángulo de Inclinación: Es el ángulo al cual el arreglo solar se inclina en relativo a la posición horizontal en dirección al sol. Ese ángulo puede ajustarse para maximizar la energía disponible durante el año.

Arreglo Solar: Un sistema interconectado de módulos fotovoltaicos que funcionan como una unidad independiente de producción de electricidad. Los módulos o paneles solares se instalan en estructuras con monturas y apoyos comunes.

Caballo de fuerza (hp): Equivalente a 746 watts en el sistema eléctrico.

Celda Solar: El más pequeño elemento semiconductor de un modulo fotovoltaico (PV) para realizar la conversión inmediata de luz solar en electricidad.

Conexión en Serie: Es una forma de conectar paneles solares al conectar el positivo de una placa con el negativo de otra y así aumenta el voltaje del sistema. Quedan libres el negativo de la primera placa y el positivo de la última para las conexiones posteriores en el sistema.

Conexión Paralela: Es la conexión de paneles solares que conecta los terminales positivos entre si y los terminales negativos entre sí. El resultado es el mismo voltaje más cada conexión aumenta proporcionalmente la corriente.

Corriente Alterna (AC): Es un tipo de corriente eléctrica en la que la polaridad se invierte regularmente. En los Estados Unidos y Puerto Rico, se cambia la polaridad 120 ocasiones por segundo o 60 ciclos (Hz) por segundo. Las redes de transmisión eléctrica usan corriente alterna porque el voltaje puede ser controlado con relativa facilidad.

Corriente Directa (DC): Un tipo de transmisión y distribución de electricidad en donde la electricidad fluye en una sola dirección, usualmente bajo voltaje y altas

corrientes. Para proveer energía a su hogar o negocio con corriente alterna (AC) debe tener un inversor de energía.

Cortacircuito (interruptor termomagnético): Dispositivo de protección de dos terminales diseñado para garantizar que los niveles de corriente no excedan los niveles seguros. Si se “dispara” puede restaurarse con un interruptor o un botón de restauración.

Días de Almacenamiento: E número de días consecutivos que un sistema solar con baterías puede proveer energía a sus cargas eléctricas ante la falta de energía solar.

Eficiencia (H): Relación de la potencia de entrada y salida que informa de inmediato sobre las características de conversión de energía de un sistema.

Energía (W): Cantidad cuyo cambio de estado está determinado por el producto de la velocidad de conversión (P) y el periodo implicado (t). Se mide en joules (J) o wattsegundos (Ws).

Energía Solar: Son las ondas de energía electromagnéticas transmitidas por el sol. Normalmente manejamos solar pasiva con los materiales de construcción para lograr los diseños, solar fotovoltaica para conversión a energía eléctrica y solar termal para agua caliente.

Fotovoltaico (PV): Se refiere a la conversión directa de luz solar en electricidad, se le conoce como solar eléctrico y solar fotovoltaico.

Fuentes de Energía Renovable: Es un recurso energético que es regenerativo o virtualmente inagotable, algunos ejemplos son; solar, viento, geotermal y agua.

Fusible: Dispositivo de dos terminales cuyo único propósito es garantizar que los niveles de corriente en un circuito no excedan los niveles seguros.

Horas de Sol por Día: Es el equivalente de número de horas por día equivalente a la irradiación solar de 1,000 vatios/por metro cuadrado.

Irradiación: La luz directa, difusa y reflejada que recibe una superficie, usualmente expresada en kilovatios por metro cuadrado, la irradiación multiplicada por tiempo equivale a insolación.

Inversor: Es un equipo electrónico que convierte la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC) para un sistema conectado a la red eléctrica o para un sistema independiente de energía.

Kilowatt: Es una medida de potencia eléctrica equivalente a 1000 Watt o el consumo de energía de mil joules por segundo.

Kilowatt hora: Es una medida de energía que equivale a 1,000 watt consumidos en un periodo de una hora.

Medidor de kilowatthoras (kilowatthorímetro): Instrumento para medir kilowatthoras de energía suministrada a un usuario de electricidad residencial o comercial.

Medición Neta: La práctica de exportar el exceso de energía solar durante el día a la red de distribución eléctrica, lo cual causa el medidor de energía mida en reverso para usarse durante la noche y/o simplemente cree un crédito financiero en la factura eléctrica del hogar o negocio.

Módulo: Es una estructura construida con celdas solares en serie para lograr un voltaje operacional.

Monturas de Estructuras: En una montura de estructura, los paneles fotovoltaicos son soportados por una estructura de metal y posicionados a un ángulo predeterminado cercado a la latitud. Normalmente se ubica en los techos de las propiedades.

Panel Solar: También se le conoce como módulo fotovoltaico, mejor definido como un sistema de módulos conectados físicamente en una misma estructura desde la fábrica.

Potencia: Indicación de cuánto trabajo puede realizarse en una cantidad de tiempo específica; *velocidad* con que se realiza trabajo. Se mide en joules/segundo (J/s) o watts (W).

Red de Electricidad: Es un sistema integrado de distribución de electricidad, usualmente cubriendo kilómetros de servicio. En México es Comisión Federal de Electricidad la encargada del servicio.

Reserva de Batería (Backup): El uso de baterías para proveer potencia a su sistema en caso de falla eléctrica de la Autoridad de Energía, normalmente para alimentar las cargas críticas en emergencias.

Seguidores Solar: Se refiere a un arreglo solar en una estructura diseñada para seguir la posición del sol y maximizar la radiación solar incidente en la superficie de las placas solares. Los hay de un solo eje que busca al sol de este a oeste y de dos ejes que ajusta el ángulo respecto al horizonte para maximizar la irradiación en todo el año.

SFCR: Sistema fotovoltaico de conexión a red.

Sistema Conectado a la Red (Grid tie): Es un sistema solar eléctrico o fotovoltaico (PV) en el cual el arreglo solar se comporta como una planta generadora central, supliendo potencia a la red. También se le conoce como —Sistema Line Tie .

Sistema Independiente (off grid): Es un sistema autónomo o híbrido solar que no está conectado a la red eléctrica. Requiere tener reserva de energía en baterías u otra forma de reserva, también se le conoce como sistema remoto o separado de la red.

Sistema híbrido: Es un sistema solar eléctrico o sistema fotovoltaico que incluye otras fuentes de generación de electricidad, tales como, generadores diesel, generadores de viento y generadores de agua.

Vida de la Baterías: El periodo de duración en que la celda o batería es capaz de operar sobre su capacidad nominal o eficiencia esperada. La vida de la batería se mide en ciclos de descarga o años, dependiendo de la aplicación o el tipo de servicio para la cual fueron diseñadas. En aplicaciones solares, las baterías deben ser de ciclos profundos o —deep cycle.

Watt: El ritmo al cual se transfiere la energía equivalente a un amperio bajo la presión eléctrica de un voltio. Es el producto de la multiplicación de voltaje por corriente.

Voltaje: La cantidad de fuerza eléctrica, medida en voltios, que existe entre dos puntos. El voltaje típico de una batería es 12 Vdc y el de nuestras residencias es 120 Vac.

Voltios: Es una medida de fuerza eléctrica que puede causar una corriente de un amperio para fluir en una resistencia de un ohmio.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.

1.1 ANTECEDENTES.

El estado de Tabasco colinda con Chiapas, donde se encuentran cinco grandes centrales hidroeléctricas erigidas sobre las caudalosas aguas del río Grijalva: Malpaso, La Angostura, Chicoasén I, Peñitas y Chicoasén II, en orden de importancia respectivamente.

Aun estando cerca las plantas hidroeléctricas de Tabasco, el costo del consumo de este recurso es cada día más elevado.

Aunado a la falta de cultura de apagar las luces, el aire acondicionado y diversos aparatos eléctricos al no ocuparlos, el Instituto Tecnológico Superior de La Venta, ubicada en Huimanguillo, Tabasco, paga una elevada factura mensual a CFE por consumo de energía eléctrica, que en promedio llega hacer de \$70,607.02 pesos y anualmente ha llegado a rebasar los \$917,826.89 pesos m.n. por el consumo de este recurso, mermando una buena parte del presupuesto anual, que podría ser utilizado para otras actividades que generen beneficios para los estudiantes.

En los últimos años la economía en México ha generado que el uso de la energía eléctrica sea cada vez más costosa, por lo que las personas buscan la manera que sus facturas por el uso de esta disminuyan, muchos de ellos han optado por emplear paneles solares en los techos de sus viviendas que aprovechan el efecto fotovoltaico, utilizando la energía solar como recurso inagotable. Por décadas se ha mantenido la ideología que usar paneles solares es poco eficiente y con costos elevados de instalación, pocos saben que esta tecnología ha evolucionado constantemente y se ha logrado disminuir su costo de fabricación y aumentado la eficiencia de cada módulo.

En México los sistemas fotovoltaicos son considerados experimentales por lo que existen pocas universidades y empresas con sistemas fotovoltaicos instalados.

Existen organismos gubernamentales que apoyan y financian este tipo de proyectos como CONACYT y PRODED que buscan fortalecer la investigación en energías limpias.

Algunos ejemplos de la instalación de SFV que funcionan eficientemente son los siguientes:

SFCR EN LA UAM-IZTAPALAPA.

El SFCR se ubica en la azotea del edificio B que es un inmueble de 4 niveles (figura 1). En la planta baja se encuentran un auditorio y las oficinas de sistemas escolares. Los otros 3 niveles están ocupados por aulas. Previo a la instalación del SFCR se realizó una obra civil para construir las bases en las que se anclaron los soportes metálicos que sostienen a los módulos Foto Voltaico. También se construyó el cuarto que alberga los inversores, los gabinetes que resguardan el sistema de adquisición de datos y el tablero divisionario del SFCR. Asimismo se construyó una escalera para tener acceso a la azotea y un barandal de protección. El SFCR consta de 286 módulos de 210 Wp y 21 inversores. Los módulos están orientados al sur magnético y tienen una inclinación de 19° [1].



Figura 1. SFCR en la UAM Iztapalapa.

SFCR EN EL RESTAURANTE Y TIENDA THE GREEN CORNER.

El techo del local de The Green Corner Coyoacán está cubierto por 204 módulos FV capaces de generar 30 000 W de energía eléctrica (figura 2). El sistema permitirá que dejen de consumirse en promedio 120 kW-h por día.

Además, por estar conectado a la red de distribución pública su diseño le permite inyectar los excedentes de energía para que sean aprovechados por otros usuarios, con lo cual se realiza una contribución positiva a la sociedad. En términos generales, el desempeño operacional del SFCR en el inmueble durante el periodo de análisis reportó un comportamiento bastante aceptable; sin embargo, se estima que éste se puede mejorar sustancialmente mediante la reducción y/o la eliminación de los efectos negativos que tienen sobre el desempeño global del sistema: tanto el consumo eléctrico nocturno del SFCR cuando éste pasa a la condición de “espera” por la terminación del ciclo solar, como por la condición de sombreado sobre la superficie del SFCR originada por las protecciones en el perímetro de éste[1].



Figura 2. SFCR The Green Corner.

MUSEO TECNOLÓGICO DE LA CFE (MUTEC).

El SFCR se instaló en las áreas exteriores de las instalaciones del MUTEC, las cuales se localizan en la ciudad de México, D. F., ubicadas en la Av. Grande del Bosque s/n 2ª sección del Bosque de Chapultepec. El SFCR tiene una capacidad de 30 kWp \pm 2%, los módulos FV están en la plataforma de concreto que actualmente ocupa la maqueta de la "Planta Geotérmica de Cerro Prieto, B. C." del MUTEC (figura 3).

El SFCR cuenta con módulos FV, estructura soporte, sistema de acondicionamiento de potencia trifásico (inversores), equipos de medición, adquisición y visualización de datos, protecciones, interruptores, canalizaciones, cableado; así como todo lo necesario para una operación eficiente y está conectado a la red eléctrica de distribución. El proyecto abarca el suministro e instalación de los equipos y materiales, además de las pruebas y puesta en servicio del SFCR completo [1].



Figura 3. Museo Tecnológico de la CFE, Ciudad de México.

PROYECTO VALLE DE LAS MISIONES, MEXICALI, B. C.

El 12 de octubre de 2006 en Mexicali B. C., fueron entregadas las primeras casas en México con SFCR. El fraccionamiento cuenta con 220 casas de interés social con 1 kW FV c/u (figura 4). Esto permite que cada vivienda provista con este sistema, sea capaz de producir una parte importante de la energía que consume. Con esto se estima que una vivienda de este tipo puede producir hasta el 50% anual de su consumo de energía eléctrica, resultando en un ahorro sustancial en la facturación proveniente de la CFE [1].



Figura 4. Fraccionamiento Valle de las Misiones.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

El elevado costo de facturación eléctrica mensual del ITSLV ha llevado a la dirección general del instituto a tomar medidas para la reducción de este costo, en primer lugar se realizó una campaña de concientización hacia el personal y el alumnado, reflejándose poco resultado en la facturación, como segunda opción la dirección desea saber la factibilidad de utilizar algún tipo de energía limpia. Por lo que se consideraron las siguientes alternativas:

La Venta está ubicada en 18°05'42"N 94°02'38"O, se localiza en un "islote" formado por los ríos Tonalá y Blasillo, así como por numerosos pantanos.

El relieve por lo general es plano, con zonas muy bajas, que en algunos casos llegan a estar a 1 msnm. El uso de generadores mediante ventiladores eólicos no es factible, ya que el ITSLV está ubicado en un área donde las corrientes eólicas no son aprovechables, por ser una zona con relieve de 1 msnm.

Considerando que La Venta, Huimanguillo, Tabasco es un lugar donde la mayoría de los días del año son soleados, y se reciben en promedio 4.9 kWh/m² por día, se decidió realizar un proyecto que analice la factibilidad de utilizar paneles solares fotovoltaicos, para este fin se utilizara al edificio 4 como piloto (figura 5)



Figura 5. Edificio 4 ITSLV. Fuente: Elaboración propia.

El edificio 4 es un edificio de dos niveles, cuenta con 15 aulas, que ocupan las carreras de Ingeniería industrial, mecatrónica, petrolera y gestión empresarial, un área administrativa para las jefaturas de carrera, subdirección académica, dirección académica, una subdirección de investigación y posgrado, una sala de maestros, un consultorio de paramédico y tres oficinas de desarrollo académico.



Figura 6. Vista aérea del Edificio 4 ITSLV. Fuente: <https://www.google.com.mx/map>

La figura 6 es una vista aérea del Instituto Tecnológico Superior de La Venta, se observa el edificio 4 encerrado en un rectángulo negro, al este del edificio a una distancia de 100 metros, existe vegetación del tipo selva tropical húmeda con una altura promedio de 25 a 30 metros, por lo que no representan problemática alguna para la incidencia de la radiación solar que llega a la azotea del edificio.

El edificio E-4 Tiene un consumo promedio mensual real medido de los meses de Mayo 2015 a Abril 2016 de 14,010 kW que en promedio son \$19,631.36 pesos. Este es un costo elevado, considerando que solo se conectan a la red eléctrica aires acondicionados, lámparas fluorescentes, proyectores y computadoras. Ven anexo 1.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Analizar el consumo eléctrico del edificio 4 del ITSLV dará a conocer en donde se consume la energía eléctrica, si las cargas en los circuitos eléctricos están bien balanceadas, y si existe alguna fuga en el cableado eléctrico, se podrá determinar el tipo de panel fotovoltaico que se adapte a las necesidades del edificio, considerando factores ambientales. En base al tipo de panel seleccionado se realizara el cálculo de numero de paneles necesarios para suministrar la carga eléctrica al edificio 4 y se diseñara la forma en que estas deben ir colocadas en la azotea del edificio para su puesta en marcha, no será necesario almacenar la energía generada por los paneles porque se inyectara mediante un medidor bidireccional a la red eléctrica de CFE, se calculará cuanto será la reducción del pago de la factura mensual que se hace a CFE, este recurso económico ahorrado podrá emplearse para actividades que beneficien a la comunidad estudiantil.

Además del beneficio económico que obtendrá la institución, el uso de energías limpias minimiza el impacto ambiental aportando a la reducción del calentamiento global, la energía solar es un recurso renovable y gratuito, del que se puede disfrutar la mayor parte de los días del año en La Venta, Huimanguillo, Tabasco.

La fuerte reducción de costos en módulos de silicio cristalino en los últimos años ha aumentado el atractivo de los sistemas fotovoltaicos en muchos países y redes eléctricas específicas. [2]

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo general.

- Analizar la factibilidad de instalar un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas que provea de electricidad al edificio 4 del Instituto Tecnológico Superior de la Venta.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Analizar el consumo energético teórico y real del edificio 4 del ITSLV, tomando en cuenta las estaciones del año.
- Identificar el tipo de panel fotovoltaico adecuada para el edificio 4, tomando en cuenta los factores ambientales.
- Calcular el número de paneles fotovoltaicos necesarios para abastecer la demanda energética del edificio 4.
- Modelar el sistema de paneles fotovoltaicos en el software Solidworks que se adecue a los espacios disponibles para su instalación en el techo del edificio 4.
- Evaluar el costo-beneficio de la instalación del sistema fotovoltaico para el edificio 4.

1.5 HIPÓTESIS.

H₀= El uso de paneles solares en el edificio 4 disminuirá el costo de la facturación eléctrica mensual en el ITSLV, haciendo factible su instalación.

H_a= El uso de paneles solares en el edificio 4 no disminuye significativamente el costo de la facturación eléctrica mensual en el ITSLV.

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.

2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

2.1.1 La radiación solar.

La radiación solar es la energía electromagnética que surge en los procesos de fusión del hidrógeno contenido en el Sol. La energía solar que en un año llega a la Tierra a través de la atmósfera es aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la Tierra fuera de la atmósfera de la cual 70% llega al mar y la energía restante (1.5×10^{17} kW-h) a tierra firme. La radiación solar recolectada fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar y es igual a 1353 W/m^2 , variable durante el año en un $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre. El valor máximo medido sobre la superficie terrestre es de aproximadamente 1000 W/m^2 , en condiciones óptimas de Sol a mediodía y en un día de verano despejado [3].

La radiación solar que llega a la superficie terrestre puede ser directa o difusa. Mientras la radiación directa incide sobre cualquier superficie con un ángulo de incidencia único y preciso, la difusa cae en esa superficie con varios ángulos. Cuando la radiación directa no incide sobre una superficie a causa de un obstáculo, el área en sombra no se encuentra completamente a oscuras debido a la contribución de la radiación difusa. Esta observación tiene importancia técnica para los dispositivos fotovoltaicos (FV), que pueden funcionar en algunos casos solamente con radiación difusa. Una superficie inclinada puede recibir la radiación reflejada por el terreno, por espejos de agua o por otras superficies horizontales, fenómeno conocido como albedo. Las proporciones de radiación directa, difusa y albedo (figura 6) recibida por una superficie dependen de [4]:

- Las condiciones meteorológicas: En un día nublado la radiación es prácticamente difusa en su totalidad; en un día despejado con clima seco predomina la componente directa que puede llegar hasta el 90% de la radiación total [4].

- La inclinación de la superficie respecto al plano horizontal: Una superficie horizontal recibe la radiación difusa máxima si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie [4].
- La presencia de superficies reflectantes: Debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación albedo aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno [4].

