

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE 1ra. Ed.



En colaboración con:



Universidad Complutense de Madrid



Universidad de El Salvador

Tesis

**Aplicación del recurso fotovoltaico en el Campus
de la Universidad de El Salvador**

Autor: Ing. Jorge Alberto Zetino Chicas

Tutor: Msc. Ing. Jaime Arévalo

León, Noviembre del 2013.

Miembros del Tribunal Evaluador

Dr. Leonardo Mendoza Blanco, Presidente

Msc. Álvaro Flamenco, Secretario

Msc. David Escobar, Vocal

Calificación Final: 85/100

**A MI ESPOSA FRINÉ Y A MIS HIJOS: JORGEALBERTO, DOUGLAS JOSÉ,
FRINEÉ ALEXANDRA Y LUIS MARIO**

RESUMEN

El presente estudio, se ha desarrollado en las edificaciones que comprenden la **Facultad de Ingeniería y Arquitectura FIA, de la Universidad de El Salvador UES**, en donde se ha efectuado una investigación de campo, no experimental, orientada a la determinación del recurso solar disponible y a cuantificar la capacidad de generación fotovoltaica FV en base a la irradiancia solar y al área de techos existente en el sitio. Como resultado se han diseñado aplicaciones FV conectadas a la red, tendientes a reducir la facturación de energía eléctrica de la FIA, en una capacidad tal que el proyecto sea económica y técnicamente factible de implementar.

La potencia máxima calculada es de 475.48 KWp, en esta primera fase por cuestiones presupuestarias, se ha considerado solo un 50%, es decir 238.46 KWp lo que genera 364.57 MWh/año. Esto representa el 36% del consumo del Complejo Deportivo-FIA, se espera que dicho sistema se reproduzca en las demás instalaciones de la UES. El proyecto tiene un costo total de \$ 567,640.02 sin incluir IVA, con un tiempo de recuperación de 10 años y 6.5 meses.

The current study has been developed in the buildings of the Engineering and Architecture Faculty FIA, of the University of El Salvador UES, where a non-experimental field research has been conducted, aimed at determining the available solar resource and quantify the Photo Voltaic PV generation capacity based on the solar irradiance and the available roof area on the site. As a result, PV applications connected to the grid have been designed, aimed at reducing the electricity bill of the FIA in a capacity in which the project is economically and technically feasible to implement.

The maximum power calculated is 475.48 kWp, in this first phase and due to budget matters, we have considered only 50% of the capacity, that means generating kWp 238.46, which will generate 364.57 MWh / year. This represents 36% of FIA-Sports Complex consumption, this system is expected to be played in the other facilities of the UES. The project has a total cost of \$ 567,640.02 excluding IVA, with a recovery time of 10 years and 6.5 months.

ÍNDICE

Resumen	c
Índice	d
1-Introducción-Planteamiento del problema.....	1
Antecedentes y Justificación	2
Objetivo general	3
Objetivos Específicos	3
Diseño metodológico del estudio	3
2-Desarrollo.....	5
Investigación y Fundamentación Teórica.....	5
Preparación y Trabajo de Campo	14
Demanda y consumo	18
Recurso solar disponible e Índice de productividad.....	20
3-Diseño del Sistema FV de cada edificio	21
Edificio de Administración Académica.....	25
Edificio de Biblioteca de las Ingenierías	33
Edificios B, C y D.....	35
Edificio de potencia.....	37
4-Energía Generada y Pérdidas del sistema	42
Pérdidas por orientación y producción neta	45
5- Costos del sistema y evaluación económica	50
6-Resultados, Conclusiones y Recomendaciones	59
Referencias Bibliográficas.....	63
Anexo- Plan de Oferta.....	64

1-INTRODUCCIÓN-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un 34.9 % de la energía eléctrica de El Salvador es generada con combustibles fósiles, el 65.1% restante es hidroeléctrica, geotérmica y Biomasa. El incremento de la capacidad térmica instalada se ha hecho más evidente a partir de los años 90, debido a la no instalación de fuentes de energía diferentes a la térmica y a la necesidad de cubrir el incremento de la demanda.

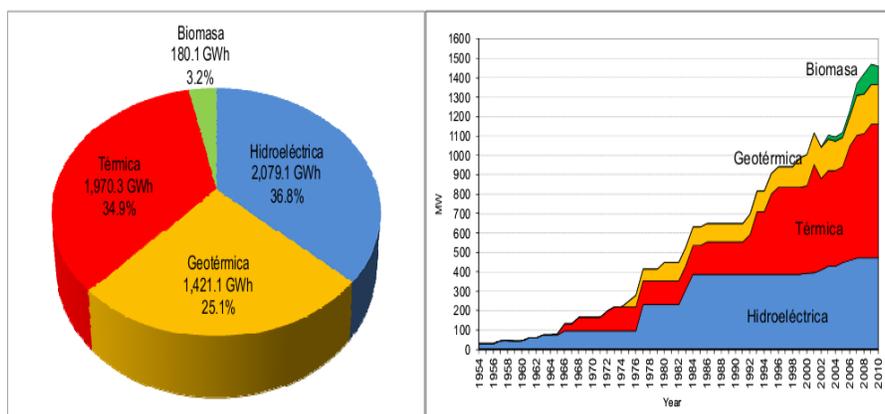


Figura 1.1-Generación de energía por tipo de recurso¹ y la Evolución anual de la capacidad instalada²

El gobierno, contempla modificar la matriz energética potenciando las energías renovables, de manera que se prevé un interés creciente en el sector privado, industria y usuarios en general por instalar sistemas fotovoltaicos SFV en fábricas, comercios, edificaciones y casas.

En la Universidad de El Salvador, la facturación por energía eléctrica, durante el 2012 y 2013, ha alcanzado valores preocupantes, con montos alrededor de los \$120,000.00 dólares mensuales. Solo en la acometida Complejo Deportivo-FIA la facturación ha alcanzado los \$22,000.00/mes. Esta situación plantea la necesidad de generar alternativas que reduzcan este gasto, tales como:

- El cumplimiento de la política institucional de ahorro y eficiencia energética
- Emplear el recurso solar como fuente de energía eléctrica.

¹ SIGET, Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 12. 2010

² JICA-CNE, Plan maestro para el desarrollo de las energías renovables en El Salvador Marzo 2012

Antecedentes y Justificación

La contaminación ambiental, el calentamiento global, el alto costo de los derivados del petróleo y la fuerte dependencia de los combustibles fósiles, obliga a la Universidad, profesores e investigadores a promover y desarrollar estudios tendientes a solucionar esta problemática.

Dentro de la política energética universitaria, aprobada por la Asamblea General Universitaria, (septiembre 2011), se contempla el tema de la eficiencia energética, la arquitectura Bioclimática y el uso del recurso solar en al menos un 20% de los antiguos y nuevos edificios de la UES. De manera que existe un compromiso institucional por impulsar las energías renovables, por tanto se hace necesario el efectuar estudios que lleven a hacer efectiva esta política de la UES

Dado que los costos de los SFV han disminuido apreciablemente, el presente trabajo se ha desarrollado de tal forma que el documento final esté listo para ser presentado a instituciones financieras y organismos de cooperación para gestionar su implementación. La UES, debe contribuir en la toma de decisiones de país referido a la modificación de leyes que incentiven el uso de estas tecnologías que vendrían, no solo a diversificar la matriz energética, sino a disminuir la dependencia del petróleo y a mitigar la contaminación y el cambio climático.

En abril del 2012, mediante los decretos 80 y 81, aprobados por el ejecutivo, se han abierto las puertas para el inicio de un proceso de desarrollo de las energías renovables en El Salvador. Estos decretos ejecutivos, una vez implementados, proveerán los mecanismos para que los pequeños generadores, tengan acceso a la red de distribución, sean despachados de forma prioritaria, vendan sus excedentes de energía inyectada a la red y gocen de beneficios adicionales tanto desde el punto de vista técnico, relacionados con el uso de red y pérdidas, como beneficios económicos relacionados con el fisco y otros.

Entre las mejores aplicaciones de la energía solar FV, se encuentra la de emplear los techos de las edificaciones como sitios de generación de energía eléctrica, utilizando inversores con conexión a red. SFV de pequeña capacidad operan desde el 2009 en la FIA.

Objetivo general

Diseño de un sistema Fotovoltaico conectado a la red, para la Facultad de Ingeniería y Arquitectura FIA, de la Universidad de El Salvador UES

Objetivos Específicos

- Determinar el recurso solar disponible para generar energía eléctrica en la Universidad.
- Determinar el consumo eléctrico de la FIA con su perfil de carga.
- Identificar las alternativas tecnológicas más factibles de solución.
- Establecer el diseño y la configuración FV más apropiada
- Evaluar la inversión y los niveles de reducción en la facturación por electricidad.

Diseño metodológico del estudio

El presente estudio, se ha desarrollado en las edificaciones que comprenden la Facultad de Ingeniería y Arquitectura FIA, de la Universidad de El Salvador UES, en donde se ha efectuado una investigación de campo, no experimental, orientada a la determinación del recurso solar disponible y a cuantificar la capacidad de generación fotovoltaica FV en base a la irradiancia solar y al área de techos de los edificios existente en el sitio.

El trabajo se ha elaborado de tal forma que el documento final esté listo para ser presentado a instituciones financieras y organismos de cooperación para gestionar su implementación.

El proceso de investigación comprende:

- **Investigación bibliográfica** sobre el tema: fundamentación teórica, inversores y MFV, permisos de construcción, instituciones involucradas, legislación ambiental y reglamentos aplicables
- **Preparación y trabajo de campo**, que incluye: identificación de registros meteorológicos en la zona y recolección de información, definición de criterios de escogitación de edificios con posibilidades de generación, elaboración de "check list", programa de visitas a los edificios sujetos de estudio en la FIA, medición de áreas, sombras, orientación, inclinación de techos y actualización de los planos de conjunto de la FIA, rechazo de edificaciones con bajo potencial de generación por problemas de sombras u otros relevantes y eliminación de aquellas que no son factibles por simple inspección

- **Determinación de la demanda y consumo de energía eléctrica** de la FIA, comprende: identificar la acometida en la que se encuentra conectada, obtención de las facturas de la distribuidora de los últimos meses, medición de perfiles de carga de las instalaciones actuales, definición de los cambios a efectuar, identificación de tableros existentes, subestación que maneja cada edificio y su demanda.
- **Determinación del recurso solar e índices de producción** anual, para esto, los valores de irradiancia promedio mensual requeridos se han obtenido a partir de varias fuentes como: SWERA, sitio Web de la NASA, registros de irradiancia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y de estaciones meteorológicas cercanas como la de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, CEL. También se ha hecho uso de los índices de producción anual “Ya” en KWh/KWp obtenidos de otras plantas de generación existentes en CEL, SESSA y en los obtenidos de los prototipos instalados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica EIE, producto de 3 años de mediciones.
- **Diseño eléctrico** comprende para cada edificio: definir los criterios de selección del equipamiento, capacidad en paneles fotovoltaicos, PFV a instalar en las diferentes edificaciones de la FIA, basados en el consumo y facturación, área de techos disponible, orientación y a un análisis de costos e inversión razonable, generación de alternativas, ubicación de nuevos tableros, inversores y distribución de PFV, capacidad de conductores y protecciones, conexión con tableros existentes, mediciones de distancias de cableado y canalizaciones, sistema de monitoreo de la producción FV, elaboración de especificaciones técnicas, planos eléctricos y diagrama unifilar.
- **Determinación de la energía generada y las pérdidas del sistema:** una vez definido el tamaño del sistema se procede a calcular la cantidad de energía anual que es capaz de producir así como las pérdidas, especialmente por orientación, que se presentan en particular en el edificio de biblioteca
- **Evaluación económica**, una vez determinado el diseño eléctrico en cada edificación, se procede a evaluar los costos de su implementación y a desarrollar un análisis económico empleando herramientas de análisis como TIR, VAN y relación beneficio costo B/C.
- **Elaboración de carpeta técnica, ver anexo**, en la cual se muestran, por confidencialidad, solo una parte de las especificaciones técnicas y plan de oferta presentados a las autoridades de la FIA.
- **Resultados y discusión, conclusiones y recomendaciones:** Tomando en consideración los objetivos específicos definidos, el recurso solar disponible, los estudios de campo, las investigaciones efectuadas y los resultados de los perfiles de carga y flujo de energía obtenidos.

2-DESARROLLO

Investigación y Fundamentación Teórica

En El Salvador, por su ubicación en la franja tropical y a 13.69º de latitud norte, el recurso solar es abundante, con un promedio diario anual de 5 horas sol pico HSP. Las HSP, se obtienen dividiendo el área bajo la curva de irradiancia, entre 1000 W/m² que es la irradiancia estándar empleada por el fabricante de módulos foto voltaicos MFV para definir su capacidad nominal.

Una instalación FV de 1000 Wpico, en un lugar en donde la irradiación promedio diaria anual es de 5 KWh/m², puede producir 5 kWh diario de energía en DC, y durante un año 1.825 MWh. La energía en corriente directa DC obtenida a la salida del MFV, es afectada por la orientación, e inclinación de los MFV y difiere de la producción en corriente alterna AC, entregada a la carga, por las pérdidas en el cableado, eficiencia del inversor y otras pérdidas de conversión. Dado que la eficiencia de un MFV mono cristalino, 15 a 18%, relaciona la potencia de salida del MFV expresada en Watts/m², con la potencia de entrada irradiada por el sol de 1000 Watts/m², puede determinarse el área ocupada por un sistema fotovoltaico SFV para producir energía.

M	Material de la celda	Área requerida por 1 kWp	
	Mono-crystalline High performance cells	7m ² –9m ² 6m ² –7m ²	
	Polycrystalline	7.5m ² –10m ²	
	Copper indium diselenide (CIS)	9m ² –11m ²	
	Cadmium telluride (CdTe)	12m ² –17m ²	
	Amorphous silicon	14m ² –20m ²	

Figura 2.1-Diferentes tecnologías de PFV y el área requerida para su instalación³

³ The German Energy Society , “Planning and Installing Photovoltaic Systems”, Second Edition, Earthscan, london, Sterling, VA 2008

Para un SFV de un KW con PFV poli cristalinos, se requiere un área de producción entre 5.6 y 6.7 m², el área real puede aproximarse a entre 7.5 y 10 m² por kW de paneles fotovoltaicos PFV poli cristalino, si se requieren pasillos para mantenimiento. La figura 2.1, muestra las áreas estimadas de cobertura incluyendo pasillos para diferentes tecnologías de PFV. La tecnología amorfa, requiere aproximadamente el doble de área que la tecnología poli cristalina. Existe también MFV Híbridos que emplea PFV que combinan poli cristalino y amorfo, llamada HIT, que requiere de un área mínima de 5.3 m²/kWp, sin pasillos, así como otras tecnologías cuyas celdas se conectan en la parte posterior del MFV proporcionando más área colectora útil.

Sistemas FV con inyección a la red SFVIR

La aplicación más importante de los SFV, para la generación de grandes cantidades de energía, la representan los SFV con inyección a la red, SFVIR, en estos el generador FV está directamente conectado a la red por medio de un inversor de características especiales, cuya función no es solo transformar la DC, suministrada por los MFV en AC, al voltaje y frecuencia de la red a la cual se conectará, sino también hacer trabajar los PFV en el punto de máxima potencia MPP. Por otro lado, los inversores monitorean, adicionalmente, la red a la que se conectan, en lo que a posibles fallas o problemas de calidad en el suministro eléctrico, desconectándose de la red eléctrica, en caso de no encontrarse dentro de los límites de voltaje y corriente pre establecidos

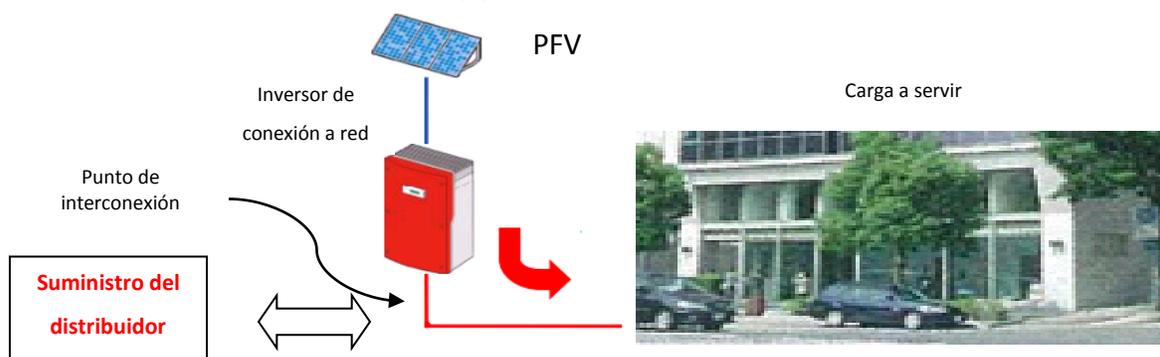


Figura 2.2- Sistema FV Tipo, de inyección a la red

El generador FV se puede integrar a techos o fachadas en viviendas y edificios, o en estructuras especiales. El empleo en los techos existentes, es precisamente lo que potencia el uso de estos sistemas porque reducen, entre otros, el costo de instalación, mantenimiento y seguridad.

Muchos de estos equipos traen incorporado en el inversor un transformador para aislamiento, un interruptor automático de desconexión que opera cuando la tensión de la red se encuentra fuera de los márgenes establecidos los cuales generalmente coinciden con los definidos por las Normas, IEC, IEEE, ANSI u otras de aplicación en el país.

En un sistema en el que se prevea que el generador FV entregará energía a la distribuidora, se hace necesaria la instalación de un contador bidireccional, para medir la energía eléctrica inyectada en la red por el generador FV y la entregada por la distribuidora al edificio. Entre las principales ventajas de los SFVIR se pueden mencionar las siguientes:

- Al generar energía eléctrica en el mismo punto en que se consume, se disminuyen las pérdidas en la transmisión y distribución de la energía eléctrica.
- Se instalan fácil y rápidamente sobre cualquier edificio o área de parqueo expuesta al sol y que no tenga obstáculos o edificios próximos que proyecten sombras, el tema de la seguridad, por posibles robos, se ve entonces minimizado.
- No producen contaminación, ni efecto nocivo en el medio ambiente y son fuentes de energía inagotable, siendo su vida útil de 25 años o más.
- Son sistemas modulares, es decir, permiten inversiones y ampliaciones escalonadas.
- Los costos de operación y mantenimiento son reducidos.
- Es una tecnología segura, confiable, robusta y ampliamente probada en el mundo.

En los sistemas fotovoltaicos con inyección a la red, SFVIR, no se utilizan baterías, de manera que la energía eléctrica producida por el SFVIR y que no se consume en la instalación, se entrega a la red eléctrica. Dependiendo de la capacidad del SFV a diseñar, esta situación puede darse en la UES, en especial los fines de semana en que la demanda es mínima.

Cuando la energía eléctrica demandada por la instalación es superior a la que el SFVIR puede proporcionar, se toma la energía de la red automáticamente, esto se debe a que el inversor está especialmente diseñado para tomar decisiones sobre inyectar corriente a la red o no, manteniendo un sincronismo permanente. Al fallar la energía de la red, el sistema se desconecta y aunque exista potencial de generación, este se pierde. Un medidor bidireccional, registra la energía consumida por la carga y la entregada a la red por el generador FV. Dependiendo de la forma como finalmente decida la SIGET, lo relativo a la facturación de la energía, el usuario paga a la distribuidora la diferencia, pudiendo llegar a cobrar a ésta el excedente si se ha entregado más energía de la que se ha absorbido de la red.