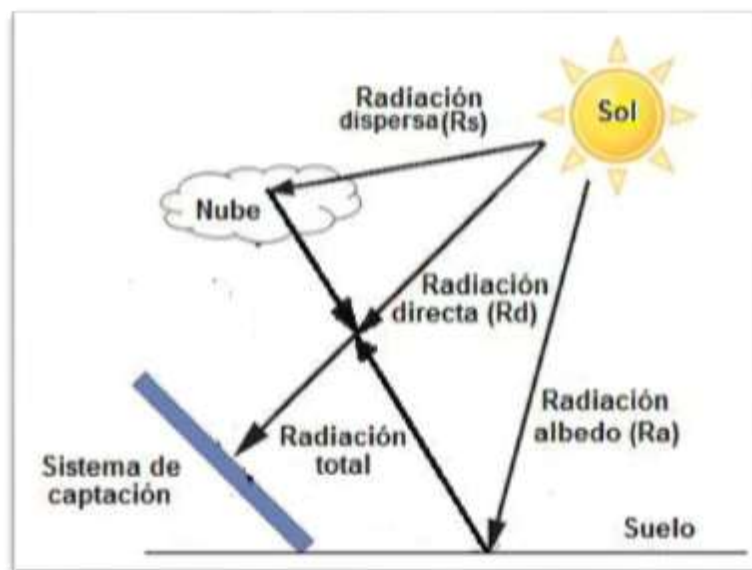


Figura 7. Componentes de la radiación solar terrestre.

La relación entre la radiación difusa y la total (Figura 7), varía en función del lugar, ya que al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente difusa y aumenta la componente albedo. Por ello, la inclinación que permite maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar. La posición óptima se obtiene cuando la superficie está orientada al Sur, esto maximiza la radiación solar captada recibida durante el día, con un ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar [4]. La radiación solar total que cae sobre una superficie se calcula con la ecuación 1:

$$R_t = R_d + R_s + R_a \quad (1)$$

Dónde: R_d es la radiación directa, R_s es la radiación difusa y R_a corresponde a la radiación de albedo.

El aprovechamiento de la energía del Sol está condicionado por la intensidad de radiación que se recibe en la Tierra (figura 8). La radiación varía según la latitud del lugar, el momento del día, las condiciones atmosféricas y climatológicas. La unidad métrica utilizada para la radiación es el W/m^2 que expresa la cantidad de energía que llega a un área de un metro cuadrado [5].

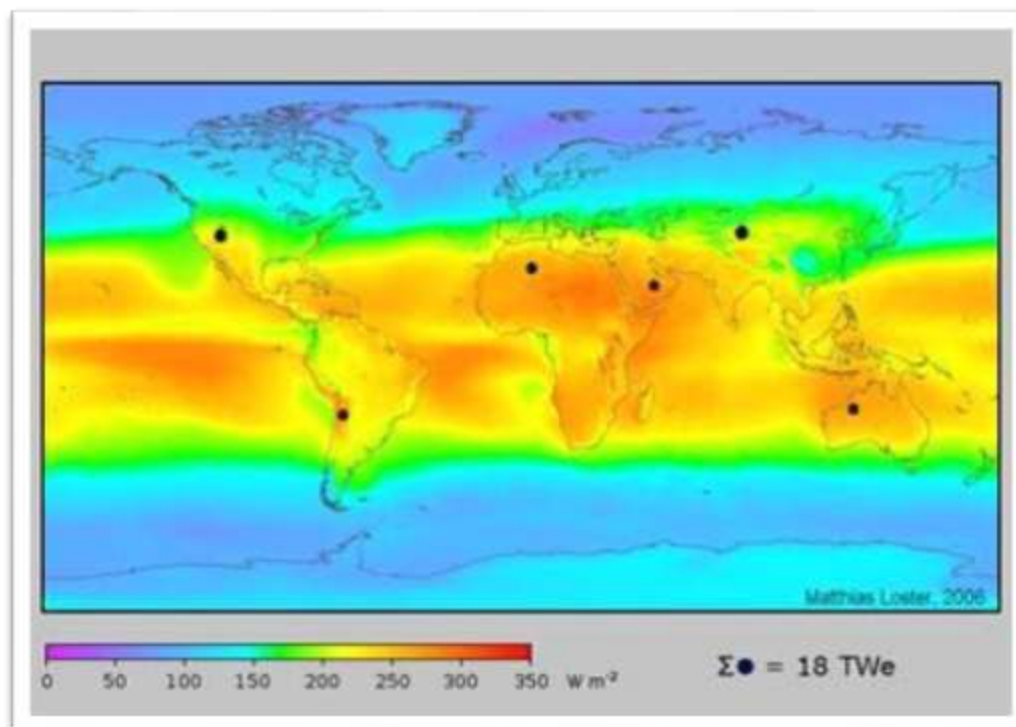


Figura 8. Intensidad de radiación solar a nivel mundial.

El fenómeno de la radiación solar permite obtener la energía del sol para ser aprovechada de distintas formas y por distintos dispositivos, como son:

- **Energía fototérmica:** Cuando la radiación solar es aprovechada para el calentamiento.
- **Energía fotovoltaica:** Cuando la radiación solar se aprovecha para la generación de electricidad a través del efecto FV.

México tiene una alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio como lo muestra la figura 9; la zona norte es de las más soleadas del mundo con una radiación media anual de aproximadamente 5 kWh/m². Por lo que es uno de los países a nivel mundial que presenta condiciones ideales para el aprovechamiento masivo de este tipo de energía, sin embargo este potencial no se ha aprovechado ampliamente [5].

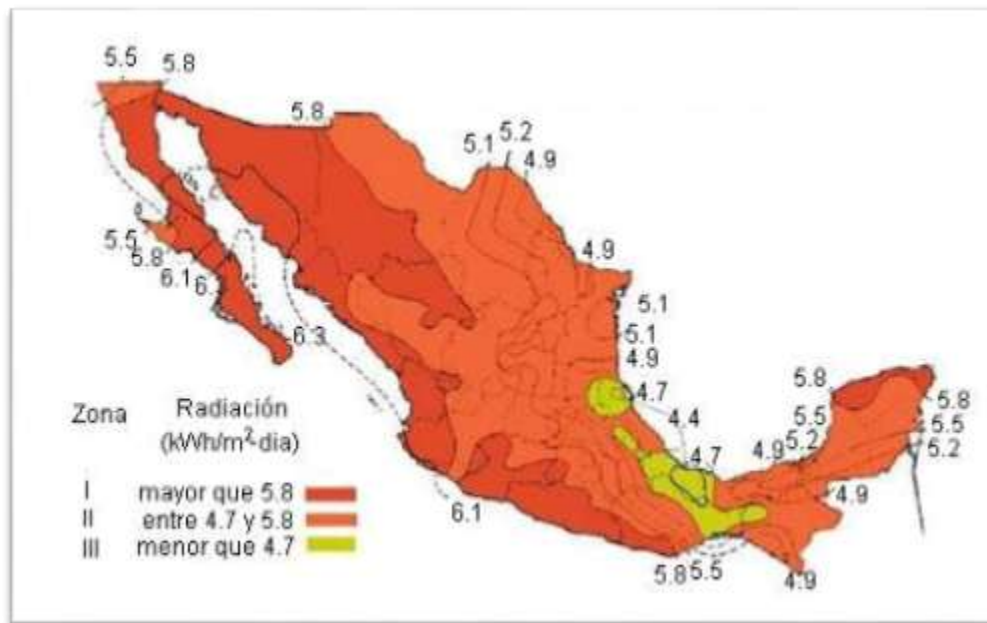


Figura 9. Radiación solar promedio anual en la República Mexicana.

2.1.2 Efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico es cuando se convierten los fotones de luz en energía eléctrica capaz de impulsar los electrones despididos del material semiconductor a través de un circuito exterior. La luz del sol está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estas partículas energéticas son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Al incidir los fotones sobre una célula fotovoltaica, pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden pasar a través. Los fotones absorbidos son los que transfieren su energía a los electrones de los átomos de las células.

Hay que lograr extraer los electrones liberados fuera del material antes de que éstos vuelvan a recombinarse con los 'huecos'. Una forma de lograr esto es introducir en el material semiconductor elementos químicos que contribuyan a producir un exceso de electrones y de huecos. Estos elementos que alteran significativamente las propiedades intrínsecas de los semiconductores, se denominan dopantes y el proceso de su incorporación al semiconductor se llama dopado. Al material semiconductor se le ha de realizar un tratamiento especial, para que la energía originalmente cedida por el fotón a los electrones de dicho material no se convierta en calor inútil, tras unos cuantos choques del electrón en su movimiento a través de la red atómica. Por ejemplo; un dopante adecuado para el silicio es el boro, el cual tiene un electrón de enlace menos que el silicio y, por tanto, cada átomo de boro puede unirse con sólo tres átomos de silicio, dejando un hueco, dando lugar a la estructura denominada, semiconductor de tipo P (positivo) [6].

La conversión directa de la energía solar en energía eléctrica se debe al fenómeno físico de la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, fenómeno conocido como efecto FV. El objeto físico en el que este fenómeno tiene lugar es la celda solar, que es un diodo con la característica esencial de tener una superficie de unas decenas de cm^2 .

Para describir el efecto FV se emplea conceptualmente el funcionamiento del diodo unión n-p (figura 10), el elemento más utilizado para la realización de las celdas solares es el silicio [3].



Figura 10. Símbolo del diodo.

El silicio tiene 14 electrones de los que 4 son de valencia, disponibles para unirse con electrones de valencia de otros átomos. En un cristal de silicio químicamente puro,

cada átomo está unido de forma covalente con otros 4 átomos, así que dentro del cristal en consecuencia del enlace químico no hay electrones libres. Algunos átomos de silicio en cristal se sustituyen con átomos de fósforo, elemento que tiene 5 electrones de valencia: 4 serán utilizados para enlaces químicos con átomos adyacentes de silicio, mientras que el quinto puede ser separado del átomo de fósforo mediante energía térmica y así tener libertad de movimiento. De forma análoga, si la sustitución se realiza con átomos de boro, que sólo tiene 3 electrones de valencia, faltará un electrón para completar los enlaces químicos con los átomos adyacentes de silicio. Este electrón que falta actúa como si fuera un electrón positivo y se llama agujero o hueco [3], (figura 11).

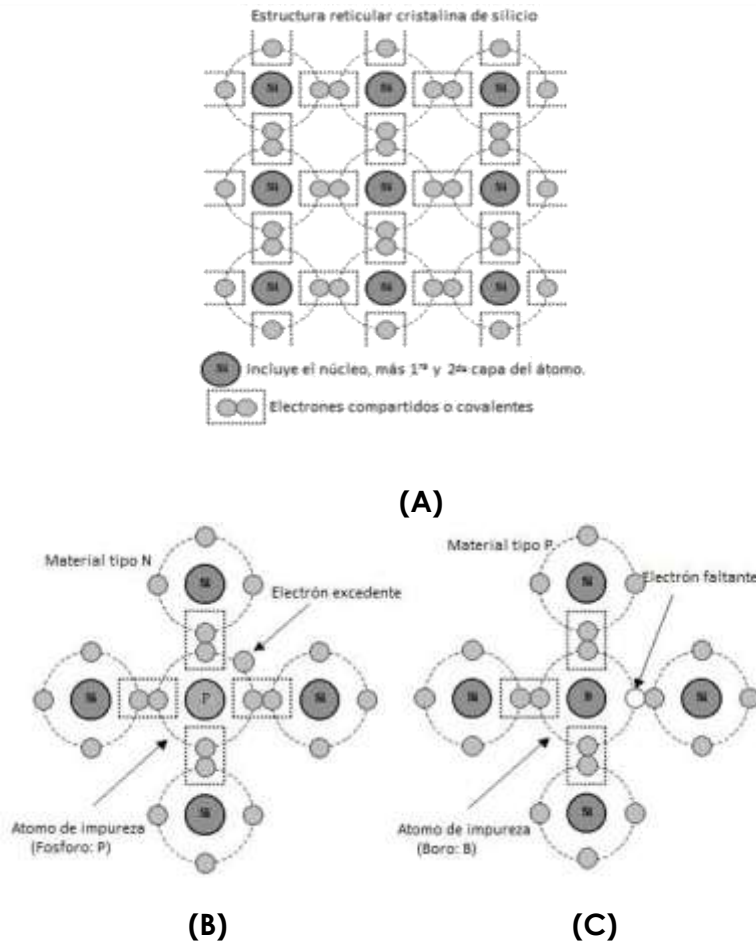


Figura 11. Comportamiento del silicio en una celda solar (A), estructura de Si (B), estructura del Si con P (C)

Los electrones libres en el material "n" verán a la izquierda una región en la que no existen electrones libres y habrá un flujo de estos portadores hacia la izquierda en el intento de restablecer el equilibrio. De forma análoga, los huecos verán a su derecha una región en la que no hay huecos y habrá un flujo de cargas positivas hacia la derecha. Por consiguiente, en la región de unión de los dos materiales se ha creado un campo eléctrico que se hace cada vez más grande a medida que los huecos y los electrones continúan difundándose hacia lados opuestos. El proceso continúa hasta que el potencial eléctrico alcanza un tamaño que impide la posterior difusión de electrones y huecos [3].

Cuando se alcanza este equilibrio se habrá creado un campo eléctrico. Por lo que el efecto FV se da de la siguiente forma: Si un fotón (partícula que constituye un rayo solar) entra en la zona "p" del material con una energía mayor que la barra de potencial será absorbido y creará una pareja electrón-hueco. El electrón liberado se moverá hacia la derecha a causa del potencial eléctrico. En cambio, si un fotón entra en la zona "n", el hueco creado se moverá hacia la izquierda. Este flujo producirá una acumulación de cargas positivas en la izquierda y de cargas negativas en la derecha, dando origen a un campo eléctrico. Cuantos más fotones llegan a la unión, los campos tienden a anularse el uno con el otro, hasta llegar al punto en el que ya no haya un campo interno que separe cada pareja electrón-hueco. Esta es la condición que determina la tensión a circuito abierto de la celda FV. Finalmente, poniendo unos electrodos (contactos metálicos) sobre la superficie de la celda se puede utilizar el potencial creado [3].

2.1.3. Celda Fotovoltaica.

La celda FV es un dispositivo formado por una lámina delgada de material semiconductor. Una celda FV tiene un espesor entre 0.25 mm y 0.35 mm y es de una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximada de 100 cm². Para la realización de las celdas el elemento más utilizado es el silicio usado por las industrias electrónicas cuyo proceso de fabricación presenta costos muy altos por la pureza del Si requerida en esta aplicación.

Actualmente, el material más eficiente es el silicio mono-cristalino que presenta características y duración en el tiempo superior a cualquier otro material utilizado para el mismo fin; la conversión de la radiación solar en una corriente eléctrica tiene lugar en la celda FV (figura 12) [3].

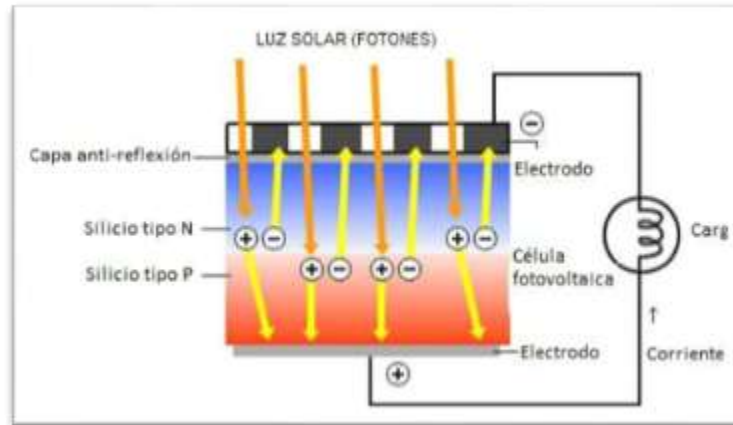


Figura 12. Sección de una celda Fotovoltaica.

Otros materiales para la realización de las celdas FV son [3]:

- Silicio Mono-cristalino con rendimiento energético desde 15% hasta 17%.
- Silicio Poli-cristalino con rendimiento energético desde 12% hasta 14%.
- Silicio Amorfo con rendimiento energético menor del 10%.
- Otros materiales son: Arseniuro de galio, diseleniuro de indio y cobre, telurio de cadmio.

Los paneles o módulos fotovoltaicos (llamados comúnmente paneles solares, aunque esta denominación abarca además otros dispositivos) están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos mediante el efecto fotoeléctrico [6].

2.1.4. Módulos Fotovoltaicos.

Las celdas FV constituyen un producto intermedio de la industria FV, proporcionan valores de tensión y corriente limitados, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales, son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y sin un soporte mecánico. Por lo que estas son ensambladas para constituir una estructura única: los módulos FV. El módulo FV es una estructura robusta y manejable sobre la que se colocan las celdas FV. Los módulos pueden tener diferentes tamaños desde 0.5 m² hasta 1.3 m² y constan normalmente de 36 celdas conectadas eléctricamente en serie (figura 13) [3].

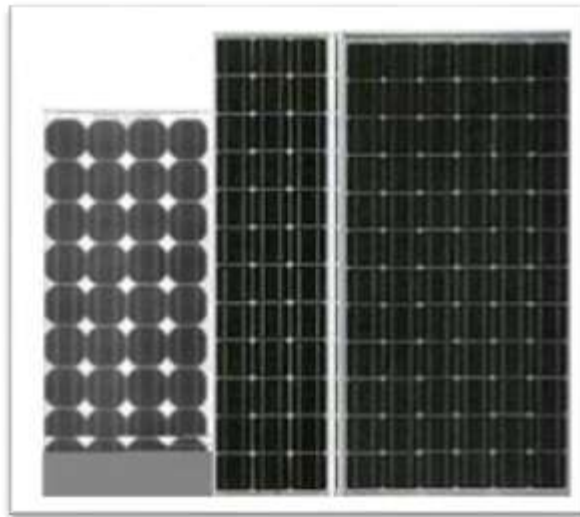


Figura 13. Módulos fotovoltaicos presentes en el mercado.

Las características eléctricas principales de un módulo FV son las siguientes [7]:

- **Potencia pico:** Potencia suministrada por el módulo en condiciones normalizadas de prueba).
- **Radiación solar:** 1000 W/m².
- **Temperatura:** 25 °C.
- **Corriente nominal:** Corriente máxima suministrada por el módulo.
- **Voltaje nominal:** Voltaje máximo suministrada por el módulo.

Los módulos FV generan electricidad durante todo el año, mientras se tenga radiación solar. Normalmente en verano es cuando más electricidad genera, debido a la mayor duración del tiempo soleado, aunque la inclinación de los módulos también es importante. En los días nublados también se genera electricidad, aunque el rendimiento energético se reduce proporcionalmente a la reducción de la intensidad de la radiación. La vida de los módulos FV está entre 25 y 30 años; en el mercado se tienen módulos con garantías de 10, 15 y 20 años. Estos componentes nunca dejan de generar electricidad, aunque por lo menos en 10 años las celdas FV reducen su potencia en un 10%.

2.1.5. Sistemas Fotovoltaicos (SFV).

Los sistemas fotovoltaicos se refieren a una amplia variedad de sistemas de energía solar que usan paneles hechos de celdas de silicio policristalino o monocristalino, las cuales son empleadas para convertir energía solar en electricidad. En la conferencia internacional de energía limpias en el 2009, Carbone menciona que la eficiencia de estos sistemas estaba entre un 20% y un 40%. Estos sistemas han sido investigados ampliamente a nivel mundial debido a su impacto ambiental. Estos sistemas emplean electrónica de potencia e inversores dc-ac y convertidores dc-dc son requeridos para integrar el sistema SFV con la red de distribución [8].

Varios módulos ensamblados mecánicamente entre ellos forman el panel, por lo que un SFV está formado por el conjunto de paneles FV, componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, en energía eléctrica utilizable.

Los SFV generan electricidad a partir de la intensidad de la radiación solar, no del calor; por lo que el frío no representa ningún problema para el aprovechamiento. Los paneles FV pueden ser conectados en serie, en paralelo o la combinación adecuada para obtener la corriente y tensión eléctrica necesaria para una determinada aplicación.