Lo anterior se relaciona con lo establecido en los decretos ejecutivos 80 y 81 aprobados en abril de 2012, en los que se da prioridad de despacho a estas tecnologías, se permite la conexión a la red de distribución sin el pago por uso de red ni pérdidas de distribución y la venta de los excedentes de energía de los pequeños productores al mismo costo del KWh resultante de licitaciones de largo plazo por tecnología, una de las cuales está llevándose a cabo en el país.

El sistema de generación fotovoltaico, básicamente opera durante el día y la red de la distribuidora durante la noche, el inversor se desconecta automáticamente si la red falla, o si su voltaje frecuencia y/o índices de distorsión no son los adecuados. Todo sistema de generación FV, debe incorporar protecciones contra transitorios de sobretensión por descargas atmosféricas o por conmutaciones de la red, tanto la entrada del inversor, como en la parte de AC del sistema, consideraciones que han sido tomadas en cuenta en el diseño final.

El Inversor

Por considerar al inversor, como el elemento de operación y control más importante de un SFV conectado a la red, así como el dispositivo que convierte la señal de DC proveniente de los PFV en AC alterna para ser inyectada a la red, se estudia su principio básico de operación en las configuraciones más empleadas por los fabricantes en la actualidad.

Existen varios tipos de inversores para aplicaciones FV, los empleados en sistemas conectados a la red o conmutados por la red y los empleados en sistemas aislados o auto conmutados. Los conmutados, emplean a la red como elemento de control para generar el apagado de los interruptores de potencia electrónicos, utilizados en el puente de conmutación. Los auto conmutados, no necesitan de la red por tanto se emplean en sistemas aislados y frecuentemente utilizan IGBT, MOSFET o GTO como dispositivos de conmutación. En cuanto al sistema de control este se efectúa basados en corriente o voltaje, en los inversores conmutados por la red se emplea control por corriente

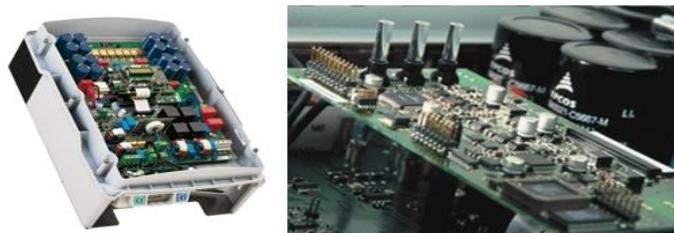


Figura 2.3- Inversor tipo, con inyección a la red

El Inversor debe especificarse, entre otros, en función de su potencia, del voltaje de salida del SFV, del voltaje de la red y del intervalo de MPPT, que es el rango de voltaje en el que el inversor hace operar a los MVF en su punto de máxima potencia.

Eficiencia

En términos generales la eficiencia del inversor se define como la relación entre la potencia AC entregada por el inversor a su salida y la potencia DC entregada por el arreglo FV.

$$\eta = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Otras definiciones incluyen la eficiencia de conversión, la eficiencia del MPPT, la eficiencia europea, la cual se emplea para propósitos de comparación con diferentes tecnologías, a distintos regímenes de carga.

$$\eta_{EURO} = 0.03 \cdot \eta_{5\%} + 0.06 \cdot \eta_{10\%} + 0.13 \cdot \eta_{20\%} + 0.1 \cdot \eta_{30\%} + 0.48 \cdot \eta_{50\%} + 0.2 \cdot \eta_{100\%}$$

En lugares con altos valores de irradiancia, (sur de los Estados Unidos) los valores de eficiencia se han ajustado en los siguientes términos

$$\eta_W = 0.04 \cdot \eta_{10\%} + 0.05 \cdot \eta_{20\%} + 0.12 \cdot \eta_{30\%} + 0.21 \cdot \eta_{50\%} + 0.53 \cdot \eta_{75\%} + 0.05 \cdot \eta_{100\%}$$

Funciones de protección

En un inversor conectado a la red, la operación aislada debe ser detectada y monitoreada, ya sea en forma activa o pasiva, a partir de su detección el inversor debe desconectarse automáticamente de la red. Los métodos de detección pasiva evalúan los cambios que se dan en la frecuencia, saltos en el voltaje de fase y caídas en los sistemas trifásicos. En los métodos de detección activos, los desplazamientos en la frecuencia, cambios en la impedancia, fluctuaciones en la potencia reactiva son algunos de los parámetros sujetos a monitoreo.

Inversor monofásico con transformador

La figura 2.4 muestra un inversor monofásico con transformador de aislamiento a su salida

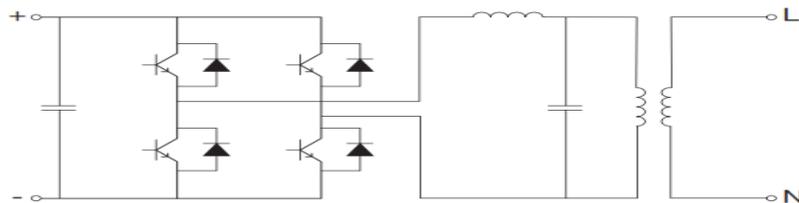


Figura 2.4- Inversor monofásico con transformador de aislamiento de baja frecuencia

El capacitor en la entrada DC establece un potencial estable en el inversor, la etapa en puente de transistores, empleados como conmutadores estáticos, constituyen el inversor propiamente

dicho, en el cual la señal DC proveniente de los MFV se convierte en AC, que en su forma más simple es una onda cuadrada. Para que la onda sea lo más sinusoidal posible, se emplea una técnica denominada PWM o de modulación del ancho del pulso. Esta técnica, figura 2.5, permite regular la frecuencia y el valor RMS de la forma de onda de salida.

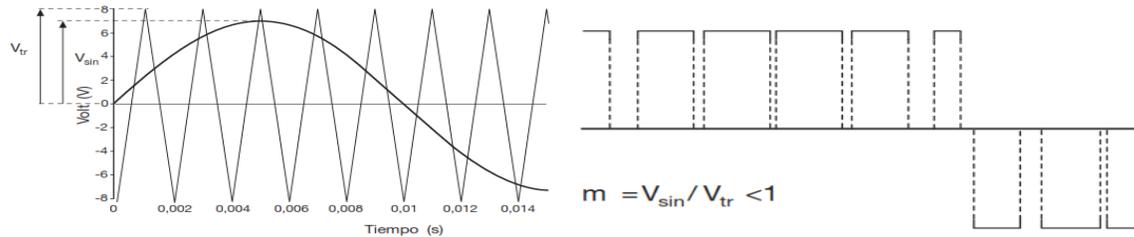


Figura 2.5 - Técnica de modulación del ancho del pulso

La potencia generada por un MFV, depende del punto de su curva característica en que se encuentre operando. Para optimizar el suministro de energía, el generador debe adaptarse a la carga, de manera que opere siempre en el punto de máxima potencia, de aquí la necesidad de un chopper controlado, llamado seguidor del punto de máxima potencia MPPT.

Inversor monofásico sin transformador

La configuración de la figura 2.6, es la empleada por algunos fabricantes. Dependiendo del nivel de tensión del String, pueden o no requerir el circuito “Boost”, cuya función es elevar el nivel de tensión DC, de acuerdo al voltaje de la red. Se incorporan etapas de filtrado, en el lado DC y AC, el relevador acopla o desacopla de la red de acuerdo al estado de la misma.

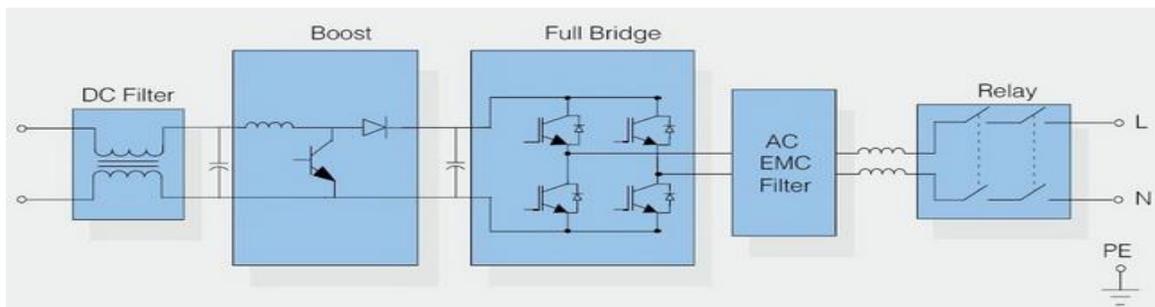


Figura 2.6- Inversor monofásico con un MPPT

El circuito puente convierte la señal DC en AC, a través de un circuito de modulación de ancho de pulso PWM, no mostrado en la figura. Esta configuración no tiene transformador por lo que no existe aislamiento galvánico. Los interruptores del puente, usualmente están formados por IGBTs o MOSFETs y su conmutación se efectúa a frecuencias entre 5 y 20 KHz.

-Permisos de Construcción e Interconexión y Leyes de Medio ambiente

Se ha considerado este apartado, como parte de la investigación, debido a la necesidad de evaluar los requisitos establecidos por las leyes e instituciones de El Salvador para implementar un proyecto de generación FV.

Vice Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano

Ésta institución define la factibilidad o no de un proyecto, emite el permiso de construcción y recibe las obras una vez estén terminadas. Todo el trámite se lleva a cabo a través de 3 formularios denominados A-A1, B-B1 y C-C1, a presentar en diferentes etapas del proyecto:

- **Al iniciar el proyecto en fase de factibilidad Formulario A-A1**
- **Antes de la construcción, permiso de construcción, Formulario B-B1**

En esta etapa se debe de contar con planos completos de todas las obras a realizar en el proyecto, memorias de cálculo, permiso ambiental del MARN.

Al finalizar la obra, para efectos de recepción de la misma, Formulario C-C1

Incluye Bitácora de la construcción y constancias de recepción de obra por las instituciones involucradas... Se estima que las actividades, para el proyecto bajo estudio, se verán considerablemente reducidas, debido a que se trata de edificaciones existentes. En el caso de construcciones nuevas se requieren planos topográficos y de ubicación, con el objeto de que definan la línea de construcción, factibilidad y calificación del lugar

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN

El MARN ha establecido categorías para actividades obras y proyectos en cuanto a su impacto ambiental (Decreto N° 17 de la reforma al reglamento General de la Ley de Medio Ambiente Art. 3), la figura 2.7 muestra esas categorías.

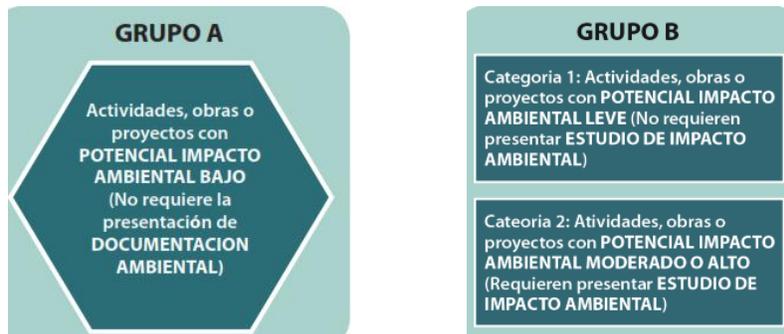


Figura 2.7- Categorización del MARN

El MARN, con la información proporcionada por el interesado y las visitas de campo, establecen la clasificación: **Grupo A**, proyectos FV hasta 100 KW, bajo impacto ambiental en instalaciones existentes. **Grupo B**, proyectos de generación, impacto leve o moderado, instalaciones de más de 100 KW, hasta 5 Ha para la **categoría 1** y más de 5 Ha para la **categoría 2**. En el presente estudio, como la capacidad a instalar supera los 100 KW, se requerirá presentar la documentación ambiental como corresponde a Grupo B categoría 1.

De acuerdo al criterio de este servidor, debería existir dentro del grupo A, una sub. Clasificación que se refiera a instalaciones FV mayores de 100 KW en edificaciones existentes.

Requisitos en SIGET y la Distribuidora Eléctrica.

En abril del 2011 el ejecutivo, emitió los decretos 80 y 81⁴ que permite a los generadores de energía eléctrica fotovoltaica, inyectar la energía en la red de distribución primaria o secundaria

⁴ Presidencia de la república, Decreto Ejecutivo N° 80 y N° 81, 23 de abril 2012,

de la distribuidora, cobrar por la energía inyectada, gozar de prioridad de despacho y el no cobro por el uso de red, entre otros incentivos. En dicho decreto se establece que el pago de los excedentes de energía inyectada a la red, por un usuario que tiene su planta de generación FV, serán pagados al precio por KWh que resulte de licitaciones exclusivamente de energía FV que efectúen las distribuidoras.

Condiciones técnicas para la interconexión.

Para el caso de la UES, su red de distribución eléctrica se encuentra conectada a la distribuidora CAESS con su correspondiente medición primaria, la cual no será necesario modificar dado que cumple con los requisitos establecidos por SIGET. No obstante, deben establecerse nuevas condiciones en el contrato, en particular lo referente al pago por la energía entregada a la red de la distribuidora.

Preparación y Trabajo de Campo

Descripción de las Instalaciones

La Universidad de El Salvador, UES, se encuentra ubicada al norte de la ciudad de San Salvador, su Campus, consta de un complejo de 70 edificios, nueve facultades y un estimado de 50000 alumnos, a su vez, la facultad de Ingeniería FIA, está constituida por 17 edificaciones, con aproximadamente 12000 estudiantes para ocho diferentes carreras. EL suministro eléctrico del Campus Universitario, es servido por la Compañía distribuidora AES-CAESS por medio de cuatro acometidas a 23/13.2 KV, denominadas respectivamente:

- A. Facultad de derecho: Medición secundaria con medidor #00749315, y que presenta una demanda promedio mensual de 108.81 KW.
- B. Facultad de Agronomía: Medición primaria con medidor #95203324, y que presenta una demanda promedio mensual de 1023 kW

- C. UES- Sector Nor-Oeste frente a ANDA (Facultad Humanidades y Economía): Medición primaria con medidor #95203319, presenta una demanda promedio mensual de 384 kW.
- D. Complejo Deportivo-FIA (Facultad de Ingeniería y Arquitectura): Medición primaria con medidor #95203325, presenta una demanda promedio de 462 kW.

Interesa en particular la acometida “D” Complejo deportivo-FIA, dado que en esta se encuentra la FIA. Las acometidas del Campus, y su red de distribución primaria, están diseñadas de manera que, a futuro, se reduzcan a dos acometidas primarias, con posibilidad de interconexión entre ellas. Se tienen instalados 30 medidores de potencia y energía en 30 subestaciones del Campus. El consumo se registra en el Centro de Monitoreo de la red ubicado en la EIE (figura 2.8).



Figura 2.8-Campus Ciudad Universitaria y sus principales acometidas eléctricas

Acometida Complejo Deportivo-FIA

La acometida Complejo Deportivo-FIA está clasificada en el pliego tarifario como Grandes Clientes, GD2-MT con medidor horario, y la estructura de cobro la constituye: un cargo por demanda, basado en la potencia máxima demandada durante el mes, un cargo por energía dividido en tres períodos de tiempo denominados Pico, de 6 pm a 11 pm; Valle, de 11 pm a 5 am y Resto de 5 am a 6 pm., y un cargo por comercialización.

Esta acometida comprende las edificaciones del complejo deportivo, las de la FIA y dos edificios de la facultad de Agronomía. Internamente se ha instalado una medición primaria, que denominaremos MFIA, y otros sistemas de medición con los cuales puede calcularse el consumo de la FIA, Complejo deportivo y otros. La figura 2.9 muestra la red primaria de la acometida Complejo deportivo-FIA, en ella se indica la ubicación de los diferentes medidores y subestaciones involucradas en el presente estudio y en el que se distinguen: Mcd: Medidor Complejo Deportivo-FIA Mfia: Medidor FIA Ma: Medidores de agronomía.



Figura 2.9-Ruta de la Acometida FIA y subestaciones existentes

El suministro primario de la FIA, es trifásico a 23/13.2 KV, sostenida en postes de 35 pies con una línea de distribución que bordea las diferentes edificaciones formando una “U” invertida.

Edificaciones sujetas a estudio

Para determinar las edificaciones más apropiadas se consideraron los siguientes aspectos:

- Orientación, inclinación de techos y potenciales fuentes de sombra
- Tipo de techo y estructura de soporte
- Ubicación de tableros existentes y Tipo de carga de cada edificación
- Transformador que alimenta dicha edificación, conexión y Voltaje secundario
- Ubicación de inversores y tableros
- Trabajos de adecuación de las instalaciones y eliminación por simple inspección.

La tabla 2.1, muestra un resumen de las edificaciones consideradas más factibles.

Edificación	Tipo de techo	Área techos Norte	Área techos Sur	Área techos Este	Área techos Oeste	Área techos Total
Administración Académica	Plafón	0,0 Inclinación:	430,5 (10.5x41) Inclinación: 0°	0,0 Inclinación:	0,0 Inclinación:	430,5
Biblioteca (Lamina)	Lamina	206,0 (24.5x8.40) Inclinación:11°	156,0 (24.5x6.37) Inclinación:13°	156,0 (24.5x6.37) Inclinación:10°	206,0 (24.5x8.4) Inclinación:6.5°	724,0
Edificio B	Lamina	156,8 Inclinación:7°	159,0 Inclinación:7°	0,0 Inclinación:	0,0 Inclinación:	315,8
Edificio C	Lamina	156,8 Inclinación:7°	159,0 Inclinación:7°	0,0 Inclinación:	0,0 Inclinación:	315,8
Edificio D	Lamina	156,8 Inclinación:7°	159,0 Inclinación:7°	0,0 Inclinación:	0,0 Inclinación:	315,8
Edificio de Potencia	Lámina			216 Inclinación 7°		216
Totales m2		676,4	1063,5	372,0	206,0	2317,9

Tabla 2.1-Edificaciones con las mejores características para el aprovechamiento del recurso solar

Existen otras edificaciones que pueden emplearse, como el edificio de Ingeniería Civil, Mecánica, Industrial pero que presentan problemas de sombra y modificaciones en techos que incrementan sus costos. En total se pueden instalar hasta 476 KWp en MFV, para el presente estudio se ha considerado instalar (238.4 KWp), únicamente en los edificios que requieren menor inversión y mayor capacidad de generación.

Demanda y consumo

Un conjunto de transformadores de diferente capacidad se encuentran ubicados en puntos estratégicos de la FIA, para proporcionar el servicio secundario a las edificaciones. La gran mayoría de subestaciones están conectadas estrella/estrella para servicio a 208/120 voltios, el servicio a través de transformadores monofásicos a 240/120 voltios, está destinado para la iluminación exterior y los edificios B, C y D. La carga instalada correspondiente a la FIA consta de 1742.5 KVA en subestaciones. La medición primaria Mfia comprende las subestaciones de la FIA y dos edificios de agronomía, haciendo un total de 1892.5 KVA en subestaciones registradas por ese medidor. La capacidad total en transformadores instalados es de 2392.5 KVA. La tabla 2 muestra la factura de uno de los meses con mayor consumo durante el año.

Número Contrato:	5050160	GD2 - MT con Med. Hor.CAESS	Potencia contratada: 99.00 kw
			Potencia facturada: kw
Dirección del Suministro:	AV DON BOSCO FTE EDIF ALAS TOBAR, AULAS FACULT CIENCIAS ECON		Ruta-Itin-Aol: 84 9 1
	COMPLEJO DEPTVO ENT FAC INGRIA Y ARQ		CGV: SUB 980 KVA

Medidor	Mult.	Desde	Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Consumo
95203325	1100	04/10/2012	04/11/2012	791.02	776.04	16,478.00 kwh
95203325	1100	04/10/2012	04/11/2012	740.97	727.61	14,696.00 kwh
95203325	1100	04/10/2012	04/11/2012	2,728.76	2,668.77	65,989.00 kwh
95203325	1100	04/10/2012	04/11/2012	0.38	0.31	418.00 kw
95203325	1	04/10/2012	04/11/2012	94.90	94.90	94.90 F.P.
Concepto						Importe en \$
Cargo de Comercializacion						12.490000
Costo por tasa municipal por poste						0.150000
Cargo por Energia Punta						3,490.670000
Cargo por Energia Valle						2,933.070000
Cargo por Energia Resto						14,077.360000
Cargo de Distribucion Potencia						1,647.900000
Retencion IVA(Factura)						-196.120000
Compensacion por fallas						-2.020000
Subtotal:						\$21,963.500000

Tabla 2.2- factura del mes de noviembre de 2012

La factura muestra que el consumo total de energía en el mes: valle, punta y resto es de 97693 KWh/mes, solo en Resto, 5 am a 6 pm, es de 65989 KWh/mes y que la potencia pico máxima demandada durante el mes es de 418 KW. La facturación mensual fue de \$ 20501.11 dólares en concepto de energía y \$1647.90 en concepto de Cargo de distribución por potencia.