Los módulos FV que forman el SFV (figura 14), están montados sobre una estructura mecánica capaz de sujetarlos y que está orientada para optimizarla radiación solar.

La cantidad de energía producida por un SFV varía durante el año en función de la radiación de la localidad y de la latitud de la misma [3].

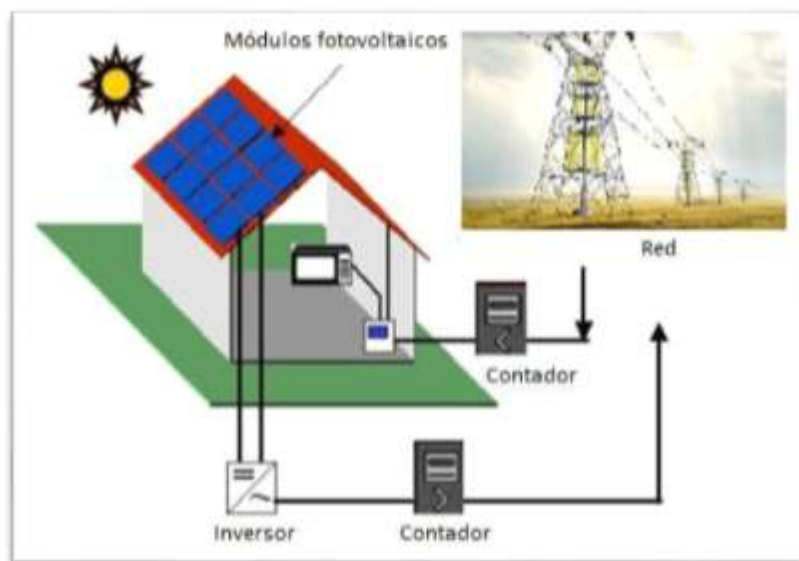


Figura 14. Sistema fotovoltaico conectado a la red.

Para cada aplicación, el SFV tendrá que ser dimensionado teniendo en cuenta los siguientes aspectos [3]:

- Carga eléctrica.
- Potencia pico.
- Latitud del lugar y radiación solar media anual del mismo.
- Características arquitectónicas específicas del edificio.
- Características eléctricas específicas de la carga.
- Posibilidad de conexión a la red eléctrica.

2.1.6. Criterios de diseño de un SFV.

A continuación, se describen las etapas para establecer los criterios de diseño de un SFV [3].

- **Cálculo de la energía consumida diariamente**

Un método de cálculo consiste en obtener mediante tablas adecuadas las horas equivalentes del lugar considerado y la inclinación deseada de los módulos FV. Se define como "hora equivalente u hora pico solar" el período de tiempo en el que la radiación solar toma un valor igual a 1000 W/m². Esta metodología es utilizada en los cálculos de las dimensiones de una instalación FV y en la energía consumida diariamente. La energía consumida diariamente se expresa con la ecuación 2 [3].

$$E_c = P_{Total} \times t \quad (2)$$

Donde:

E_c = Energía consumida al día, W.

t = Tiempo de utilización, h.

P_{Total} = Potencia total hora, W.

- **Verificación de la aptitud del lugar**

Un aspecto fundamental en la localización de los módulos es asegurar que no existen obstáculos que puedan dar sombra, al menos durante las horas centrales del día (vegetación, edificios, elementos constructivos, otros módulos, etc.). Estas características determinan la ubicación del SFV, su exposición respecto al Sur geográfico, la mayor inclinación sobre el plano horizontal, y las características de las estructuras de soporte.

La integración de módulos FV en la edificación siempre debería tener en cuenta adicionalmente los criterios de la arquitectura bioclimática y atender a las características particulares de cada climatología de manera que se asegure que la temperatura de los módulos no se incremente sustancialmente ya que disminuiría su eficacia.

Además, ayudaría a evitar que se produzcan acumulaciones de calor en el edificio que pudieran forzar un aumento significativo del consumo de energía para el acondicionamiento de aire. La superficie que ocupa este tipo de instalación depende de la potencia a instalar y del tipo de módulos utilizados.

- **Elección de la inclinación de los módulos**

La inclinación óptima de los módulos FV depende de la latitud del lugar donde se van a instalar [1].

Datos de mapas google 2016, INEGI		
Latitud	Longitud	Altitud
18.111414	-94.039798	16

Tabla 1. Latitud y longitud ITSLV.

Para calcular la inclinación de los módulos puede tomarse como referencia inicial la latitud del lugar, lo que es posible siempre que no haya exigencias de tipo arquitectónico que lo impidan, La latitud, longitud y altitud de la ubicación del ITSLV se muestran en la Tabla 1. La latitud del sitio puede ser utilizada inicialmente para calcular la orientación e inclinación que debe poseer un Sistema Fotovoltaico (figura 15).

Los techos horizontales son convenientes para la instalación de un SFV, debido a que el montaje puede realizarse en estructuras con condiciones óptimas de orientación e inclinación ya que son aspectos determinantes para su producción eléctrica.

Si se establece una orientación hacia el Sur geográfico y un ángulo de inclinación igual al ángulo de latitud, se maximiza la producción en términos anuales, la inclinación se selecciona para aumentar la captación del mes con menos radiación; el ángulo es tal que el mínimo anual una vez inclinado sea el máximo respecto a las otras inclinaciones, por lo que se mejora la captación en una época y se desfavorecer en otra (Tabla 2).

Es usual que la inclinación óptima equivalga a un ángulo respecto a la horizontal dado por la ecuación 3 [1].

$$\text{Inclinación} = \text{Latitud} + 10^\circ \text{C} \quad (3)$$

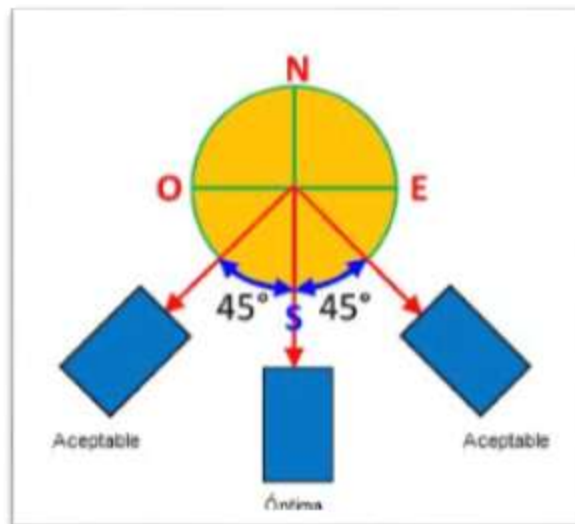


Figura 15. Orientación del módulo FV para máxima producción anual.

Ángulo de inclinación	Resultado
Latitud	Generación eléctrica máxima anualizada, durante la primavera y el otoño
Latitud - 15°	Generación eléctrica máxima en verano
Latitud + 15°	Generación eléctrica máxima en invierno

Tabla 2. Ángulo de inclinación para la generación eléctrica máxima.

En cualquier caso, es recomendable una inclinación superior a 10° para permitir que el agua de la lluvia escurra; y donde neva con cierta frecuencia es recomendable una inclinación superior a 45° , para favorecer el deslizamiento de la nieve.

No obstante se debe procurar acercarse lo más posible a las condiciones óptimas de instalación. En caso de que los techos ya posean cierta inclinación, su orientación deberá ser preferentemente hacia el Sur geográfico y en ningún caso al Norte, si el montaje es horizontal, la ganancia energética es menor, pero puede ser aceptable estimándose una reducción en la producción de menos el 10% [1].

- **Evaluación de las pérdidas de sistema**

Es necesario tener en cuenta las pérdidas/caídas de tensión introducidas por los componentes que forman el sistema (baterías, regulador de carga, cables de conexión, etc.) Suponiendo que las pérdidas totales del sistema sean aproximadamente del 30%, entonces es necesario aumentar en el mismo porcentaje la potencia pico del SFV [3].

- **Selección del inversor**

El inversor es uno de los componentes más importantes en los sistemas conectados a red, ya que maximiza la producción de corriente del dispositivo FV y optimiza el paso de energía entre el módulo y la carga. Es un dispositivo que transforma la energía continua producida por los módulos (12 V, 24 V, 48 V) en energía alterna (generalmente 220 V), para alimentar el sistema y/o introducirla en la red con la que trabaja en régimen de intercambio. Existen diferentes tipos de inversores, pero se recomienda seleccionarlo en función del tamaño de la instalación que se pretende realizar. El inversor se instala entre el SFV y el punto de conexión a la red. En el mercado también se encuentran inversores incorporados a los módulos FV, formando un único sistema compacto que se puede conectar directamente a las cargas, debe proporcionar la potencia que pueda estar conectada, ya sea así el caso más crítico es cuando todas las cargas están conectadas al sistema.

Así que el tipo que hay que utilizar se puede identificar una vez decidida la potencia del SFV y por lo tanto el número de módulos FV. En el caso de un sistema aislado, es necesario evaluar la potencia total máxima que tendrá que conectarse al inversor además de tener en cuenta la forma de la onda producida [3].

El voltaje en la corriente continua es constante y la carga eléctrica fluye en una sola dirección. Por el contrario, en la corriente alterna la magnitud y dirección de flujo cambia de forma periódica con valles y picos que aparecen a intervalos regulares. El inversor de voltaje utiliza circuitos electrónicos para hacer que el flujo de la corriente continua cambie de dirección de forma periódica haciéndola similar a la corriente alterna. El inversor además emplea una serie de filtros para hacer que estos cambios de dirección sean suaves y regulares de forma que la energía eléctrica resultante puede ser usada en la mayoría de dispositivos eléctricos domésticos. La mayoría de dispositivos electrónicos necesitan suministro de corriente alterna para funcionar correctamente ya que, por lo general, son fabricados para ser conectados a la red eléctrica doméstica, la cual es de corriente alterna. Sin embargo, estos aparatos necesitan que la electricidad que reciben tenga un voltaje específico, continuo y bien regulado. La corriente alterna es mucho más fácil de regular y su voltaje más fácil de cambiar que en la corriente continua, por ello es frecuente ver inversores en aparatos electrónicos, como en las fuentes de alimentación del PC, que regula la corriente alterna hasta cumplir las especificaciones del aparato y luego vuelve a ser convertida internamente a corriente continua para un suministro de intensidad constante [10].

Las baterías y los generadores de energías renovables, producen corriente continua mientras que la mayoría de aparatos eléctricos funcionan con corriente alterna; por esto el principal uso de los inversores es transformar la energía eléctrica continua disponible en corriente alterna que pueda ser utilizada por la mayoría de los aparatos eléctricos. Los inversores de voltaje más básicos son dispositivos pequeños que se pueden conectar directamente a la salida de corriente continua del coche. Con este inversor es suficiente para hacer funcionar un ordenador portátil, un DVD portátil, cargar teléfonos móviles y aparatos similares.

Todos se pueden utilizar ininterrumpidamente mientras el vehículo está en marcha si bien puede no durar más de media hora con el motor del vehículo parado. También se pueden encontrar inversores que se conectan directamente a la batería a través de cables.

Otros inversores más grandes se utilizan para convertir la energía eléctrica generada por molinos de viento o por placas fotovoltaicas en corriente alterna para que pueda ser suministrada a los hogares a través de la red eléctrica general [10].

2.1.7 Clasificación de los SFV por su estructura.

Los SFV, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías [1]:

- Sistemas Fotovoltaicos Aislados.
- Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR).

2.7.1.1 Sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR)

La conexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica está sujeta a la cantidad de potencia que se desea inyectar lo cual se refleja en la cantidad de módulos con los que se cuenta. Varios módulos conectados en serie son conocidos como una cadena o string y varios string conectados en paralelo constituyen un arreglo PV [11]. Debido a que el voltaje generado por el arreglo PV es de tipo dc se requiere de un inversor que permita acondicionar el voltaje generado a un nivel ac.

Los principales componentes que forman un SFCR son:

- Módulos FV.
- Inversor para la conexión a red.
- Dispositivo de intercambio con la red eléctrica.
- Medidor de energía bidireccional.

Los módulos FV para SFCR están disponibles en capacidades de 100 Wp a 320 Wp nominales.

Esta potencia corresponde a condiciones normalizadas con radiación solar de 1 000 W/m², temperatura de módulo de 25°C y sin viento. Las tensiones nominales de módulos y arreglos en sistemas autónomos pueden ser de 12 V, 24 V y 48 V, convenientes para acoplarse a bancos de baterías, sin embargo en sistemas conectados con la red se configuran tensiones más elevadas, típicamente de 90 V a 900 V. Determinada la energía consumida, esta tiene que ser suministrada por una fuente y es representada por un panel de módulos FV conectados entre sí de tal forma que son capaces de suministrar la energía necesaria para alimentar la carga eléctrica. Por lo tanto, no solo deben ser capaces de suministrar la energía que se consume a lo largo del día, sino estar un poco sobredimensionados como lo muestra la ecuación 4 [1].

$$M = \frac{E_c}{E_{gm} \times N_{sis}} \quad (4)$$

Donde:

M= Número de módulos FV, sin unidades.

E_c= Energía consumida diariamente, W-h.

E_{gm}= Energía generada diariamente por cada módulo, W-h.

N_{sis}= Eficiencia combinada de los controladores, baterías e inversores.

Como cada fabricante suministra la eficiencia de sus equipos electrónicos, el término N_{sis} se puede obtener multiplicando la eficiencia de cada uno de los elementos (controlador de carga, inversor, etc.). Sin embargo la ecuación 4 no contempla los parámetros técnicos de los módulos, un factor de sobredimensionamiento, ni el nivel de radiación en el área de estudio, por lo que la ecuación anterior se modifica a la ecuación 5 [1].

$$M = \frac{E_c}{V_m \times I_m \times h_p} \quad (5)$$

Donde:

M= Número de módulos FV, sin unidades.

E_c= Energía consumida diariamente, W-h.

V_m= Tensión máxima del módulo, V.

I_m= Corriente máxima del módulo, A.

h_p= Radiación en la localidad, h_p.

Medidor bidireccional.

Este tipo de medidor, además de poder medir el consumo de energía eléctrica de la compañía girando en el sentido normal puede girar de manera contraria, haciendo posible que la CFE (Comisión Federal de Electricidad) reste a la factura la energía que se está generando y sume a favor la energía de exceso, lo que evita la instalación de un banco de baterías para almacenamiento de electricidad.

Un medidor bidireccional funciona de la siguiente forma: durante el día se produce energía eléctrica con los paneles solares fotovoltaicos, el medidor se encarga de calcular esta energía y restarla al consumo del servicio de electricidad.

Existen dos conceptos fundamentales al hablar de medición de energía, estos son:

1. Medición neta de energía (Net metering).- Es el intercambio de flujos de energía entre la Central Eléctrica y a uno o más Centros de Carga con las Redes Generales de Distribución, compensando la energía entregada con la Central Eléctrica de Generación Distribuida con la energía recibida por uno o más usuarios finales.
2. Facturación Neta (Net billing).- Son los flujos de energía eléctrica recibidos y entregados desde y hacia las Redes Generales de Distribución.

2.7.1.2 Sistemas fotovoltaicos no conectados a la red.

Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico aislado son:

- Módulos fotovoltaicos
- Regulador de carga
- Inversor
- Sistema de acumulación (baterías de acumulación)

En este tipo de sistemas, la energía producida por los módulos fotovoltaicos es almacenada en baterías de acumulación. La carga es alimentada, a través del regulador de carga, por la energía acumulada en las baterías.

El regulador de carga sirve fundamentalmente para preservar los acumuladores de un exceso de carga por el generador fotovoltaico y de la descarga por el exceso de uso. Ambas condiciones son nocivas para la correcta funcionalidad y la duración de los acumuladores. Ya que normalmente la potencia requerida por el usuario no es proporcional a la radiación solar (y, por consiguiente, a la producción eléctrica de un sistema fotovoltaico) una parte de la energía producida por el campo fotovoltaico tiene que ser almacenada para poder ser reutilizada cuando el usuario la necesite. Este es la finalidad del sistema de acumulación. Un sistema de acumulación está formado por un conjunto de acumuladores recargables, dimensionado de forma que garantice la suficiente autonomía de alimentación de la carga eléctrica.

Las baterías que se utilizan con esta finalidad son acumuladores de tipo estacionario y sólo en casos muy especiales es posible utilizar baterías tipo automoción [3].

Las baterías para uso fotovoltaico tienen que cumplir los siguientes requisitos:

- Bajo valor de autodescarga
- Larga vida útil
- Mantenimiento casi nulo
- Elevado número de ciclos de carga-descarga

En cuanto al inversor, su finalidad en los sistemas aislados es la de transformar corriente continua (CC) producida por el campo fotovoltaico, en corriente alterna (CA), necesaria para la alimentación directa de los usuarios. En este caso, el inversor tiene que estar dimensionado para poder alimentar directamente la carga que se le quiere conectar. Es evidente que, de todos modos, el inversor en este tipo de instalaciones (sistemas aislados) no es un componente indispensable. De hecho, es posible incluso alimentar directamente con corriente continua de baja tensión la carga [3].

2.1.8 Mantenimiento al SFCR.

El mantenimiento de los SFCR es mínimo, y de carácter preventivo; no tiene partes móviles sometidas a desgaste, ni requiere cambio de piezas ni lubricación. Entre otras cuestiones, se considera recomendable realizar revisiones periódicas de las instalaciones, para asegurar que todos los componentes funcionan correctamente. Dos aspectos a tener en cuenta son, asegurar que ningún obstáculo haga sombra sobre los módulos, y mantener limpias las caras expuestas al sol de los módulos FV. Los SFCR tienen muy pocas posibilidades de avería, especialmente si la instalación se ha realizado correctamente y si se efectúa un mantenimiento preventivo. Básicamente, las posibles reparaciones que puedan ser necesarias son las mismas que cualquier aparato o sistema eléctrico, y que están al alcance de cualquier electricista autorizado. En muchos casos se pueden prevenir las averías, mediante la instalación de elementos de protección como los interruptores termomagnéticos [1].

En los SFCR, como en cualquier otro tipo de instalación eléctrica de tensión baja, existe la posibilidad de descarga eléctrica y/o cortocircuito. Aunque el riesgo es muy bajo, para evitarlo existen los dispositivos de protección que se montan en las instalaciones normales: termomagnéticos, derivaciones a tierras, aislantes, etc. Los tejados FV no deben suponer un riesgo añadido para las personas ocupantes del edificio, ni para la red eléctrica y sus equipos.

Para prevenir riesgos, hay que tener en cuenta la importancia de la conexión a tierra de todos los elementos metálicos como medida importante para la seguridad de las personas. Los SFCR no conllevan la exigencia de instalar pararrayos, aunque la instalación de conductores a tierra en los elementos externos puede contribuir a disminuir el efecto electrostático de los rayos [1].

2.1.9 Costos de un SFV.

Existen dos conceptos de costo que se debe tomar en cuenta al considerar la adquisición de un SFV: el costo de inversión y el costo de energía. El costo de inversión de un SFV depende de diversos factores, como son [1]:

- La capacidad del sistema.
- La preparación y ejecución del proyecto, lo que incluye diseño, instalación, conexión y puesta en marcha del sistema.
- Las características tecnológicas y económicas de los componentes, principalmente de los módulos y el inversor.
- Si el sistema se instala en el techo o a nivel de piso, o bien, si será un elemento integral de techos y fachadas.

El costo de energía se refiere al costo por cada kW-h de electricidad producida por el SFV. En el ámbito técnico se denomina costo nivelado de energía y se puede comparar directamente contra el precio de electricidad de la red. En su determinación intervienen los siguientes factores [1]:

- El monto de la inversión.
- La eficiencia con la cual se estará efectuado la conversión de energía solar a eléctrica.
- La localidad donde se instalará el sistema.
- La afectación por sombras.
- La vida útil del sistema.

Los sistemas fotovoltaicos requieren una importante inversión de capital inicial, pero tienen unos gastos de mantenimiento bajos. El análisis de todos los aspectos económicos relativos a un sistema fotovoltaico es complejo. De hecho, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cada aplicación tiene que ser contemplada en su contexto particular, evaluando condiciones locales como, por ejemplo, la normativa, la radiación solar, el espacio disponible, etc.
- Para realizar una comparación correcta es necesario hablar de valor de la energía producida y no de coste de la energía. Esto es así porque la calidad de la energía producida por una fuente fotovoltaica no es la misma que la de las fuentes tradicionales (por el impacto ambiental, la intermitencia de la energía, etc.).
- La vida útil de un generador fotovoltaico es de aproximadamente unos 25 años. Algunas empresas ofrecen garantías que duran incluso todo ese tiempo.
- Existen casos en los que la conexión a la red eléctrica es difícil (refugios alpinos, casas aisladas, etc.) [3].

2.2 FACTOR DE EFICIENCIA Y DE POTENCIA EN INSTALACIONES INDUSTRIALES.

El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) es el conjunto de todos los elementos eléctricos que intervienen directamente en los procesos de generación, transformación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, que forma un todo único de operación conjunta y abarca todas las instalaciones existentes. De aquí se deriva que casi toda la electricidad que consumimos en las industrias, fábricas, hogares, etc., proviene del SEN, y por lo tanto todos los elementos pueden considerarse equipos consumidores de energía eléctrica. Estos equipos consumidores de energía eléctrica se dividen en cuatro clases:

1. Equipos que consumen fundamentalmente energía activa, que es la que se transforma en trabajo mecánico o calor: lámparas incandescentes, hornos de resistencia, planchas eléctricas y otros equipos que funcionan con resistencias puras. Este tipo de energía puede medirse mediante los metrocontadores y, por lo tanto, se paga según las tarifas establecidas.
2. Equipos que consumen fundamentalmente energía reactiva inductiva: reactores de lámparas fluorescentes, bobinas de interruptores magnéticos y bobinas en general, conectados a circuitos de corriente alterna.
3. Equipos que consumen fundamentalmente energía reactiva capacitiva: condensadores y equipos de gran capacitancia conectados al circuito de corriente alterna. Estas dos últimas formas de energía eléctrica de estos consumidores no son medibles mediante los metrocontadores normales que poseemos en nuestras instalaciones, y por lo tanto no se pagan. No obstante, este tipo o forma de energía eléctrica debe ser generada, transmitida y distribuida por el SEN, con las inversiones, gastos y pérdidas de energía relativas al proceso. Por esa razón intentaremos reflexionar sobre la utilización racional de esta forma de energía que, aunque no incide directamente sobre la economía de muchos de los consumidores, ocasiona gastos millonarios a la economía del país.
4. Equipos que consumen los tres tipos de energía mencionados o una combinación de dos de ellas. En la práctica, por lo general, se encuentran los tres tipos de energía en las instalaciones eléctricas de corriente alterna, como es el caso de los motores de inducción con capacitores [12].

La demanda en un motor eléctrico (o cualquier otro consumidor) es la necesidad instantánea de potencia, ya sea activa o reactiva, proveniente del sistema de alimentación. La energía eléctrica se mide según el tiempo que actúa la demanda: $E = Pt$; donde, E es la energía consumida (en Wh); P, la potencia instantánea (en W); y t, el tiempo en que transcurre la demanda (en horas).

A pesar de que la potencia reactiva no produce trabajo útil, puede ser medida por un metro contador reactivo y se expresa en Var-h (esta unidad de medida se utiliza tanto para la energía inductiva como para la capacitiva).

Un equipo consumidor de energía eléctrica (motor eléctrico) demanda los tres tipos de energía o una combinación de dos de ellos, y por lo tanto la potencia total demandada tiene una componente activa (que realiza trabajo útil) y otra componente reactiva (creación del campo magnético), por lo que analíticamente se puede formular en la ecuación:

$$S = P^2 + Q^2 \quad (6)$$

Donde, S es la potencia total; P, la componente activa; y Q, la componente reactiva.

La relación que existe entre la potencia activa y la potencia total se denomina factor de potencia: $\cos \varphi = P/S$. El factor de potencia indica qué tanto por ciento de la potencia total es efectivamente utilizado para realizar trabajo. Por lo tanto, el factor de potencia constituye un índice de la utilización cualitativa y cuantitativa de la energía, que se expresa por el coseno del ángulo entre la potencia activa y la potencia total [12].

2.3 BALANCEO DE CARGAS.

El Balance, "balanceo" o equilibrio de cargas se refiere a lo mismo, es la distribución que debe hacer todo técnico o ingeniero electricista de las cargas existentes en una instalación eléctrica, de tal manera que las fases que la alimentan lo hagan más o menos en la misma proporción para todas. Si la instalación es monofásica es obvio que no se requerirá ningún balance. Si la instalación es bifásica o trifásica por norma oficial tienes que hacerlo.

El equilibrio de las cargas tanto en anteproyectos como físicamente (midiendo las corrientes que circulan por los conductores alimentadores) siempre es una estimación, es sumamente complicado balancearlas y que se mantengan en constante equilibrio a lo largo de las 24 horas del día, es prácticamente imposible dado que su naturaleza es variable tanto en residencias como en comercios o en industrias, pero debe hacerse y debe buscarse que sea lo más cercano posible al equilibrio ideal en donde circularía exactamente la misma cantidad de corriente en las dos o en las tres fases requeridas para alimentarlas.

El desbalance permitido no debe exceder al 5%, lo que quiere decir que las cargas totales conectadas a cada Fase de un sistema bifásico o trifásico no deben ser diferentes una de la otra en un porcentaje mayor al 5% [12].

La ecuación 7 determina el desbalance es la siguiente:

$$\%D = \frac{(CM - cm) \times 100\%}{CM} \quad (7)$$

Donde:

%D=Porcentaje Desbalance

CM = Carga Mayor

Cm = Carga Menor

CAPÍTULO 3 PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN.

3.1 ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO TEÓRICO Y REAL DEL EDIFICIO 4 DEL ITSLV.

3.1.1 Análisis del consumo energético teórico del edificio 4.

CONSUMO ENERGÉTICO TEÓRICO DEL EDIFICIO 4 DEL ITSLV				
EQUIPO	CANTIDAD	CORRIENTE (A)	POTENCIA ELÉCTRICA (W)	CONSUMO TEÓRICO (kWh)
AIRE ACONDICIONADO				
LG SP242CM	23	11.6	2,360	54.28
MIRAGE EXF261D	6	9.6	2,000	12
PRIME EMPRC242-T	3	10.12	2,268	6.8
PRIME EMPRC182-T1	2	7.56	1,697	3.39
LENNOX LM024CI-100P232-X	2	9.56	2,200	4.4
LENNOX LM036CI-100P232-X	1	15.68	3,450	3.45
HISENSE AS-22CR5FFJVQ	2	10.3	2,360	4.72
HISENSE AS-18CRSFVVVQ	1	7.9	1,780	1.78
YORK YYHFXC012BBA-AX	1	9.56	1,071	1.07
TOTAL CONSUMO TEÓRICO MINI SPLIT (KWH)	41			91.9
LÁMPARAS Y PC				
LÁMPARA PHILIPS	386		32	12.35
COMPUTADORAS	11	0.75	100	1.1
TOTAL CONSUMO TEÓRICO LÁMPARAS Y COMPUTADORAS	397			13.45
CONSUMO TOTAL TEÓRICO EDIFICIO 4 (kWh)				105.35
CONSUMO TOTAL TEÓRICO EDIFICIO 4 EN 10 HORAS				1,053.50
CONSUMO TOTAL TEÓRICO EDIFICIO 4 EN 1 MES (24 DÍAS)				25,284.00

Tabla 3. Consumo Teórico Edificio 4. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se observa el consumo teórico de todos los aparatos eléctricos fijos existentes en el edificio 4. Si todos los aparatos se encendieran al mismo tiempo y de forma permanente se demandarían 105.35 kWh en promedio, en una jornada laboral de 10 horas el consumo sería de 1,053.50 kWh y en un mes 30,340.82 kWh. Es notable que el uso de los 41 equipos de aire acondicionado (Minisplit), consumen el 87% de potencia (Watts) demandada por el edificio.

Se consideran 10 horas de utilización debido a que el edificio tiene todos los vidrios polarizados y las lámparas y aire acondicionado están prendidos prácticamente de 08:00 horas hasta las 18:00 horas.

3.1.2 Análisis del consumo energético real del edificio 4.

Se utilizó un medidor de potencia marca Hioki 3286-20 para monitorear el consumo energético real del edificio 4 durante un año. Se tomó la lectura del medidor de lunes a sábado a las 19:00 horas, del mes de Mayo 2015 al mes de Abril 2016. Las lecturas obtenidas son las siguientes:

CONSUMO ENERGÉTICO REAL EDIFICIO 4 DE MAYO 2015 A ABRIL 2016 (KW)												
AÑO	2015								2016			
DÍAS	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENERO	FEB	MARZO	ABRIL
1	390	855	660	784	870	714	732	459	182	263	496	975
2	420	809	590	717	1017	747	777	470	306	255	506	921
3	381	1049	563	677	1010	757	615	475	263	301	466	1001
4	418	1039	537	728	766	933	754	358	229	396	465	812
5	413	891	582	601	785	752	770	356	192	371	500	1054
6	387	891	583	588	792	933	632	488	228	283	534	863
7	333	936	688	615	873	869	774	358	241	279	511	1032
8	373	1005	634	723	883	741	709	378	247	425	507	1003
9	337	791	623	628	1005	854	645	477	280	362	401	1106
10	436	987	521	715	772	877	703	488	185	389	369	1117
11	451	858	556	633	980	809	657	404	269	352	446	1002
12	418	827	571	618	918	1001	569	399	246	380	524	938
13	367	1005	646	554	885	944	704	480	306	323	402	1033
14	390	820	464	656	912	857	605	451	227	431	479	803
15	450	847	528	545	860	867	591	478	267	398	431	830
16	365	836	493	735	975	945	773	424	212	330	455	1012
17	419	993	510	569	769	930	603	460	223	386	400	818
18	404	923	672	694	946	981	619	0	215	356	420	982
19	383	790	534	572	958	851	585	0	187	304	412	0
20	419	821	668	796	882	858	793	0	282	285	407	0
21	379	762	632	685	858	842	784	0	0	349	469	0
22	333	731	664	655	1008	996	607	0	0	384	458	0
23	370	759	671	693	875	738	746	0	0	282	471	0
24	387	780	680	552	1028	952	797	0	0	387	488	0
ACUMULADO MENSUAL (KW)	9,421	21,004	14,268	15,732	21,627	20,749	16,545	7,403	4,786	8,271	11,016	17,302

Tabla 4. Consumo real edificio 4. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 se observa el consumo real del edificio 4, se monitoreo el consumo 24 días por mes, ya que se trabaja de lunes a sábado. El ITSLV ofrece sus servicios académicos por periodos semestrales (Enero-Junio y Julio-Diciembre), en los acumulados mensuales se observa que los meses con menor consumo energético son Diciembre, Enero y Febrero, aparte de ser periodo vacacional coincide con una estación invernal en la cual se disminuye el uso de aire acondicionado.

En los meses restantes el consumo aumenta ya que Tabasco es un estado con clima caluroso, y prácticamente el aire acondicionado se utiliza durante toda la jornada (10 horas).

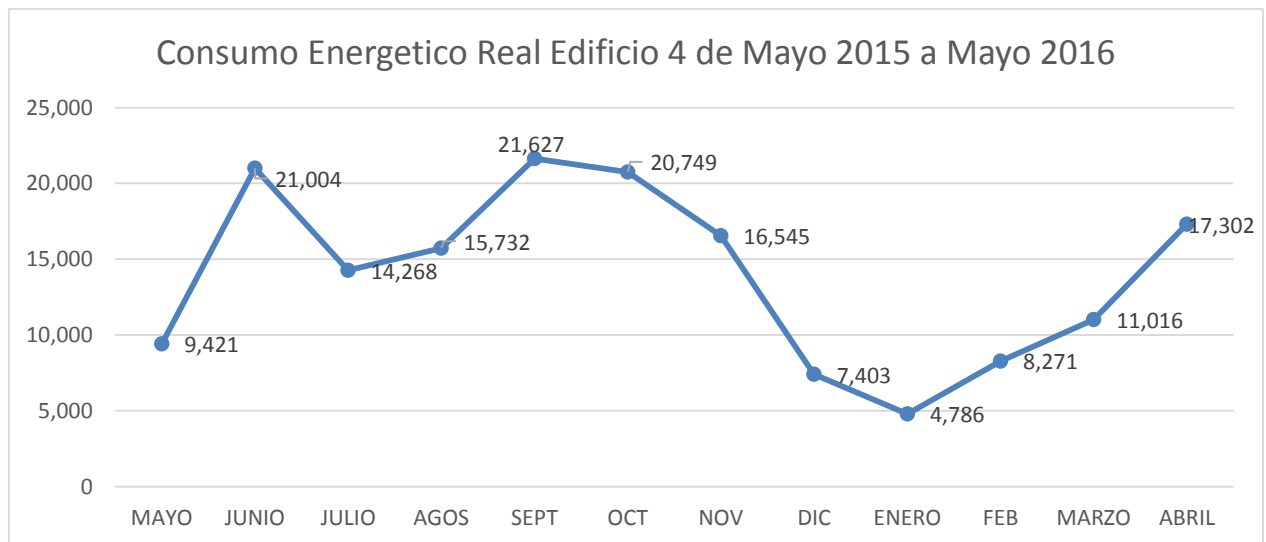


Grafico 1. Consumo energético real. Fuente: Elaboración propia.

En el grafico 1 se observa el acumulado mensual de Mayo 2015 a Abril 2016, los consumos menores se encuentran en los meses de Diciembre, Enero y Febrero, y el máximo consumo en Septiembre.

El consumo energético acumulado anual del edificio4 durante el monitoreo fue de 168,124 kW que multiplicado por \$1.4012 pesos que es el costo promedio por kW de ese periodo resulta en \$235,575.34 pesos. Ver Anexo 1.

En la tabla 5 se aprecia la comparativa del consumo energético teórico del edificio 4 en 12 horas que es de 1,264.20 kW contra el máximo consumo energético real encontrado en la tabla 2 en el mes de Abril fue de 1117 kW, esta variación radica en que algunos equipos salen de operación por mantenimiento correctivo o preventivo o por descomposición, por lo que el consumo puede aumentar con todos los equipos fijos instalados funcionando un 11.6% más.

Consumo energético teórico en 10 horas (kW)	1,264
Consumo energético real acumulado máximo en 24 horas (kW)	1117
Diferencia (kW)	147

Tabla 5. Tabla comparativa consumo teórico-real. Fuente: Elaboración propia.

Utilizando un Amperímetro de gancho marca Fluke-323 se midió la corriente que demandan cada una de las 3 fases del edificio 4, con todos los aparatos eléctricos disponibles funcionando, La fase 1 demanda 135.9 A, la fase 2 demanda 104.1 A, y la fase 3 demanda 94.3 A, por los datos medidos se observa claramente que es necesario realizar un balance de cargas (Figura 16).



Figura 16. Tablero Eléctrico E-4 ITSLV

Utilizando la ecuación 7 se determina que hay un desbalance de al menos un 30.61% de la fase 1 a la fase 3:

$$\%D = \frac{(135.9-94.3) \times 100\%}{135.9} = 30.61\%$$

Es necesario reasignar parte de la carga conectada en la fase 1 a la fase 3.

3.2 ANÁLISIS DEL TIPO DE CELDA FOTOVOLTAICA ADECUADA PARA EL EDIFICIO 4, TOMANDO EN CUENTA LOS FACTORES AMBIENTALES Y LOS COSTOS.

El consumo teórico del edificio 4 en 10 horas según la tabla 3 demanda 1053 kW, el máximo consumo real en 24 horas según la tabla 4 se tiene registrado en Abril 2016 es de 1117 kW.

En la figura 17 se observa que el 95.5% de la superficie del estado de Tabasco presenta clima cálido húmedo, el restante 4.5% es clima cálido subhúmedo hacia la parte este del estado. La temperatura media anual en la entidad es de 27°, la temperatura máxima promedio es de 36° y se presenta en el mes de mayo, la temperatura mínima promedio es de 18.5° durante el mes de enero [13].



Figura 17. Clima Tabasco

El espacio disponible en la azotea del edificio 4 es de 23.06 m x 43.22 m y un área total de 996.65 m².

La temperatura máxima y mínima registrada en el estado están dentro del rango de la mayoría de paneles que se ofertan en el mercado y tomando en consideración que el área disponible es limitada. Seleccionada la energía eléctrica a suministrar, se selecciona un proveedor de módulos FV. Una de las principales razones para la selección de los módulos es la eficiencia y su potencia pico, ya que a mayor eficiencia y potencia, menor número de módulos por instalación y área a utilizar. En este caso se optaron por módulos monocristalinos de 320 W marca Solartec ST2MC320 (figura 18), ya que su potencia es una de la más alta en su clase y su material tiene una mayor eficiencia a comparación de otros materiales, además de que permite al módulo operar sin problemas en múltiples configuraciones de montaje, más datos del módulo FV se muestran en el Anexo 2.

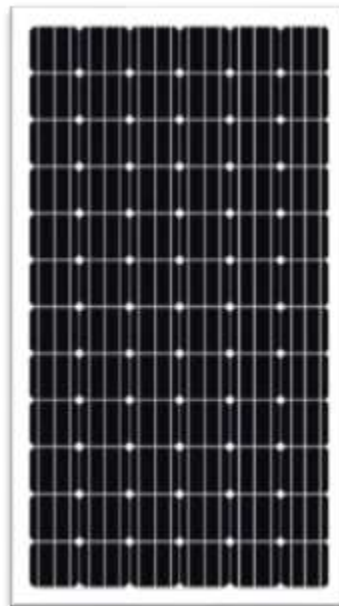


Figura 18. Panel monocristalino 320 W de 1956 mm x 992 mm x 45 mm.

Considerando que el inversor a utilizar debe proporcionar la potencia que pueda estar conectada al sistema y las características de la instalación (monofásica y trifásica) en donde el caso más crítico es cuando todas las cargas (potencia total) están conectadas al SFV, así como los parámetros de entrada del inversor, por lo que se selecciona un inversor Xantrex GT30 para conexión a la red (figura 19) con una potencia máxima de salida de 30 kW, tensión nominal de 120 V/208 V de corriente alterna, 3 fases, 4 hilos, sistema estrella de la marca Schneider Electric, cuyas características se muestran en el anexo 3.



Figura 19. Inversor Xantrex GT30.

3.3 CALCULO DEL NÚMERO DE PANELES FOTOVOLTAICOS NECESARIAS PARA ABASTECER LA DEMANDA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO 4.

Considerando que el sistema de paneles a instalar es interconectado a la red eléctrica general, el espacio disponible para la instalación es 996.65 m², el panel seleccionado tiene una dimensión de 1.9403 m², se suministrara 70% del máximo consumo registrado durante el muestreo, que se encuentra según la tabla 4 en el mes de Abril 2016 que fue de 1117 kW por lo que se suministrara 781 kW.

Se calcula el número de paneles fotovoltaicos utilizando la ecuación 4 para el 70% del máximo consumo registrado en un día que es 781 kW.