Perfiles de carga

Se midieron y obtuvieron los perfiles de carga de cada edificación involucrada en el proyecto, instalando analizadores de redes durante una semana en cada sitio. Para efectos ilustrativos, solo se muestra el perfil de carga de la acometida principal, **Complejo Deportivo-FIA**.

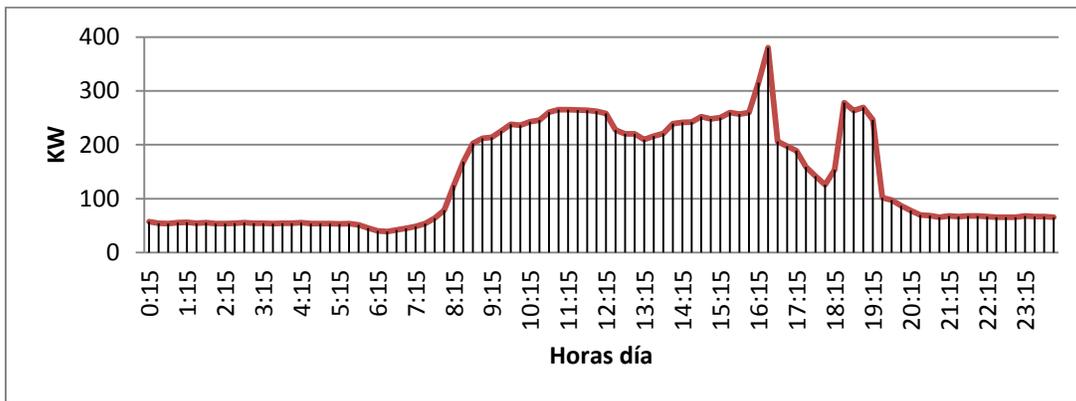


Figura 2.10-Perfil de carga, martes 17 de julio 2012, Potencia máxima 16:30, 380.16 KW, Energía: 3382 KWh/día

Ubicación	Capacidad de Transformadores KVA	Potencia máxima-Perfil de carga KW	Carga %
Mcd Acometida Complejo Deportivo FIA	1892.5	439	23.2
Mfia Medición FIA	1742.5	139.6	8
Edificio Biblioteca	300	35.7	11.9
Edificio Administrativo	225	71.6	31.8
Edificio B-C-D	100	6.45+5.61+5.61= 17.67	17.7
*Edificio de Potencia	300	28	9.3

Tabla 2.3- Cargas máximas por subestación

La Tabla 2.3, muestra un resumen de las demandas máximas obtenidas de las mediciones de perfil de carga, las subestaciones tienen un porcentaje de carga muy bajo.

Recurso solar disponible e Índice de productividad

Con el objeto de sustentar el estudio del recurso solar y los índices de productividad empleados para estimar la capacidad del sistema de generación, se recabó información de la página WEB de la NASA, del estudio efectuado en el proyecto SWERA coordinado por el PNUMA, y de los trabajos de investigación desarrollados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica EIE de la UES, entre ellos, los resultados del estudio realizado en el SFV de 24.57 kWp instalado en el edificio de CEL ubicado a aproximadamente un Km de la Ciudad Universitaria y cuyo informe fue presentado por la UES-EIE a CEL en julio del 2011. La información obtenida proviene de condiciones reales de operación lo que permite validar en mejor forma los resultados. Con la información obtenida, se elaboró el cuadro comparativo de la tabla 2.4.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
S-27	5.1	5.6	6.2	5.9	5.2	5.3	5.9	5.6	4.9	4.8	5	4.8	5.4
S-25	4.9	5.4	5.7	5.4	4.9	5.1	5.5	5.2	4.6	4.8	4.8	4.8	5.1
NASA	5.8	6.4	6.7	6.6	5.9	5.7	6.2	6.2	5.4	5.5	5.6	5.5	6.0
NASA 15°	6.6	6.9	6.9	6.4	5.8	5.7	6.2	5.9	5.3	5.7	6.2	6.3	6.2
CEL	5.9	5.6	6.6	5.6	5.2	5.1	6.2	6.7	5.8	5.7	5.3	5.3	5.8
CEL 15°	6.8	6.1	6.8	5.5	5	4.8	5.8	6.5	5.8	6.1	5.9	6.2	5.9

Tabla 2.4- Comparativa de valores de irradiancia promedio en KWatts/m2

La tabla muestra que las mediciones obtenidas en CEL, son representativas del recurso solar existente en la Ciudad Universitaria, distante aproximadamente un Km del sitio CEL, por tanto dichos valores, incluyendo el índice de productividad **Ya= 1657 KWh/KWp** obtenido de las mediciones efectuadas durante un año, representan una buena referencia para la evaluación del sistema fotovoltaico SFV de la FIA. Las abreviaturas S-27 y S-25, corresponden a estaciones meteorológicas ubicadas en San Salvador y obtenidas del proyecto SWERA⁵

⁵ SWERA, MAGMA UCA, 2Determinación del potencial Solar y Eólico en El Salvador” Octubre 2005

3-DISEÑO DEL SISTEMA FV DE CADA EDIFICIO

Con el objeto de determinar el tipo de Inversor y MFV a emplear se generaron los siguientes criterios:

- Requerimientos de voltaje y corriente DC y AC tanto a la entrada como a la salida de los diferentes equipos, monofásicos o trifásicos.
- Debido a que los inversores de conexión a red permiten operar a los MFV en el punto de máxima potencia MPPT, debe asegurarse que el voltaje de trabajo del conjunto de MFV o String, opere dentro del rango de operación en el que el inversor controla el MPPT.

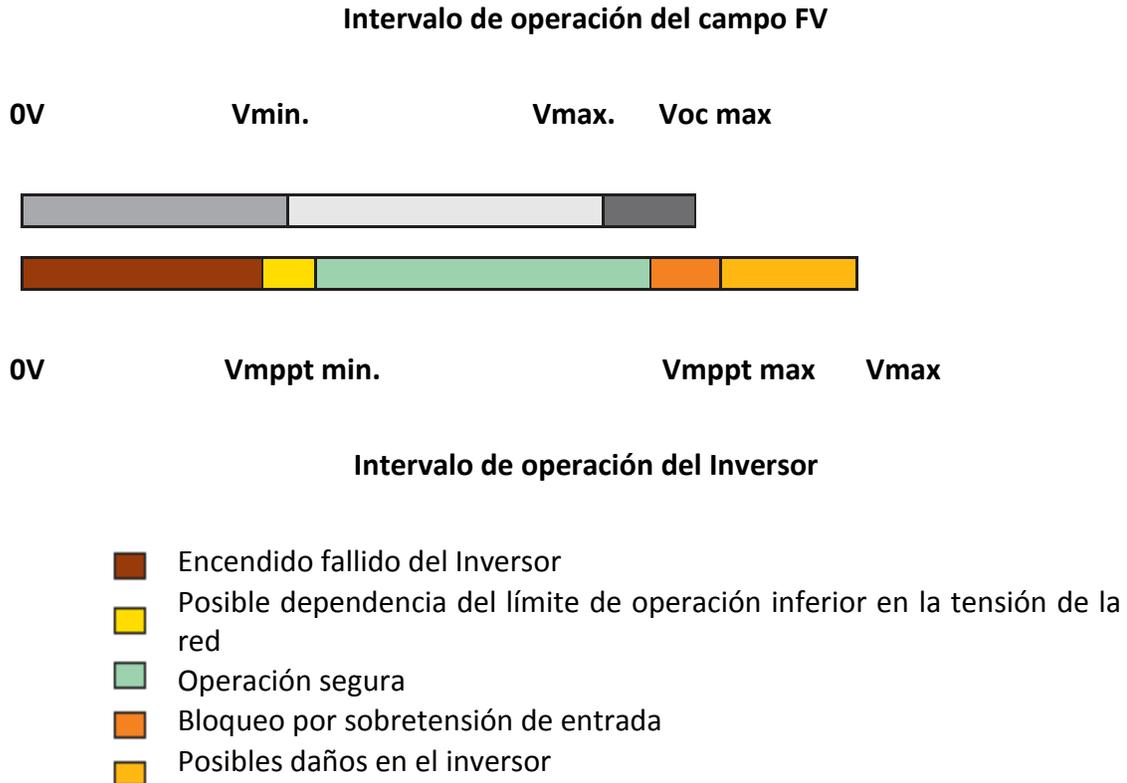


Figura 3.1-Intervalo de operación en DC, del campo FV y del inversor

- Los MFV, tienen un voltaje en vacío V_{oc} mayor, en aproximadamente un 15% al voltaje de trabajo V_{mppt} , es necesario asegurarse que el voltaje resultante de la configuración de MFV, string, no sobrepase el voltaje máximo que soporta el inversor a su entrada.
- En El Salvador la temperatura de operación de los MFV puede alcanzar los 70°C, y de igual manera, la temperatura ambiente varia, dependiendo de la zona, entre los 5°C y 40°C, estas variaciones afectan la operación de los MFV, su potencia y sus voltajes de trabajo y de vacío, por tanto, es necesario evaluar los cambios y asegurarse de que estos no superen los voltajes y corrientes de operación del inversor. El fabricante proporciona los coeficientes de temperatura de sus MFV, útiles para efectuar los cálculos.
- Las protecciones del sistema tanto en DC como en AC se deben instalar tomando en cuenta que cada String de MFV debe tener su respectiva protección basados en la corriente de cortocircuito I_{sc} y considerando que dicha corriente corresponde a una irradiancia de 1000W/m² y que esta puede, bajo condiciones especiales ser mayor lo que incrementaría la corriente en el sistema por encima de los valores normalizados.
- Las protecciones contra transitorios de sobretensión por descargas eléctricas y conmutación también deben de instalarse, tanto en la red de datos, como a la entrada DC de cada inversor y en el tablero de inversores AC.
- En general, aunque se ha diseñado la instalación a un nivel de tensión inferior a 600 voltios DC, el nivel de aislamiento del cableado DC será para 1000 voltios
- Los MFV se escogerán de manera tal que la relación KWp/Área sea la más grande posible, para asegurar un mejor aprovechamiento del espacio disponible, en ese sentido las tecnologías de MFV a emplear serán mono cristalinas o poli cristalinas.
- El cableado entre MFV se debe efectuar instalando los MFV en oposición, facilitando que los conductores + y – se **canalicen juntos**, con el objeto de disminuir el campo magnético en la instalación, otras alternativas deben evaluarse basados en el criterio anterior.