Utilizando la radiación en la localidad de la figura 8 que para Tabasco es de 4.9 y los datos del anexo 1, tensión máxima del módulo que es 37.76 V y la corriente máxima del módulo 8.50 A.

$$M = \frac{781 \text{ kW}}{37.76 \text{ V} \times 8.50 \text{ A} \times 4.9 \text{ h}} = 496.59 \text{ Modulos}$$

De acuerdo con el cálculo se necesitan 497 paneles solares fotovoltaicos para cubrir la demanda a suministrar, se instalaran 498 FV para que los inversores queden nivelados.

3.4 CÁLCULO DEL ARREGLO DE LOS PANELES FV.

Para calcular el número de filas de módulos en serie que se van a conectar para un inversor, se emplea la ecuación 8, y para calcular el número de columnas de módulos en paralelo, se emplea la ecuación 3.4.

$$\text{No. filas en serie} = \frac{V_{inv}}{V_m} \quad (8)$$

$$\text{No. columnas en paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_m} \quad (9)$$

Se considera un promedio de tensión de entrada del inversor entre el intervalo de 450 V y 800 V de las especificaciones del Anexo 2 para tomar un solo valor de tensión de entrada.

$$V_{inv} = \frac{450 \text{ V} + 800 \text{ V}}{2} = 625 \text{ V}$$

Aplicando la ecuación 8 se obtiene el número de filas en serie.

$$\text{No. filas en serie} = \frac{625 \text{ V}}{37.76 \text{ V}} = 16.55 \text{ Modulos}$$

Los paneles fotovoltaicos en serie serán 17.

Aplicando la ecuación 9 se obtiene el número de columnas en paralelo.

$$\text{No. columnas en paralelo} = \frac{70.3 \text{ A}}{8.50 \text{ A}} = 8.27 \text{ Modulos}$$

Los paneles fotovoltaicos en paralelo serán 8.

Con las filas y columnas calculadas, el arreglo quedaría como se muestra en la figura 20.

		Filas																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Columnas	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
	6																	
	7																	
	8																	

Figura 20. Arreglo de los paneles FV.

Se observa que las filas tienen 17 módulos y las columnas están integradas por 8 módulos, por lo que se tiene 136 módulos conectados por inversor. Para asegurar si la tensión de los 17 módulos en serie no rebasa la tensión de entrada del inversor se hace la siguiente comprobación, multiplicando el número de módulos por la tensión de salida de cada módulo.

$$17 \text{ Modulos} \times 37.76 \text{ V} = 641.92 \text{ V}$$

El valor de la tensión de los módulos se encuentra dentro del intervalo de tensión del inversor que es entre 450 V y 800 V, por lo que el arreglo es correcto.

Al igual que los módulos en serie, se hace la misma comprobación para los módulos en paralelo, en este caso se multiplica la corriente de salida del módulo por el número de módulos en paralelo.

8 Módulos x 8.50 A = 68 A

El valor de la corriente de los módulos se encuentra dentro del valor de corriente de entrada del inversor que es de 70.3 A, por lo que es correcto el arreglo.

Es importante mencionar que el arreglo fotovoltaico no necesariamente tiene que tener la configuración ni el número de módulos como el de la figura 19, esto solo se refiere a las conexiones en serie y paralelo entre los módulos para tener las condiciones necesarias de entrada del inversor.

3.5 DETERMINACIÓN DE NÚMERO DE LOS INVERSORES

Tomando el total de módulos FV en el arreglo y el número de módulos que necesita el sistema FV para cubrir la carga, el número de inversores se obtiene de la ecuación 10.

$$\text{No. Inversores} = \frac{M \text{ total}}{\text{No. Módulos por arreglo.}} \quad (10)$$

$$\text{No. Inversores} = \frac{498}{136} = 3.66 \text{ Inversores}$$

Serán necesarios 4 Inversores; para asegurar que los 4 inversores cubren la potencia requerida por la carga del edificio, se hace la siguiente comprobación, multiplicando el número de inversores por la potencia de salida del inversor.

$$4 \text{ Inversores} \times 30 \text{ kW} = 120 \text{ kW}$$

El valor de la potencia total de los 4 inversores (120 kW) es mayor que la potencia total de la carga teórica (105.35 kW), por lo que el número de inversores es adecuado para el sistema FV.

3.6 DISEÑAR UN SISTEMA DE CELDAS FOTOVOLTAICAS EN EL SOFTWARE SOLIDWORK QUE SE ADECUA A LOS ESPACIOS DISPONIBLES PARA SU INSTALACIÓN EN EL TECHO DEL EDIFICIO 4.

3.6.1 Azotea del edificio 4

En la figura 21 se observa una foto real de la azotea del edificio 4, en la figura 22 se observa una imagen en 3D de la azotea y en la figura 23 las dimensiones de la azotea.



Figura 21. Azotea del edificio 4 del ITSLV

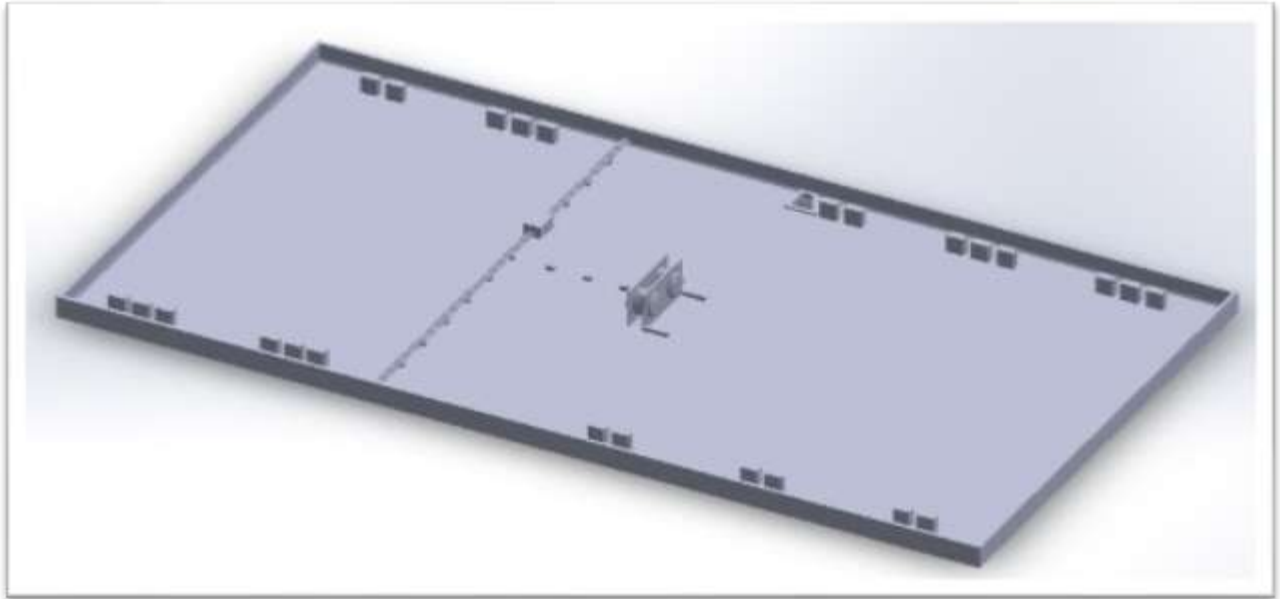


Figura 22. Azotea del edificio 4 del ITSLV en 3D

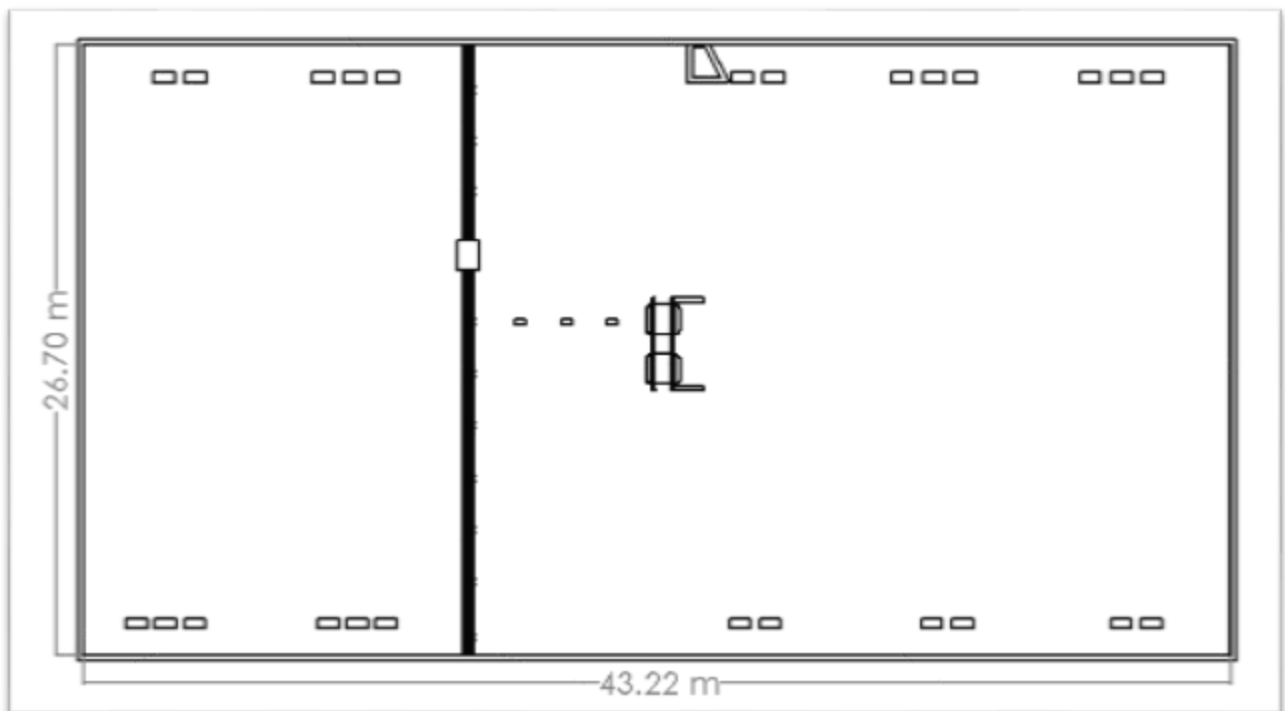


Figura 23. Dimensiones de la azotea del edificio 4 del ITSLV

3.6.2 Diseño de panel.

En la figura 24 se observa un módulo solar fotovoltaico, y en la figura 25 las dimensiones de un módulo SV de 320 W, que son 1.956 m x 0.992 m.

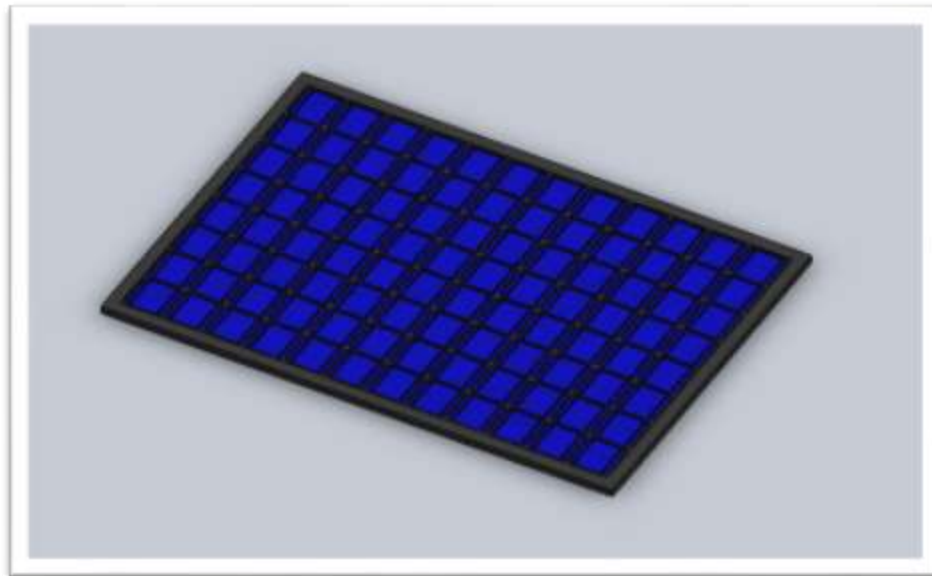


Figura 24. Panel solar de 320 Watts en 3D

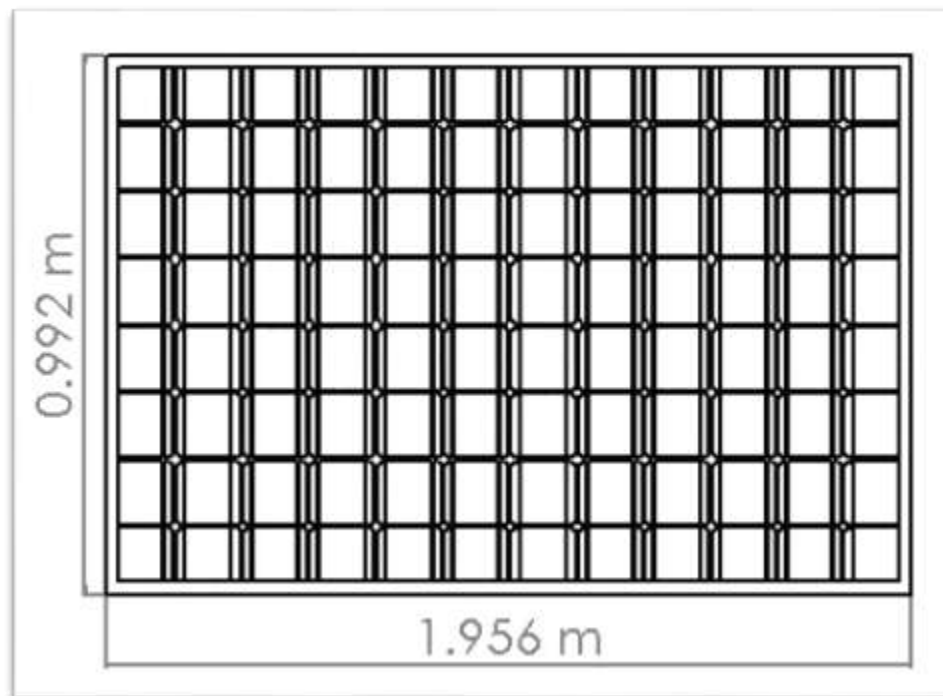


Figura 25. Medidas en metros del panel solar de 320 Watts

Las dimensiones de la azotea son 43.22 m x 26.70 m con un área total de 1,153.97 m². Se harán los siguientes arreglos con los módulos SV para cada uno de los 4 inversores a utilizar:

1 arreglo de 136 módulos que ocuparan un espacio de 15.648 m x 16.648 m con un área de 263.88 m².

1 arreglo de 136 módulos que ocuparan un espacio de 15.648 m x 16.648 m con un área de 263.88 m².

1 arreglo de 136 módulos que ocuparan un espacio de 7.42 m x 35.56 m con un área de 263.88 m².

1 arreglo de 90 módulos que ocuparan un espacio de 8.928 m x 19.56 m con un área de 174.63 m².

En total los 498 módulos del sistema fotovoltaico ocupan 966.27 m² y el área del techo del edificio es de 1,153.97 m² por lo que el área es suficiente para instalar el sistema.

3.6.3 Cálculo de inclinación, sombras y distancia entre paneles.

La trayectoria del Sol durante un día es de Este a Oeste, pero la trayectoria durante un año es de Norte a Sur, se requiere que los paneles fijos se coloquen inclinados hacia el Sur. El ángulo óptimo del panel que garantice su mejor aprovechamiento varía de acuerdo al lugar, por lo que el cálculo de inclinación del panel FV se obtiene de acuerdo a la ecuación 3 y el valor de la latitud para La Venta, Huimanguillo, Tabasco se obtiene de la tabla 1.

$$\textit{Inclinacion} = 18.11^{\circ} + 10^{\circ} = 28.21^{\circ} \cong 28^{\circ}$$

La distancia entre paneles se establece de tal forma que al medio día, la sombra de la arista superior del panel se proyecte, como máximo, sobre la arista inferior del panel siguiente, tal y como se observa en la figura 26 [1].

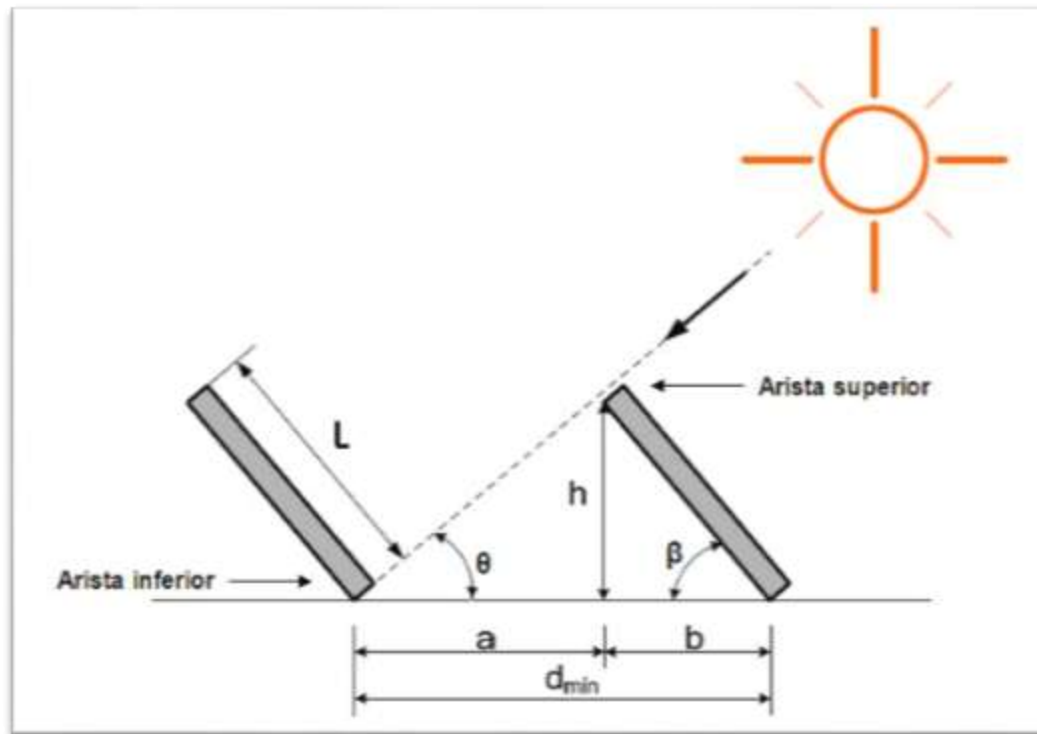


Figura 26. Distancia mínima entre aristas de paneles.

Donde:

d_{min} : Distancia mínima entre aristas de paneles para evitar sombras, m.

L: Longitud del panel (columna de módulos en paralelo), en metros.

h: Altura solar al medio día, en metros.

β : Grado de inclinación del panel respecto a la horizontal, °.

θ : Ángulo de la sombra respecto a la horizontal, °.

a: Distancia de la arista inferior de un panel a la arista inferior del otro, m.

b: Distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo respecto a la horizontal, m.