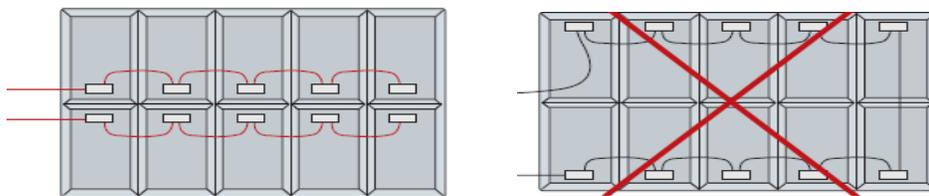


Figura 3.2- Cableado tipo entre MFV

- Dependiendo del tipo de carga en cada edificación, ejemplo: motores con elevado par de arranque, conviene instalar inversores con transformador, para nuestro caso concreto, todos los inversores a instalar deben ser con transformador de aislamiento.
- Se evitará que en los MFV, se tengan problemas de sombra por árboles, edificaciones y entre filas. Se dispondrán en forma horizontal o vertical, para minimizar dichos efectos.
- En cuanto a la ubicación de los MFV en los diferentes edificios, la figura muestra algunas alternativas que pueden emplearse.

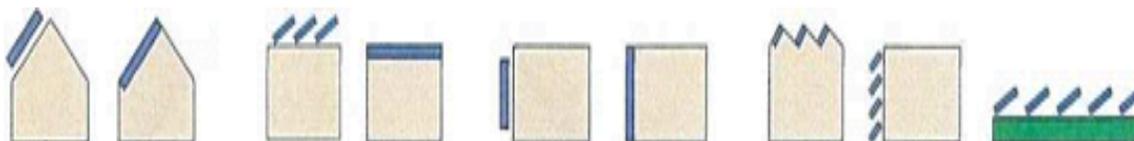


Figura 3.3- Formas de instalar los MFV. Sobre techos inclinados, integrado al techo, en techos planos, en la fachada, como tragaluz, como cubre sol, en el piso, en la FIA se instalarán sobre techo inclinado y losa.

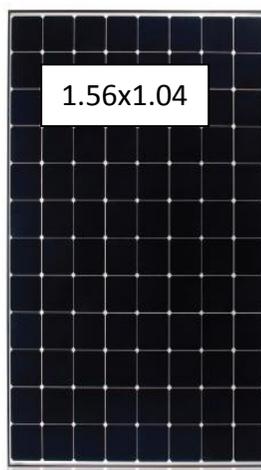
-Criterios para determinar el tamaño del Módulo Fotovoltaico MFV

Se evaluaron diferentes tamaños de MFV de manera que la relación KWp/área sea la mayor, con lo cual se optimiza el área disponible.

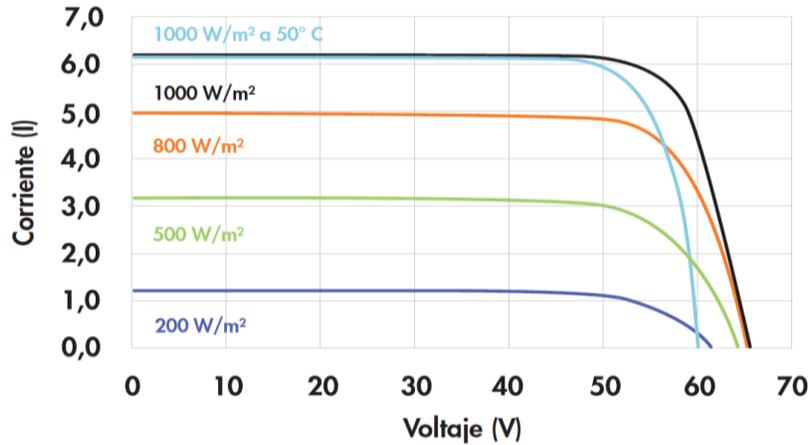
Dimensiones		Potencia	Área	Relación	Tecnología
Largo (m)	Ancho (m)	W	m ²	W/Área	
1.20	0.60	85	0.7	118.1	Placa delgada CdTe
1.58	0.80	200	1.3	158.2	Mono o poly
1.65	1.75	220	2.9	76.2	Monocrystalino
1.68	1.00	240	1.7	142.9	Monocrystalino
1.68	0.99	245	1.7	147.3	Monocrystalino
1.65	0.99	245-270	1.6	165.3	Monocrystalino
1.95	0.99	300	1.9	155.4	Monocrystalino
1.56	1.04	315	1.6	194.2	Monocrystalino
1.65	1.42	320	2.3	136.6	Policristalino
1.56	1.56	325	2.4	133.5	Monocrystalino

Tabla 3.1- Cuadro comparativo KWp/área entre tecnologías

La tabla 3.1 muestra los resultados de la evaluación, de todos los MFV el que presenta un mayor índice de relación potencia/área es el de 315 Wp, sus especificaciones son:



Datos Eléctricos		
<small>Medidos en condiciones de prueba estándar (STC): Irradiancia 1000W/m², AM 1,5, temperatura de células 25° C</small>		
Potencia nominal (+5/-3%)	P _{nom}	315 W
Volaje en el punto de máxima potencia	V _{mpp}	54,7 V
Corriente en el punto de máxima potencia	I _{mpp}	5,76 A
Volaje de circuito abierto	V _{oc}	64,6 V
Corriente de cortocircuito	I _{sc}	6,14 A
Volaje máximo del sistema	IEC	1000 V
Coeficientes de temperatura		
	Potencia	-0,38% / K
	Volaje (V _{oc})	-176,6mV / K
	Corriente (I _{sc})	3,5mA / K



Características corriente/voltaje dependiendo de la irradiancia y la temperatura del módulo

Figura 3.4- Características técnicas del MFV de referencia a instalar SUN POWER 315E

Algunas características particulares de este MFV son su alta eficiencia de conversión 19.3% debido, entre otros, a sus 96 celdas mono cristalinas con contactos en la cara posterior.

Determinación del tamaño del inversor para cada edificación.

Dada las frecuentes fallas y sobretensiones en el suministro eléctrico en la zona de la ciudad Universitaria, se ha considerado el uso de inversores monofásicos y con aislamiento galvánico.

Se tomarán como referencia los inversores fabricados por SMA, aunque podrían ser ABB, Advanced Energy, Aurora y de otros fabricantes debidamente certificados y de amplia experiencia en la fabricación de inversores de conexión a red. El balanceo de la producción de energía, también es importante, de manera que en el caso de suministro trifásico se escogerá el número de inversores en un múltiplo de tres, distribuidos uniformemente entre las fases.

Edificio de Administración Académica

Se trata de un edificio de tres niveles con plafón de concreto, que alberga oficinas administrativas, Decanato, salas de reuniones (...).

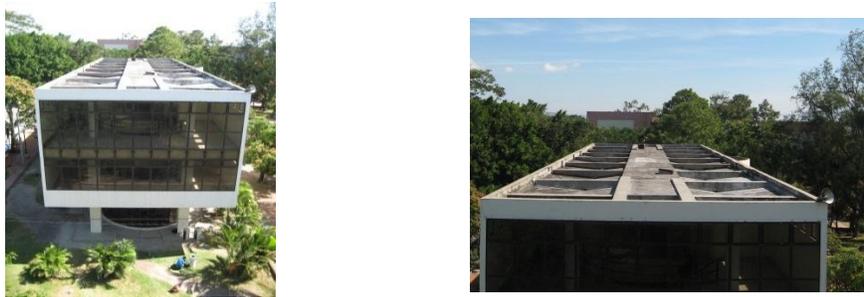


Figura 3.5- Techos del edificio de Administración

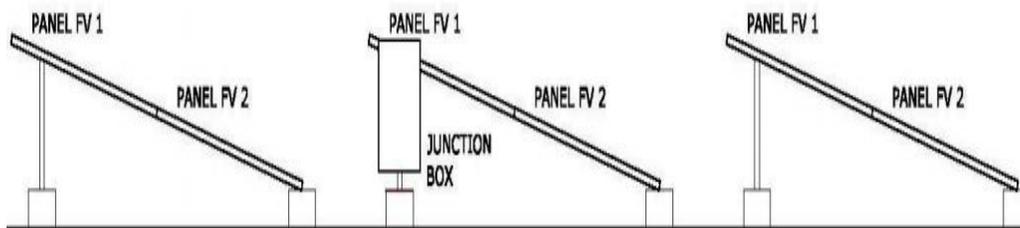


Figura 3.6- Distribución de MFV y soporte en edificio Administrativo

Separación entre filas de MFV

La distancia mínima requerida entre filas de MFV, se calcula de acuerdo a la latitud del sitio y a la inclinación de los MFV de aproximadamente 13.72° respecto a la horizontal

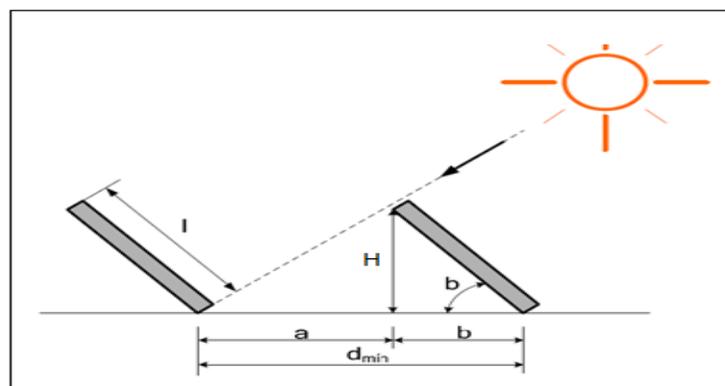


Figura 3.7- Distancia mínima entre estructuras de montaje de paneles.