Una vez obtenido el grado de inclinación del panel que es 28° y la longitud del panel (L) que es 1.956 m x 2 paneles en cada estructura $L = 3.912$ m, se calcula la altura solar al medio día.

$$h = \text{Sen } \beta * L = \text{Sen } 28^\circ * 3.912 \text{ m} = 1.83 \text{ m}$$

Con los mismos datos se calcula la distancia "b".

$$b = \text{Cos } \beta * L = \text{Cos } 28^\circ * 3.912 \text{ m} = 3.45 \text{ m}$$

Considerando el ángulo de inclinación del panel y los ángulos rectos que se forman, se complementan los demás ángulos y se determina que el ángulo θ es de 62° . Enseguida se calcula la distancia "a", utilizando como dato la altura (h) y el ángulo θ .

$$a = \frac{h}{\text{Tan}} = \frac{1.83 \text{ m}}{\text{Tan } 62^\circ} = 0.97 \text{ m}$$

Por último se suma la distancia "a" más la distancia "b" para obtener la distancia mínima entre aristas de paneles, para evitar la sombra sobre otro panel.

$$d_{\text{min}} = a + b = 0.97 \text{ m} + 3.45 \text{ m} = 4.42 \text{ m}$$

Por lo que la distancia entre las aristas inferiores tiene que ser igual o mayor a 4.42 m (figura 27).

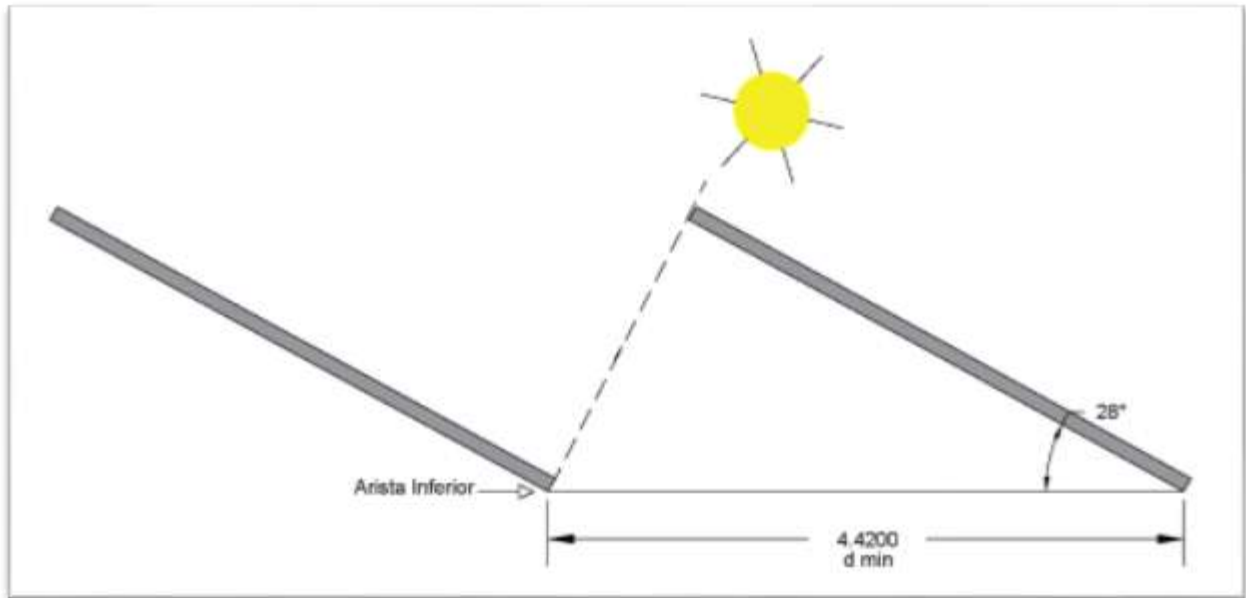


Figura 27. Distancia entre aristas inferiores.

La distancia que debe de haber entre el final de un panel y el inicio de otro (a) es igual a 0.97 m, la distancia mínima entre aristas de paneles (d_{min}) es 4.42 m.

3.6.4 Diagrama de distribución de los paneles FV.

Considerando las dimensiones de los paneles y el área del techo del edificio se tomará una distancia entre filas de paneles de 0.5 m. para mayor fiabilidad. Distribuyendo los paneles como se muestra en la figura 28 y 29, sin separación entre columnas de paneles. Se instalarán 42 columnas con 6 estructuras de paneles cada columna, cada estructura tiene capacidad para 2 paneles, menos 3 estructuras con dos paneles cada una, que liberan la entrada para subir al edificio, quedando un total de 498 paneles.

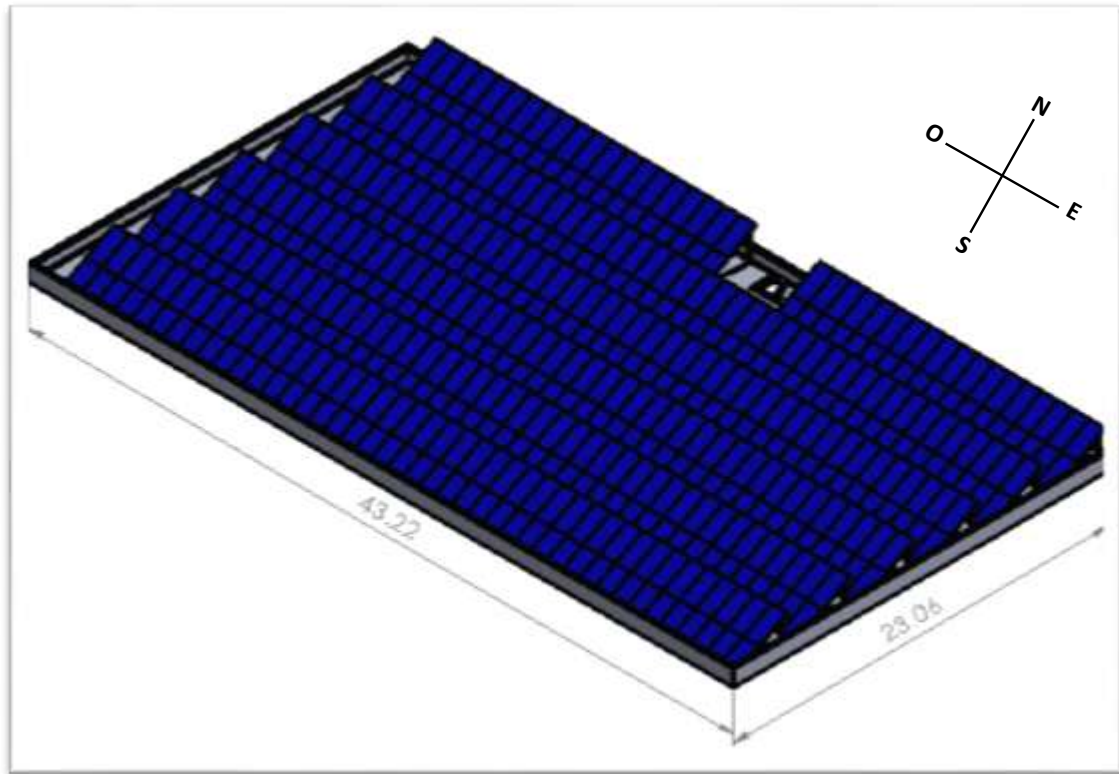


Figura 28. Distribución en el área de azotea.

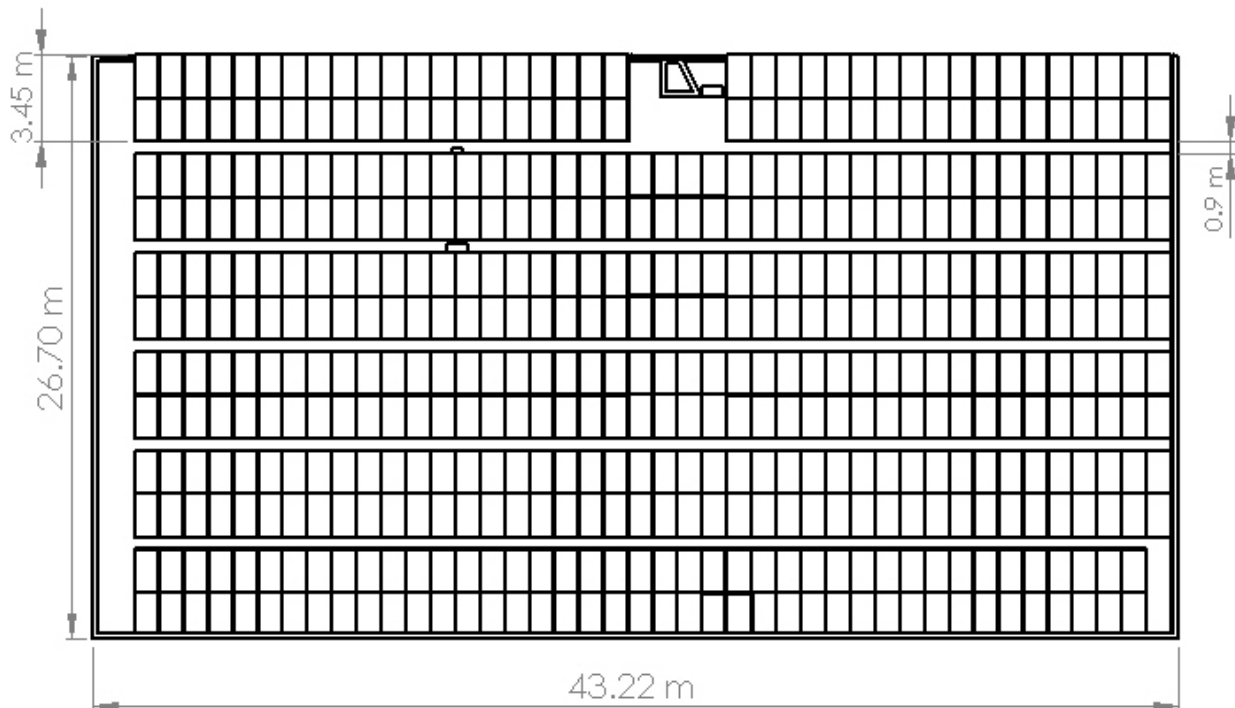


Figura 29. Acomodo de los paneles.

3.6.5 Diagrama de conexión de los módulos FV.

Para los primeros 3 inversores se conectarán 17 paneles en serie, con 8 paneles en paralelo cada uno (figura 30). Se tienen 136 paneles en cada arreglo.

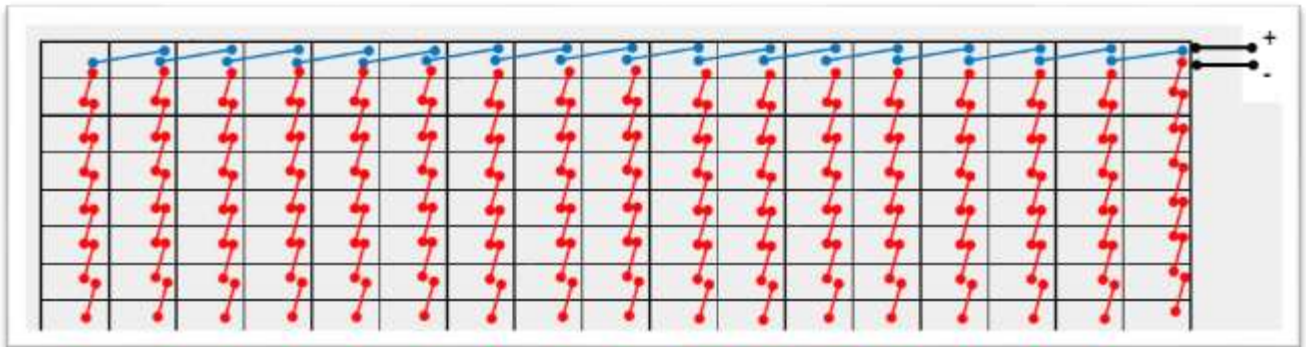


Figura 30. Acomodo de los paneles para 3 inversores.

Para el último inversor se conectarán 15 paneles en serie, con 6 paneles en paralelo cada uno (Figura 31). Se tienen en total 90 paneles en el arreglo.

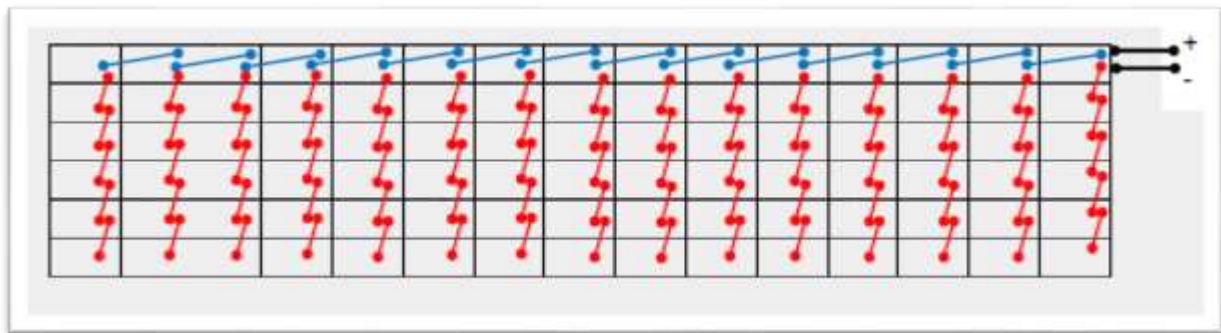


Figura 31. Acomodo de los paneles para 1 inversor.

3.6.6 Diagrama de instalación de anclaje de los módulos FV.

La instalación se hará sobre la superficie de techo del edificio, por lo que se considera adecuado utilizar una estructura fija.

Estructura fija.

La estructura es altamente resistente, estable para el diseño y dimensionado de la estructura que soporta los módulos FV teniendo en cuenta todas las sobrecargas, tanto las reales por el peso de la misma estructura, así como las consideradas por condiciones meteorológicas, será fabricada en acero S275 (Figura 32). La estructura será fijada a la losa mediante anclas de $\frac{1}{2}$ ". Las medidas que tendrá la estructura se muestran en la figura 33.

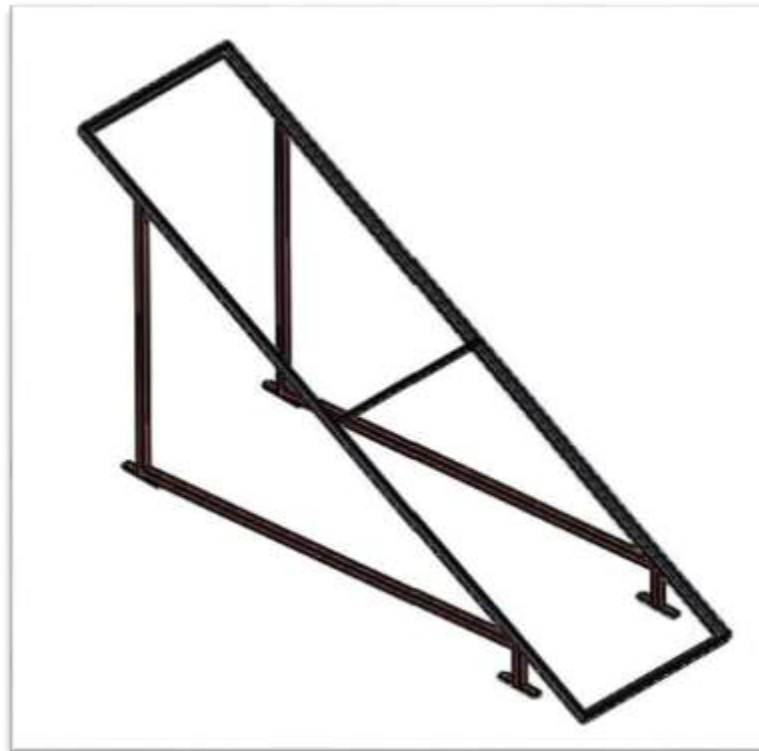


Figura 32. Estructura para el módulo fotovoltaico en 3D.

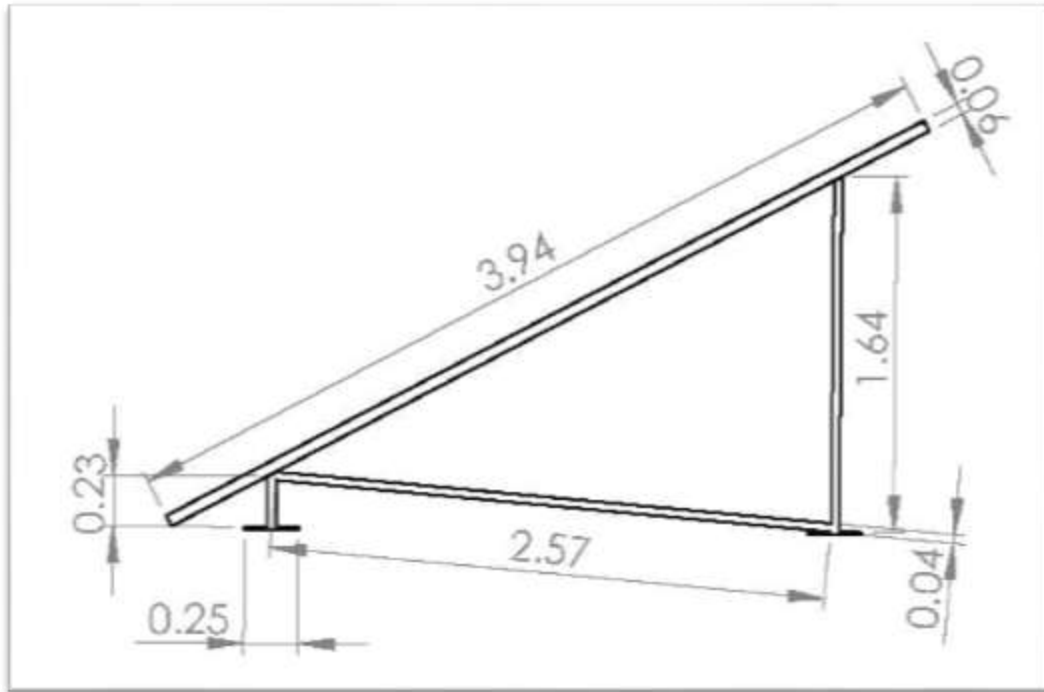


Figura 33. Dimensiones de la estructura para módulos FV.

Como la estructura será instalada en la azotea del edificio, es necesario determinar si los vientos en la región representan algún peligro.

En el manual de diseño por viento de CFE, se recomienda que la seguridad necesaria para que una construcción cumpla con las funciones para las que se destine, se establezca a partir de niveles de importancia. En la práctica actual, dichos niveles se asignan a velocidades de diseño correspondientes a periodos de retorno constantes u óptimos [14].

GRUPO A Estructuras con un grado de seguridad elevado. Se incluyen en este grupo aquellas cuya falla cause la pérdida de un número importante de vidas, o perjuicios económicos o culturales excepcionalmente altos; las construcciones y depósitos cuya falla implique un peligro significativo por almacenar o contener sustancias tóxicas o inflamables; las construcciones cuyo funcionamiento es imprescindible y debe continuar después de la ocurrencia de vientos fuertes y las construcciones cuya falla

impida la operación de plantas termoeléctricas, hidroeléctricas y nucleares. Ejemplos de estas estructuras son: áreas de reunión con capacidad mayor que doscientas personas (salas de espectáculos, auditorios y centros de convenciones), locales y cubiertas que alojen equipo especialmente costoso, museos, templos, estadios, terminales de distribución de hidrocarburos, centrales telefónicas e inmuebles de telecomunicaciones principales, estaciones terminales de transporte, estaciones de bomberos, de rescate y de policía, hospitales e inmuebles médicos con áreas de urgencias, centros de operación en situaciones de desastre, escuelas, chimeneas, subestaciones eléctricas[14].

El edificio E-4 cae dentro del grupo A por ser una escuela. Se analiza la velocidad regional del viento.

Velocidad regional para un periodo de retorno fijo.

La velocidad regional de ráfaga del viento, V_R , es la velocidad máxima que puede ser excedida en un cierto periodo de retorno, T , en años, en una zona o región determinada del país. La velocidad regional, V_R , es la máxima velocidad media probable de presentarse con un cierto periodo de recurrencia en una zona o región determinada del territorio. La velocidad regional de ráfaga, V_R , en km/h, se determina tomando en consideración tanto la importancia de la estructura como la localización geográfica de su sitio de desplante [14].

La velocidad regional óptima, V_{RO} , se determina tomando en consideración tanto la importancia de las pérdidas a través del valor de Q , como la localización geográfica del sitio de desplante de la estructura. Para la aplicación simplificada de este procedimiento, se ha optado por asociar un valor de $Q = 15$ para el diseño de las estructuras del Grupo A.

La vida útil en condiciones normales de los paneles solares es de 25 años, por eso se utiliza un mapa de isotacas para velocidades regionales con periodo de retorno de 50 años (figura 34), en la cual se observa que las velocidades de los vientos máximos para Tabasco y en específico para la Venta, Huimanguillo van de 147-161 km/h.

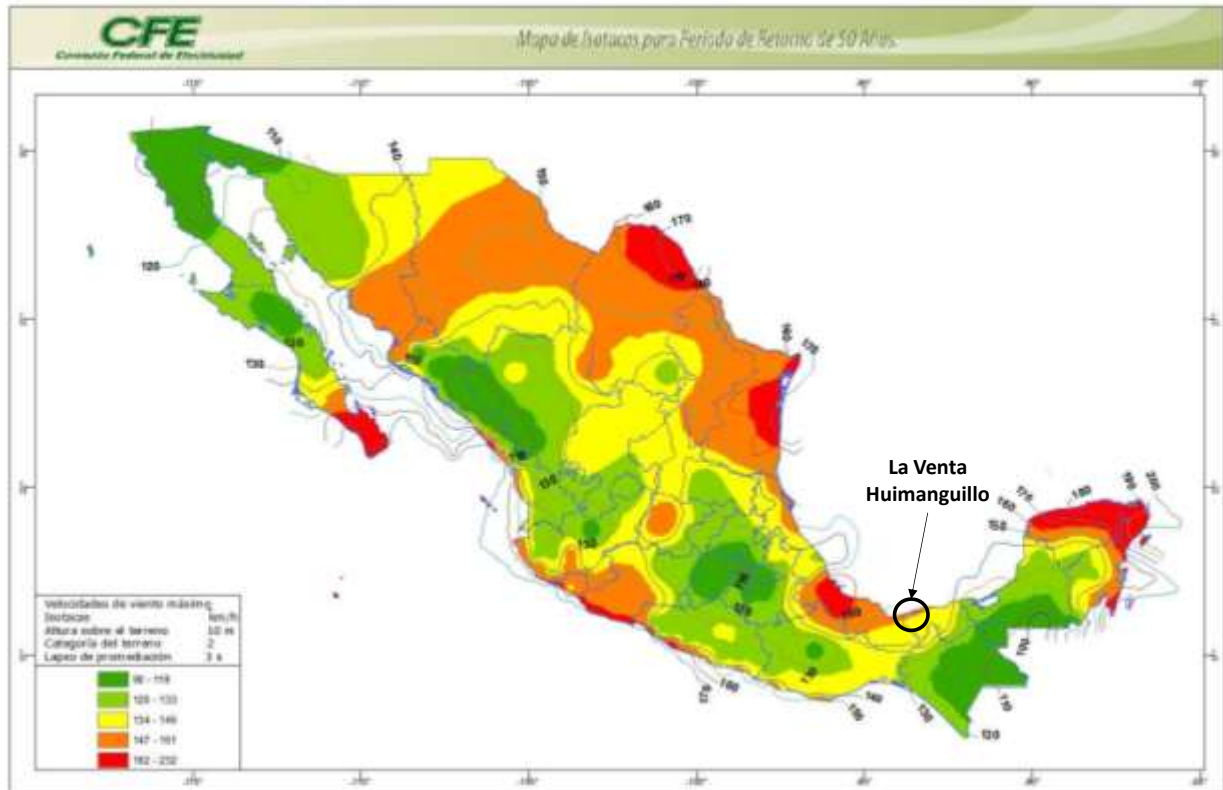


Figura 34. Mapa de isotacas para velocidades regionales con periodo de retorno de 50 años.

La figura 35 es un Mapa de isotacas para $Q=15$, el cual presenta las velocidades de vientos óptimos para el diseño de las estructuras del Grupo A, que para la Venta, Huimanguillo, Tabasco van de 168-182 km/h.

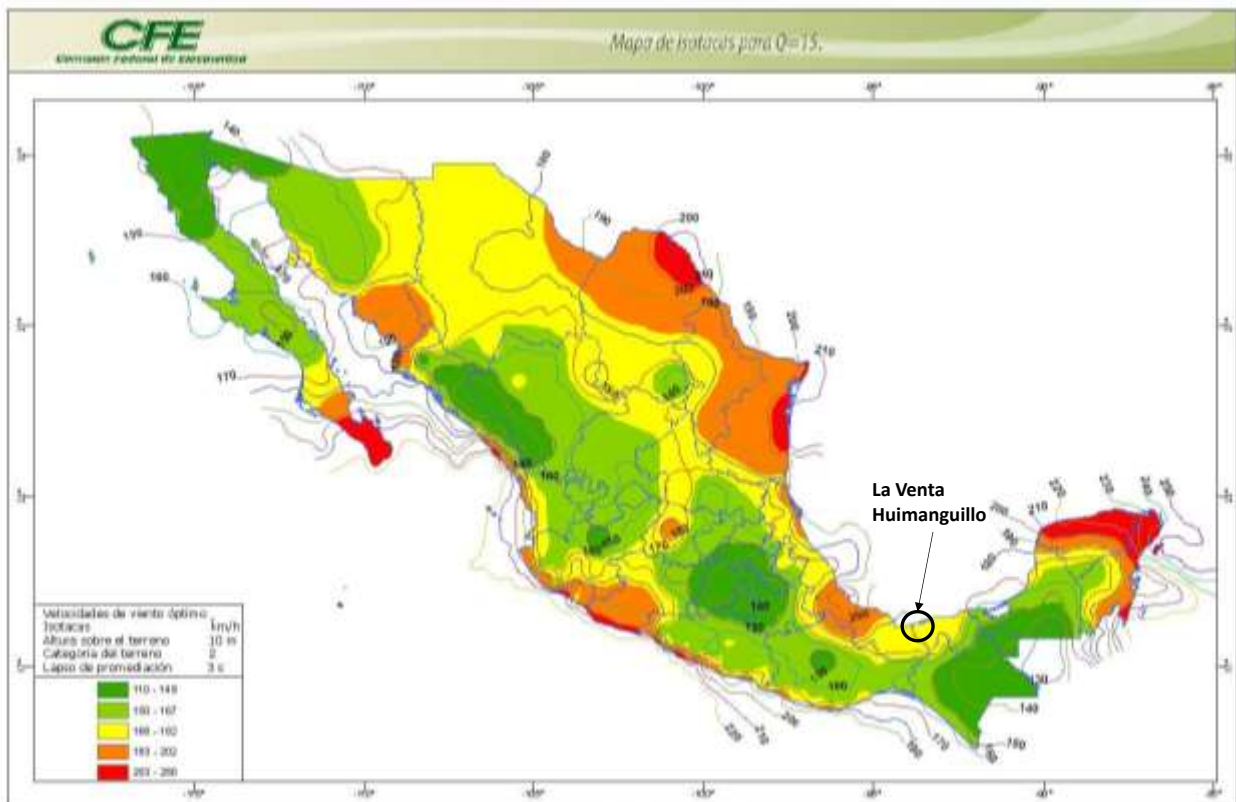


Figura 35. Mapa de isotacas para $Q=15$.

Como las velocidades de los vientos promedio para La Venta, Huimanguillo, Tabasco (147-161 km/h) son inferiores a las velocidades de viento óptimas recomendadas para instalaciones del grupo A en esta zona (168-182 km/h), se determina que las velocidades de los vientos promedio en la zona no representan riesgo para la instalación del sistema fotovoltaico en la azotea del edificio E-4.

3.7 SELECCIÓN DE LOS CONDUCTORES.

El artículo 690-8 de la NOM-001-SEDE-2005, menciona las siguientes recomendaciones para la selección del cable conductor para un sistema fotovoltaico [15].

- **Capacidad de conducción de corriente eléctrica y dispositivos de protección contra sobrecorriente.** La capacidad de conducción de corriente eléctrica de los conductores y la especificación o ajuste de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en un circuito de un sistema solar fotovoltaico no deben ser menores a 125% de la corriente eléctrica calculada.
- **Cable con conductor dúplex.** Se permite cable tipo TWD-UV en circuitos de la fuente fotovoltaica, cuando se instalen a la intemperie y expuestos a los rayos del Sol.
- **Cables y cordones flexibles.** Cuando se usen cables y cordones flexibles para conectar las partes móviles de seguidores solares, se debe cumplir con lo indicado en el Artículo 400 y deben ser cordones para uso extra rudo Tipos ST, SO o W, adecuados para uso en intemperie y resistentes al agua y a la luz del Sol.

Para la puesta a tierra se hace referencia a los siguientes artículos [15].

690-41. Puesta a tierra del sistema. Para una fuente de energía fotovoltaica, un conductor de un sistema de dos conductores especificado a más de 50 V o un conductor neutro de un sistema de tres conductores, deben ser puestos a tierra sólidamente.

690-43. Puesta a tierra del equipo. Las partes metálicas de los marcos de los módulos, del equipo y de las envolventes de conductores que no lleven corriente eléctrica, deben ser puestas a tierra sin importar la tensión eléctrica.

690-45. Tamaño nominal del conductor de puesta a tierra del equipo. En sistemas donde la corriente eléctrica de corto circuito disponible de la fuente fotovoltaica sea menor que dos veces la corriente eléctrica especificada del dispositivo de protección contra sobrecorriente, el conductor de puesta a tierra del equipo, no debe ser de menor tamaño nominal al requerido para los conductores del circuito.

690-62. Capacidad del conductor neutro puesto a tierra. Si una unidad de acondicionamiento de energía monofásica, dos hilos, se conecta al neutro puesto a tierra y a un solo conductor de fase de un sistema de tres hilos o a un sistema trifásico estrella de cuatro hilos, la suma de la carga máxima conectada entre el neutro puesto a tierra y cualquier conductor de fase, más la capacidad de salida de la unidad de acondicionamiento de energía, no debe exceder la capacidad de conducción de corriente del conductor neutro puesto a tierra.

Por lo que los cables indicados para el SFCR son los cables tipo PV ZZ-F (AS) de la marca TOPSOLAR (figura 36), ya que las propiedades que ofrecen los convierten en los ideales para aplicaciones fotovoltaicas [16].



Figura 36. Cables tipo PV ZZ-F (AS).

Estos cables soportan temperaturas extremas, humedad, acciones químicas, servicios móviles. Todo ello garantizando las máximas prestaciones de seguridad en caso de incendio.

Los cables tipo PV ZZ-F (AS) para paneles solares son de muy fácil instalación y ofrecen un rendimiento alto y fiabilidad a largo plazo en instalaciones fotovoltaicas, fabricados con poliolefinas especiales, estos cables unipolares con doble aislamiento tienen capacidad para transportar corriente continua hasta 1800 V de manera eficiente.

La prestación más demandada para un cable fotovoltaico es la de ofrecer una vida útil de al menos 25 años de perfecta funcionalidad en cualquier instalación fotovoltaica que esté correctamente diseñada y en adecuadas condiciones de uso y mantenimiento durante ese período. Las principales características de un cable tipo PV ZZ-F (AS) se pueden resumir en tres conceptos:

- Resistencia térmica, que se comprueba mediante ensayos de durabilidad térmica.
- Resistencia climática (UV, frío, humedad), que se comprueba mediante ensayos de resistencia a la intemperie.
- Resistencia al incendio, que se comprueba mediante ensayos específicos de incendio.

Los materiales de aislamiento y de cubierta han de ser de alta calidad, reticulados, de alta resistencia mecánica además de flexible. El conductor de los cables del cableado de los módulos y hasta la caja de conexiones debe ser estañado, ya que confiere una mayor resistencia a la posible corrosión por oxidación.

3.8 DIAGRAMA UNIFILAR.

Para la instalación se cuenta con un diagrama unifilar (figura 37), en donde se muestran los equipos que contiene el sistema fotovoltaico, tales como la acometida, transformador, medidor bidireccional (su función es contabilizar la energía recibida por la compañía suministradora y la energía que es enviada al sistema eléctrico), interruptores de transferencia, tableros para cada piso, inversores, paneles solares.

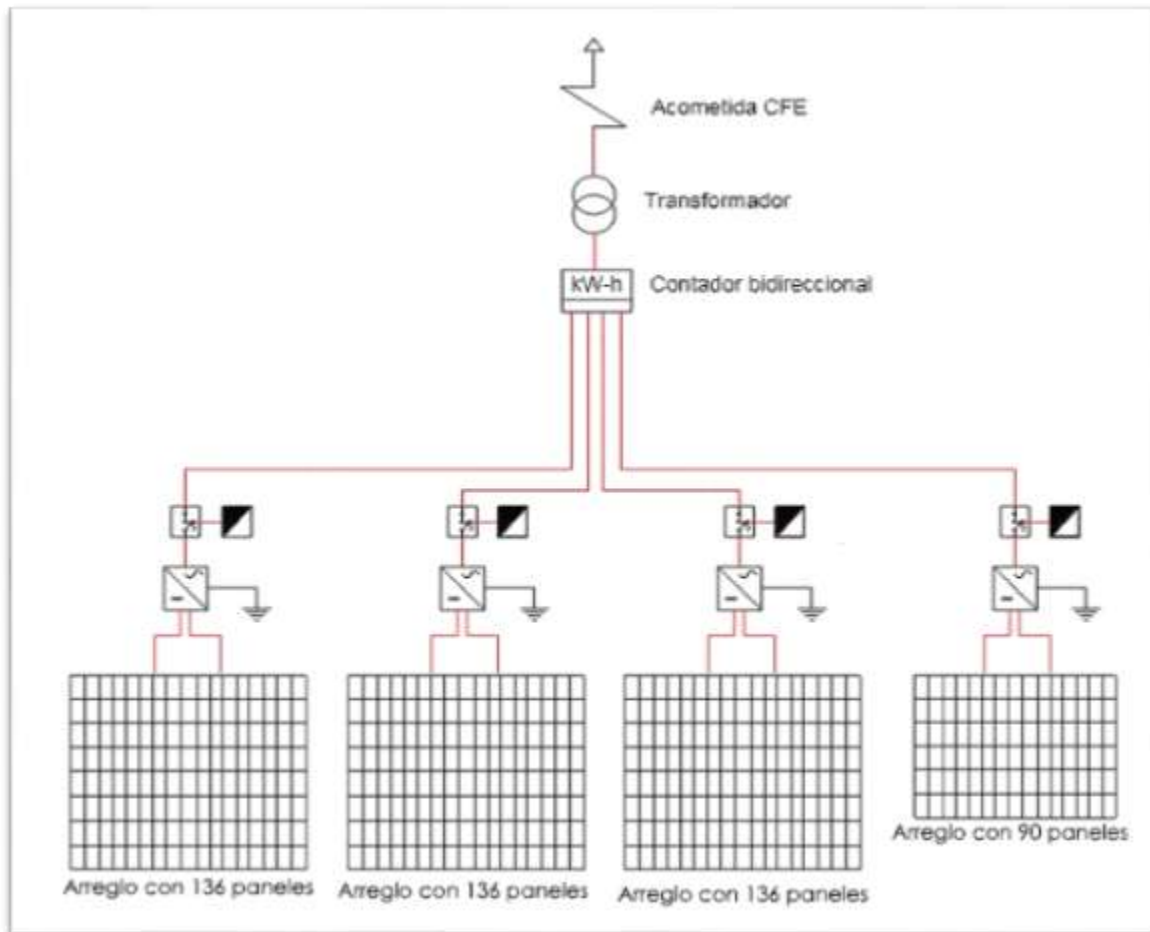


Figura 37. Diagrama unifilar del SFV.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS.

4.1 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL EDIFICIO 4.

4.1.1 Total del material y mano de obra necesaria para instalación del SFV.

Los precios del material que se utilizará fueron proporcionados por la empresa Consorcio de Ingeniería y Servicio S.A. de C.V. en dólares (Anexo 3) y tomando en cuenta un tipo de cambio del dólar de 17.94 pesos M.N. a Junio 2017; los costos en pesos M. N. de los materiales y mano de obra se muestran en la tabla 6.

Material y Mano de obra	Cantidad	P. U.	Total
Módulo de 320 W	498	\$4,776	\$2,378,441.43
Inversor	4	\$123,583.46	\$494,333.83
Estructura de acero y tornillos de sujeción	249	\$120	\$29,880.00
Herramientas y material auxiliar		\$20,000.00	\$20,000.00
Mano de obra		\$393,600.00	\$393,600.00
Total			\$3,316,255.26

Tabla 6. Costo del sistema Fotovoltaico

4.1.2 Cálculo de la energía eléctrica propuesta con paneles fotovoltaicos.

Para obtener la energía que será generada durante un mes de los paneles FV, se calcula con la ecuación 11[1]

$$E_g = \frac{P_m \times \text{No. modulos} \times H_p \times 30}{1000} \quad (11)$$

$$E_g = \frac{320 \text{ W} \times 498 \text{ Mod} \times 4.9 \text{ hp} \times 30 \text{ días}}{1000} = 23,495.92 \text{ kW}$$

La energía total generada mensual es de 23,495.92 kW, que es la que se puede aprovechar en un mes en condiciones óptimas de radiación solar. Considerando esto se puede conocer el ahorro económico que se tiene durante un mes de energía eléctrica consumida.

4.1.3 Costo por consumo de la energía eléctrica con paneles fotovoltaicos.

Una vez obtenida la energía generada del sistema FV, se calculara el costo por consumo con paneles FV (mensual), tomando en consideración la carga que se tiene en el edificio y la tarifa promedio mensual de CFE del año 2015 y 2016 que es igual a \$1.4012 por kWh consumida (Ver Anexo 1).

$$\text{Costo por consumo} = 23,495.92 \text{ kW} \times 1.4012 \text{ \$/kW} = \$32,922.48$$

4.1.4 Amortización del sistema fotovoltaico.

En esta sección se calculara el tiempo, en que el sistema fotovoltaico tendrá una amortización económica y la viabilidad del proyecto si es que se pretende llevar a cabo. Teniendo los siguientes datos se puede calcular el tiempo en que se tendrá una amortización:

Costo total del sistema: \$ 3,306,821.36

Costo por consumo (ahorro mensual): \$ 32,922.48

$$\text{Amortizacion} = \frac{\$3,316,255.26}{\$32,922.48} = 100.72 \text{ Meses}$$

Con el resultado anterior se puede observar que en 100.72 meses (aproximadamente 8 años con 4 meses), habrá una amortización en el costo inicial del sistema fotovoltaico.

Si comparamos el muestreo realizado en el edificio 4 del ITSLV durante el periodo Mayo 2015 y Mayo 2016 y el consumo real del edificio en ese periodo (Ver Anexo 1), se puede obtener una tabla con los ahorros que se hubieran tenido en la institución de haber tenido instalado el sistema de paneles solares fotovoltaicos (Tabla 7).