En instalaciones que se utilicen todo el año, el día más desfavorable corresponde al 21 de diciembre. En este día la altura solar es mínima y al mediodía solar tiene el valor siguiente

$$H = 90^\circ - \text{latitud} - 23.5^\circ \quad (3-1)$$

$$H = 90^\circ - 13.72^\circ - 23.5^\circ = 52.78^\circ \quad (3-2)$$

De la figura 3.7 se deduce: $d_{min} = L * \cos \beta + \frac{\sin \beta}{\tan H}$ (3-3)

- d_{min} = Distancia mínima entre módulos para evitar sombras.
- l = Longitud del módulo, incluido el marco y el soporte correspondiente 1.56 x2= 3.12 m.
- H =Es la altura solar en el medio día del mes más desfavorable (21 de diciembre)
- β = El grado de inclinación de los módulos respecto a la horizontal 13.72°.

Los cálculos muestran que la distancia mínima, d_{min} , para evitar el inter sombreado de los módulos fotovoltaicos el día de menor altitud solar del año, es de 3.59m, empleando MFV de 315 W, longitud 1.56 m., e instalando dos MFV opuestos entre sí.

La distancia "a", resultó ser de 0.56 mts., pero, por mantenimiento se amplía a 0.97 m., dejando una distancia de 4 mts., entre filas de estructuras de soporte. La figura 9 muestra la distribución de MFV, en un área de 41x10.5 metros, con pasillos de mantenimiento de 1 metro.

41 metros

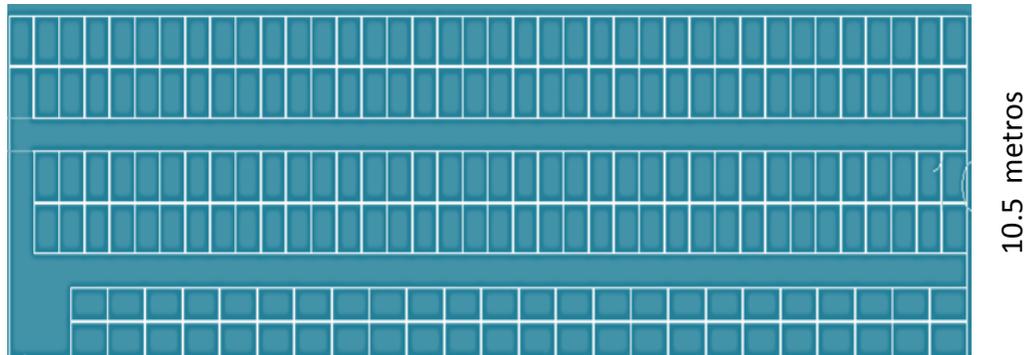


Figura 3.8- Distribución de MFV en edificio Administrativo FIA

De acuerdo a la distribución, pueden instalarse hasta 198 MFV de 315 W, es decir 62.37 KW, de manera que se instalarán 6 inversores de 7000 W y 3 de 6000W con aislamiento galvánico.

Especificaciones Inversor SB 7000US y SB 6000US

Tensión máxima del punto de máxima potencia (MPP)	250 V ... 480 V	250 V ... 480 V
Tensión de servicio nominal	310 V	310 V
Rango de la tensión de funcionamiento de entrada	250 V ... 600 V	250 V ... 600 V
Máxima potencia de entrada del generador	8 750 W	7 500 W
Potencia máxima de CC	7 500 W	6 400 W
Tensión fotovoltaica de arranque	300 V	300 V
Corriente máxima de entrada de CC	30 A	25 A
Máxima corriente de cortocircuito en la entrada	36 A	36 A
Máxima corriente de retorno desde la red hacia el generador fotovoltaico	50 A CA	50 A CA
Factor de distorsión de CC	< 10 %	< 10 %

Rango de tensión de funcionamiento de CA con un valor nominal de 208 V	183 V ... 229 V	183 V ... 229 V
Rango de tensión de funcionamiento de CA con un valor nominal de 240 V	211 V ... 264 V	211 V ... 264 V
Rango de tensión de funcionamiento de CA con un valor nominal de 277 V	244 V ... 305 V	244 V ... 305 V
Rango de frecuencia de funcionamiento de CA	59.3 Hz ... 60.5 Hz	59.3 Hz ... 60.5 Hz
Frecuencia de CA, valor nominal	60 Hz	60 Hz
Máxima potencia continua de salida de CA	7 000 W	6 000 W
THD actual	< 4 %	< 4 %
Máxima corriente constante de salida de CA a 208 V	34 A	29 A
Máxima corriente constante de salida de CA a 240 V	29 A	25 A
Máxima corriente constante de salida de CA a 277 V	25.3 A	21.6 A
Máxima corriente de defecto de salida	57.6 A	57.6 A
Protección máxima contra sobrecorriente de salida	50 A	50 A

Tabla 3.2- Especificaciones de los inversores

Análisis

Las características de los MFV y del inversor de 7000 W nos llevan a considerar:

-El rango de operación del MPP del inversor varía entre 250-480 voltios, de manera que para el MFV escogido cuyo voltaje MPP es de 54.77 voltios se requiere un máximo de $480/54.77 = 8.8$ MFV, de igual manera se requiere un mínimo de $250/54.77 = 4.6$ MFV.

-Si la máxima potencia recomendada en MFV en el inversor es de 8750 Wp, se requieren $8750/315 = 27.8$ MFV por inversor. Si se emplean 3 String por inversor, se tendrán 8 MFV por String, lo que hace un total de 24 MFV por inversor y $24 \times 315 \text{Wp} = 7.56 \text{ KWp}$ por inversor.

-Con 8 MFV por String se tiene: $V_{oc} = 8 \times V_{oc} = 8 \times 64.6 = 516.8$ voltios

$V_{mpp} = 8 \times V_{mpp} = 8 \times 54.77 = 438.16$ voltios.

-La corriente de cortocircuito I_{sc} por String = 6.14 amperios, y los 3 String generan 18.42 amp.

La protección por String será de $I_{sc}/0.8 \times (1/0.8) = 6.14/0.64 = 9.6$ amp, protección de 10 amp. ---

-Los dos factores de 0.8, consideran las variaciones de la corriente por encima de los valores de irradiancia estándar y la tolerancia como carga continua del interruptor de protección.

-Efecto de la temperatura:

Se analizará el **cambio máximo de temperatura del MFV hacia arriba**: $70-25 = 45^\circ\text{C}$

Constante de variación de V_{oc} con la temperatura: $-176.6 \text{ mv}/^\circ\text{k}$

Variación máxima de V_{oc} hacia abajo: $45 \times (-176.6) = -7.95$ voltios

Luego ante un incremento de la temperatura de la celda hasta 70°C , el V_{oc} alcanzará un valor mínimo de: $64.6 - 7.95 = 56.65$ voltios y el String alcanzará $V_{oc} \text{ String} = 453.2$ voltios.

Si asumimos, por ausencia de información del fabricante, la misma variación en el V_{mpp} , se tiene que el V_{mpp} alcanzará un valor mínimo de: $54.77 - 7.95 = 46.82$ Voltios y el String alcanzará $V_{mpp} \text{ String} = 374.56$ voltios

Ahora se analizará el **cambio máximo de temperatura hacia abajo**: $25-5 = 20^\circ\text{C}$

Variación máxima de V_{oc} hacia arriba: $-20 \times (-176.6) = 3.53$ voltios

Luego ante una disminución de la temperatura de la celda hasta 5°C , el V_{oc} alcanzará un valor

máximo de: $64.6 + 3.53 = 68.13$ voltios y el String alcanzará V_{oc} String = 545.04 voltios. Siendo 600 voltios el voltaje máximo DC del inversor.

Si asumimos, la misma variación en el V_{mpp} , este alcanzará un valor máximo de: $54.77 + 3.53 = 58.3$ Voltios y el String alcanzará V_{mpp} String = 466.4 voltios.

Como se ha demostrado, los resultados se encuentran dentro de los rangos de trabajo del inversor, el procedimiento aplicado es el mismo para los demás tamaños de inversores.

Diagrama Unifilar Edificio Administrativo

Las figuras 3.9 y 3.10 muestra el diseño unifilar del edificio Administrativo, el concepto es el mismo empleado en las demás edificaciones y comprende: medios de corte en cada String, protecciones de fusibles por String, tablero para inversores y supresores en DC y AC.

Aclaración: La configuración del STDC, puede sustituirse al emplearse inversores Sunny Boy US e instalar un "DC Disconnect", este es un medio de desconexión y protección incorporado en los inversores por este fabricante, el fusible de 30 Amp., es sustituido por un medio de desconexión que opera la parte DC y la AC, en este "DC Disconnect", el negativo se encuentra unido.