MES	CONSUMO TOTAL DEL INSTITUTO (KW)	PRECIO MEDIO DEL KW	COSTO DEL CONSUMO TOTAL DEL INSTITUTO	CONSUMO ENERGETICO DEL EDIFICIO 4 (KW)	COSTO DEL CONSUMO ENERGETICO DEL EDIFICIO 4	PRODUCCION CON PANELES (KW)	PRECIO DE LA ENERGIA GENERADA	PRODUCCION EXTRA GENERADA CON PANELES	PRECIO DE LA ENERGIA EXTRA
MAY 2015	29,357.00	\$1.5665	\$53,345.78	9,421	\$17,119.77	23,495.92	\$42,695.38	14,074.65	\$25,575.60
JUN 2015	74,231.00	\$1.1232	\$96,716.46	21,004	\$27,366.35	23,495.92	\$30,613.12	2,491.93	\$3,246.77
JUL 2015	47,952.00	\$1.3130	\$73,034.73	14,268	\$21,731.75	23,495.92	\$35,786.17	9,227.63	\$14,054.42
AGO 2015	55,930.00	\$1.3172	\$85,458.36	15,732	\$24,038.32	23,495.92	\$35,900.64	7,763.54	\$11,862.32
SEP 2015	71,743.00	\$1.2238	\$101,846.94	21,627	\$30,701.92	23,495.92	\$33,355.00	1,868.88	\$2,653.07
OCT 2015	67,442.00	\$1.2796	\$100,106.59	20,749	\$30,798.26	23,495.92	\$34,875.84	2,747.08	\$4,077.58
NOV 2015	57,554.00	\$1.4497	\$96,785.80	16,545	\$27,822.33	23,495.92	\$39,511.96	6,951.28	\$11,689.63
DIC 2015	23,355.00	\$1.6705	\$45,256.85	7,403	\$14,345.47	23,495.92	\$45,529.92	16,092.88	\$31,184.46
ENE 2016	15,116.00	\$1.5247	\$26,734.94	4,786	\$8,464.26	23,495.92	\$41,556.11	18,710.21	\$33,091.84
FEB 2016	26,890.00	\$1.4934	\$46,582.73	8,271	\$14,328.33	23,495.92	\$40,703.02	15,224.85	\$26,374.68
MAR 2016	34,332.00	\$1.8349	\$73,075.11	11,016	\$23,448.14	23,495.92	\$50,010.69	12,479.56	\$26,562.55
ABR 2016	59,284.00	\$1.3060	\$89,809.45	17,302	\$26,210.95	23,495.92	\$35,594.02	6,193.85	\$9,383.07
TOTAL	563,186.00		\$888,753.74	168,124.71	\$266,375.85	281,951.04	\$466,131.84	113,826.33	\$199,756.00
AHORRO ECONOMICO DEL INSTITUTO					\$466,131.84				
COSTO DEL CONSUMO TOTAL DEL EDIFICIO E-4 QUE PAGARIA EL ITSLV AL USAR PANALES DE MAYO 2015 A ABRIL 2016					\$422,621.90				

Tabla 7. Costo del sistema Fotovoltaico

En el periodo de Mayo 2015 a Abril 2016 con el sistema fotovoltaico instalado se podría haber generado en el periodo \$466, 131.84 pesos m.n. y el instituto solo hubiera pagado \$422, 621.90 de los \$917,826.89 pesos m.n. que se pagaron en ese periodo.

CONCLUSIONES.

La finalidad de la presente investigación fue analizar la factibilidad de instalar un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas interconectadas a la red eléctrica para alimentar el consumo energético de un edificio en el Instituto Tecnológico Superior de La Venta.

Se determinó el consumo teórico del edificio que es de 1224 kW día y el real máximo en un día fue de 1117 kW, se determinó que el tipo de celda fotovoltaica adecuada para el edificio 4 son paneles monocristalinos de 320 W, por tener alta eficiencia y desempeño; se suministrara 70% del máximo consumo registrado durante el muestreo por lo que se suministrara 781 kW en 498 FV.

Utilizando el software Solidwork se diseñó el sistema de celdas fotovoltaicas que se adecue a los espacios disponibles para su instalación en el techo del edificio 4.

Se realizó un análisis del costo-beneficio de la instalación del sistema fotovoltaico para el edificio 4 y se determinó la factibilidad de instalar el sistema de energía limpia en el edificio 4 del ITSLV puesto que la vida útil promedio de los paneles fotovoltaicos es de 25 años en condiciones normales, en este tiempo pueden generar 7, 048,776 kW, que al costo medio actual de \$1.4012 serían \$9, 876,744.93 pesos M.N., el costo de instalación inicial aparenta ser elevado aproximadamente \$3, 316,255.26 pesos M.N. pero el tiempo de amortización es de 8.3 años, quedando de ganancia alrededor de 16.7 años, en este tiempo el ITSLV podría ahorrar \$6, 560,792.43 pesos M.N. por lo que se considera factible la instalación de paneles fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica de CFE para el ITSLV y cualquier edificio con características similares.

Por los datos obtenidos se observa que en los últimos años los paneles fotovoltaicos han pasado de ser una energía limpia generada en laboratorios como lo describen muchos artículos informativos, para hacerse factible de instalarse en edificios del gobierno y casas habitación, viéndose reflejado el ahorro económico como al ambiente.

RECOMENDACIONES.

En lo que se refiere a energía renovable por celdas fotovoltaicas hay un abundante campo todavía por explorarse, ya que laboratorios y universidades en todo el mundo están en la búsqueda de nueva celdas que se han más eficientes y a menor costo, sería interesante realizar un estudio de factibilidad con celdas solares sensibilizadas con tinte, que son celdas más económicas.

Los resultados obtenidos demuestran que es factible la instalación de un sistema de paneles fotovoltaicos en el edificio 4 del ITSLV y edificios con características parecidas por lo que se recomienda a la Institución buscar financiamiento de instituciones gubernamentales como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la secretaria de energía (SENER), la comisión reguladora de energía (CRE) y Comisión Nacional para el Uso de Eficiente de la Energía que otorgan apoyos al desarrollo e impulso de proyectos destinados a la generación y tecnologías limpias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] Loaeza Salcedo, Francisco Adrián, César Ramiro Carmona, Julio César Tenorio Caselin, Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco, 2012.

[2] Guerrero, R. et al 2011. Análisis técnico-económico para la colocación de un sistema de bajo costo basado en Si Fábrica de células solares en África Occidental y en comparación con China. IEEE, 2471-2476.

[3] Energía Solar Fotovoltaica, Proyecto RES & RUE Dissemination, <http://www.cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/2%20fotovoltaica.htm> Consultada Julio 2015.

[4] Sánchez Maza, Miguel Ángel, energía solar fotovoltaica, limusa, 2010, pág.9.

[5] Urbano Castelán, José Antonio, Aplicaciones de sistemas fotovoltaicos, Curso de la asociación nacional de energía solar, 2009.

[6] Fernández M., "Energía Solar: Electricidad Fotovoltaica", LiberFactory, Madrid, 2003.

[7] Archive for the 'Instalaciones Fotovoltaicas' Category ESC wins competition for a public space in Mula (Spain) – ESC gana un concurso de un espacio publico en Mula (España) <http://spaceformwords.wordpress.com/category/instalaciones-fotovoltaicas>, Consultada Agosto 2015.

[8] Carbone, R. 2009. "Grid-Connected Photovoltaic Systems with Energy Storage," International Conference on Clean Electrical Power, 2009.

[9] Latitud, Longitud y dirección de cualquier punto en el mapa de Google <http://www.coordenadas-gps.com/> Consultada Septiembre 2015.

[10] ¿Qué es un inversor de voltaje?

<https://curiosoando.com/que-es-un-inversor-de-voltaje>, consultada enero 2016.

[11] ECEN2060, (2009), MATLAB/Simulink materias, RENEWABLE SOURCES AND EFFICIENT ELECTRICAL ENERGY SYSTEMS, University of Colorado at Boulder.
<http://ecee.colorado.edu/~ecen2060/matlab.html>.

[12] William D. S. "análisis de sistema eléctricos de potencia", McGrawHill, Mexico, 1979.

[13] Cuentame. Información por entidad, Tabasco, Clima,
<http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tab/territorio/clima.aspx?tema=me&e=27>, consultada Febrero 2016.

[14] López Alberto, 2008, Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento, CFE

[15] NOM-001-SEDE-2005, artículo 690-sistemas solares fotovoltaicos.

[16] Top cable, A trusted international leader in cable technology,
<http://www.topcable.com/low-voltage-cables/solar-cables/topsolar-pv-zz-f-h1z2z2-k/>,
Consultada en Julio 2016.



Análisis de Factibilidad para la Instalación de un Sistema de Energía Limpia Mediante Celdas Fotovoltaicas para la Alimentación Eléctrica del Edificio 4 en el ITSLV.



ANEXOS

Anexo 1. Recibo ITSLV.

AVISO RECIBO



Comisión Federal de Electricidad
DIRECCIÓN DE OPERACIÓN

Servicio a PROVEEDOR
CIRCUITO TECNOLÓGICO NO 21
CAMPET A VILLA BENITO Y OMBRO
CUATRO EL
AGUA DULCE, VER

Av. Paseo de la Reforma Norte 164
Col. Juárez, México, D.F. 06600
RFC: CFE070184-000

Número de Servicio:
889 040 901 066

Total a pagar:
\$87,837.00
(OCHENTA Y SIETE MIL QUINIENTOS TREINTA Y SIETE PESOS 00/100 MXN)

Fecha límite de pago:
12 JUN 16

Nota	Periodo	No. Medidor
810J110016010021	30 ABR 16 A 31 MAY 16	225L0B

Tarifa	Carga conectada	Demanda contratada	Multiplicado
NM	375	375	140

Formación y estado de lectura	Lectura actual	Lectura anterior	Diferencia	Total
WH enmedida				80,830
WH punta				1,298
WH base				44
WH enmedida				372
WH punta				47
WH en				18,802
Factor de potencia %				97.38

Datos Históricos



Mes	Demanda máxima (kW)	Consumo total (kWh)	FP, %	F/C, %	Pago (MXN)
JUN 15	125	74,231	96.03	31	1,123
JUL 15	130	47,395	96.16	22	1,293
AGO 15	133	31,330	96.87	21	1,112
SEP 15	129	71,743	96.52	28	1,208
OCT 15	126	54,161	96.75	28	1,175
NOV 15	133	73,297	97.45	25	1,287
DIC 15	134	57,554	96.73	21	1,437
ENE 16	112	23,365	94.07	13	1,676
FEB 16	94	15,116	97.00	18	1,507
MAR 16	91	26,890	96.88	18	1,494
ABR 16	107	54,330	96.55	18	1,849
MAY 16	20	321	97.21	63	1,284
JUN 16	140	28,383	97.08	27	1,267
JUL 16	140	57,032	97.28	25	1,137

Consumos

	Total	Factura anterior
Energía en medida kWh	80,830	81,572
Energía en punta kWh	1,298	1,750
Demanda facturada kW	140	200,1000

Notas Importantes

- Corte a partir del 12 JUN 16.
- Noa transformamos para servicio mejor.
- Servicio al Cliente Teléfono 071.

Estados Fiscales del Receptor

RFC: 8102070328
CIRCUITO TEC NO 21 COL EL CUATRO
VILLA LA VENTA HUAN. TAB.

Serie: J5 País: 0001000000
Pais Fiscal: 0001000000 4210-4018-01141-040-496
N. Certificado del SAT: 0001000000049494
No. certificado del CIE: 0001000000047034
Fecha y Hora de certificación: 2016-04-28T12:03:04
Unidad de medida: No Aplica
Forma de pago: No Serificadas
Regimen Fiscal: TITULO 9 DE LAS PERSONAS FISCALES

Estado de cuenta

Energía	47,897.83
Demanda Facturada	28,027.55
Bonificación Factor de Potencia	1,481.21
Subsidio	75,482.81
IIVA 16%	12,074.17
Facturación del Periodo	87,837.78
Adelanto Anterior	88,334.15
Tu Pago	86,934.30
Total	\$87,837.01

QR Code



Clave de envío: 01 889040901066 160612 000087537 0

Cuenta: 889040901066

Total a pagar:
OCHENTA Y SIETE MIL QUINIENTOS TREINTA Y SIETE PESOS 00/100 MXN




Cuenta:

Reparte

Clave de envío:

TALÓN DE CUENTA

Anexo 2. Especificaciones técnicas panel monocristalino.



Solartec
Energía Renovable

MONOCRISTALINO


300 - 320 W SOLAR PANEL

EFICIENCIA Y DESEMPEÑO EXCEPCIONAL

Especificaciones

Tipo de celda	Monocristalina
Dimensiones de Celda	156 mm * 156 mm
Número de Celdas	72 (6 x 12)
Peso	23.2 Kg
Dimensiones de módulo	1956 mm x 992 mm x 45 mm
Cable	900 mm fotovoltaico
Caja de Conexión	IP65 / IP67
Número de diodos de derivación	3 / 6
Conectores	MC4 Compatible
Hoja Trassers	Bianca
Marco	Aluminio anodizado (15 µm)
Clasificación de Flama	Clase C
Aplicación de acuerdo a IEC	Clase A
Configuración de Empaquete	23 piezas

CURVA DE I-V



Características de corriente / Voltaje dependen de la irradiación y la temperatura del módulo.

Voltaje máximo del sistema	1000 V	Valor máximo del fusible en serie	15 A
----------------------------	--------	-----------------------------------	------

Panel Solar con Celdas de 156mm de Silicio Monocristalino

Modelo	S72MC-300		S72MC-305		S72MC-310		S72MC-315		S72MC-320	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Condiciones de Medición										
Voltaje de circuito abierto (Voc)	44.60 V	44.83 V	45.10 V	45.03 V	45.40 V	45.33 V	45.90 V	45.83 V	46.01 V	45.94 V
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmpp)	36.50 V	36.40 V	36.90 V	36.80 V	37.10 V	37.00 V	37.80 V	37.40 V	37.75 V	37.66 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8.74 A	7.03 A	8.79 A	7.07 A	8.89 A	7.15 A	8.95 A	7.19 A	8.99 A	7.21 A
Corriente en el punto de máxima potencia (Impp)	8.21 A	6.92 A	8.26 A	6.96 A	8.35 A	7.04 A	8.41 A	7.09 A	8.50 A	7.17 A
Potencia máxima (Pmax)	300 W	251 W	305 W	256 W	310 W	260 W	315 W	265 W	320 W	269 W
Eficiencia del módulo	15.49%		15.76%		16.00%		16.26%		16.52%	

Coefficientes de Temperatura

de Isc (α)	+0.024% / °C	de Voc (β)	-0.369% / °C
de Pmax (γ)	-0.516% / °C		

Anexo 3. Especificaciones eléctricas Inversor Xantrex GT30F

System Specifications

Electrical Specifications

Table A-2 provides the AC and DC specifications for the Xantrex GT30 E.

Table A-2 Electrical Specifications

Specification	Value
DC Connection (photovoltaic generator)	
Nominal power	31,6 kW
Max. continuous power	34,8 kW
Nominal voltage	450 V
MPP voltage range	450 ... 800 V
Maximum open-circuit voltage	840 V
Minimum voltage for P _{nominal}	450 V
Nominal current	70,3 A
Maximum input current	77,4 A
Number of DC inputs	1
Number of MPP trackers	1
AC Connection (feed-in network)	
Nominal power	29,9 kVA
Max. continuous power	32,9 kVA
Nominal voltage	400 V
Nominal current	43,23 A
Maximum output current	47,55 A
Number of feed-in phases	3
Nominal frequency	50 ... 60 Hz
Power factor (cos φ)	> 0,99 above 20% of the nominal power
AC voltage range	230 ... 415 V
Distortion factor (THD I)	< 4% in nominal power
Maximum efficiency	95,0% including HF transformer
European efficiency	94,2% including HF transformer
Feed-in from	300 W
Own consumption in ready mode	< 1 W
Inherent consumption during the night	< 1 W

Regulatory Specifications

Table A-3 provides the regulatory specifications for the Xantrex GT30 E.

Table A-3 Regulatory Specifications

Standard	Regulation Met
The Xantrex GT30 E fulfils the relevant European safety guidelines and is labelled with the CE-marking:	<ul style="list-style-type: none"> EMC-tested according to EN 50081 2, EN 50082 2 Low-voltage guideline: EN 50178 VDEW guideline for the connection and parallel operation of generators in the low-voltage network The Xantrex GT30 E fulfils the requirements of the Royal Decree (RD 1663/2000 and RD 661/2007), Spain

975-0449-01-01

This manual is for use by qualified personnel only.

A-3

Anexo 4. Cotización panel policristalino y monocristalino.



CIASA

SOLUCIONES DE INGENIERIA Y CONTROL

R.F.C. CIA-080125-SE6

Consorcio de Ingeniería y Asociados SA de CV

CALLE PLATON SANCHEZ No. 702 ALTOS,
COL. PUERTO MEXICO, C.P. 96510
TEL/FAX (921) 217 8149
Email: ciasaadmon@yahoo.com.mx

PRESENTE	COATZACOALCOS, VER., 13 DE ENERO DEL 2017.
	SOLICITUD No.: 6N
	COTIZACION: CIA-278-SERV/16
	ATN.: ANTONIO CANDELARIO ENRIQUEZ

POR ESTE MEDIO LE PRESENTAMOS NUESTRA PROPUESTA COMERCIAL, ESPERANDO VERNOS FAVORECIDOS CON SU PREFERENCIA Y ESTAMOS A SUS APRECIABLES ORDENES PARA CUALQUIER DUDA, ACLARACION O COMENTARIO AL RESPECTO.

PANELES FOTOVOLTAICOS

PART.	CONCEPTO	UNID.	CANT.	P. U.	TOTAL
1	1- PANEL, POLICRISTALINO MARCA SOLARTEC, CONSTRUIDO CON CELDAS DE ALTA CALIDAD, MARCO DE ALUMINIO Y CRISTAL TEMPLADO. TEMPERATURA DE OPERACION -40°C A +90°C, POTENCIA 255 W ,MODELEO SW60PC-255 . GARANTIA 10 AÑOS	PZA	1	\$172.80	\$172.80
	2- PANEL, MONOCRISTALINO MARCA SOLARTEC, CONSTRUIDO CON CELDAS DE ALTA CALIDAD, MARCO DE ALUMINIO Y CRISTAL TEMPLADO. TEMPERATURA DE OPERACION -40°C A +90°C, POTENCIA 320 W ,MODELEO 572MC-320 . GARANTIA 10 AÑOS	PZA	1	\$229.50	\$229.50
	NOTAS:				
	1- COTIZACION EN DOLARES MASIVA				

CONDICIONES COMERCIALES:

- 1- Precio en DOLARES AMERICANOS
- 2- Vigencia de Cotización: 30 Días hábiles
- 3- Condiciones de pago: 50% anticipo, 50% contra aviso de embarque
- 4- Tiempo de entrega: 15 a 12 semanas
- 5- Lugar de Entrega: En sitio
- 6- Origen de los Dineros: Nacionales y Extranjeros
- 7- Equipos ofrecidos: 100% nuevos y originales
- 8- Confidencialidad: Esta cotización es exclusiva para la Empresa ANTONIO CANDELARIO ENRIQUEZ. En los términos de los artículos 10, 223 fracción VII y 234 de la Ley de la propiedad intelectual, para los contenidos descritos, en sitio y terreno señalados. Quedamos NO compartiendo información con otros compañías o personas, físicas o jurídicas, ni que nuestros datos sean en favor de la localización para la prestación de servicios, el volumen de trabajo y los acuerdos comerciales específicos con nuestra compañía. Cualquier cambio o revisión de descrito en la presente cotización se deberá acordar a nuestro Libro de Tarifas Vigentes.
- 9- **NOTA IMPORTANTE:** LOS VIATICOS DE LA ZONA SUR A LA ZONA CENTRO DE LA REPUBLICA MEXICANA SON IGUALES, PARA LA ZONA NORTE DEL PAIS, LOS COSTOS VARIAN

Atentamente

ing. isabel de los santos ventura

PROCESADOS

74