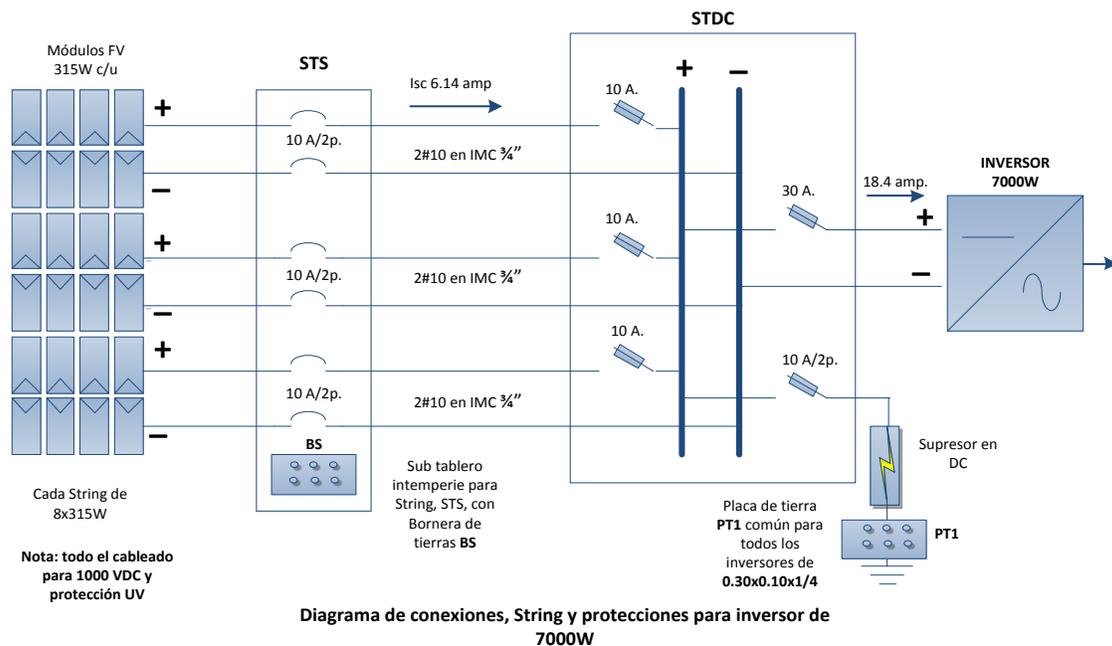


Figura 3.9- Cableado Tipo y protecciones Inversor de 7000W

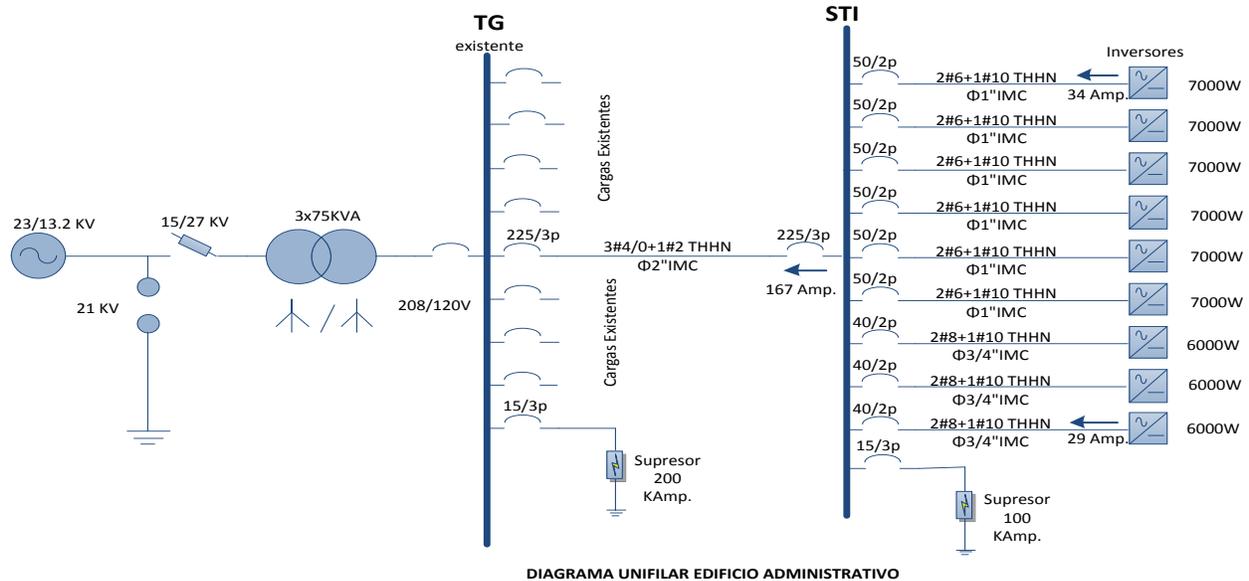


Figura 3.10- Diagrama Unifilar Edificio Administrativo

El supresor trifásico de 200 KAm., debe instalarse en el tablero TG, existente en el primer nivel del edificio, junto con la protección tipo industrial de 15 amp/3p. Se debe suministrar también una protección de 225/3p en TG, para proteger el alimentador al sub tablero STI

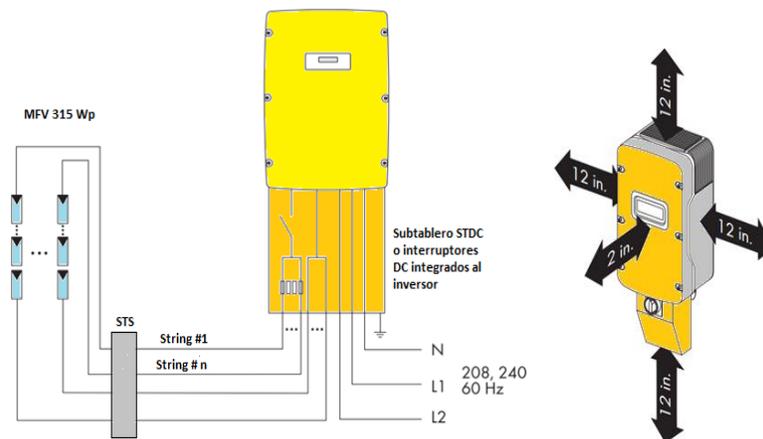


Figura 3.11- Detalle de conexión de String al inversor, claro que debe tener el Inversor al instalarse

La figuras 13 y 14 muestran la distribución tipo de los inversores, placa de tierra y demás equipos, en el último nivel del edificio. Todas las canalizaciones se efectuarán con tubería IMC,

debidamente soportadas y apoyadas en un riel Strutt. Todo el sistema debe ser adecuadamente aterrizado de acuerdo al esquema TIPO, mostrado en la figura 3.25 al final del capítulo, la red de tierra de los inversores debe unirse a la red de tierra existente, de tal forma que todo el conjunto opere como un sistema equipotencial.

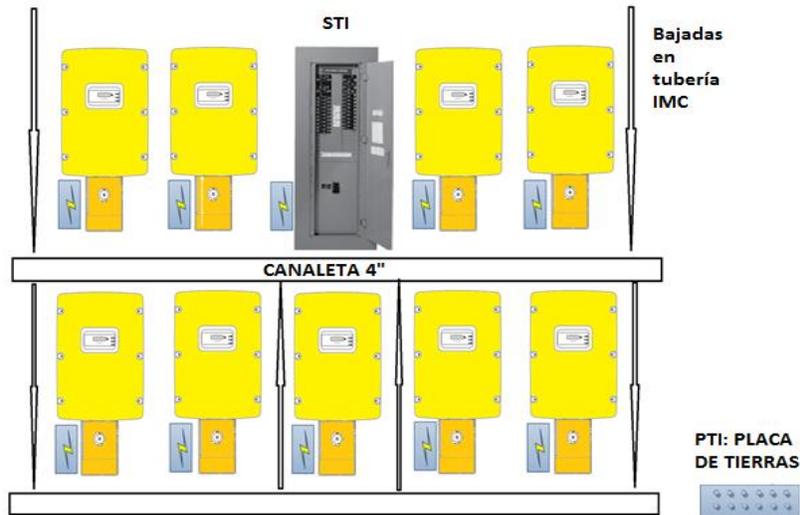


Figura 3.12- Detalle de distribución de los inversores en la pared del último nivel del edificio administrativo

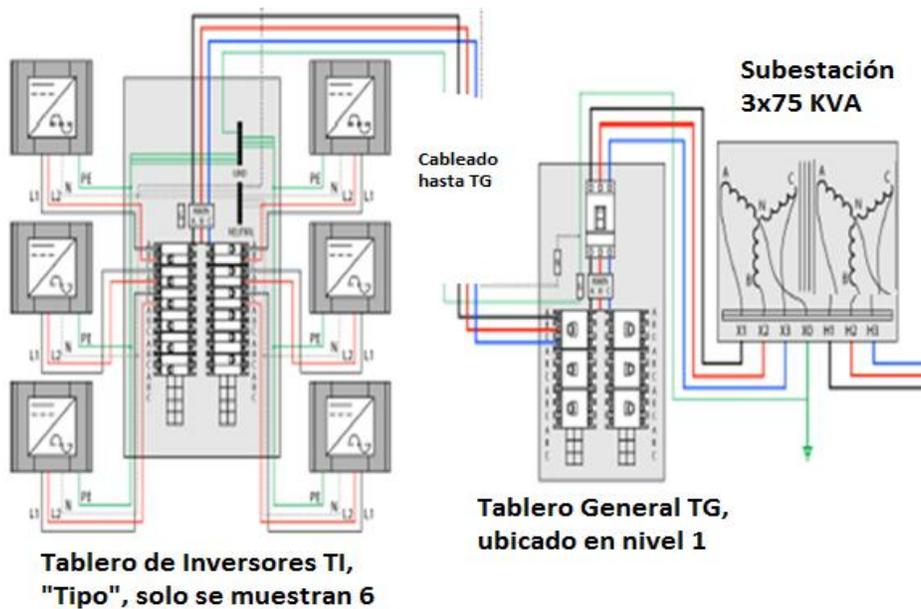


Figura 3.13- Detalle Tipo de conexiones en TI y TG

Edificio de Biblioteca de las Ingenierías



Figura 3.14- Distribución de MFV en el sector oriente del edificio de Biblioteca, pasillos de 0.60 m.

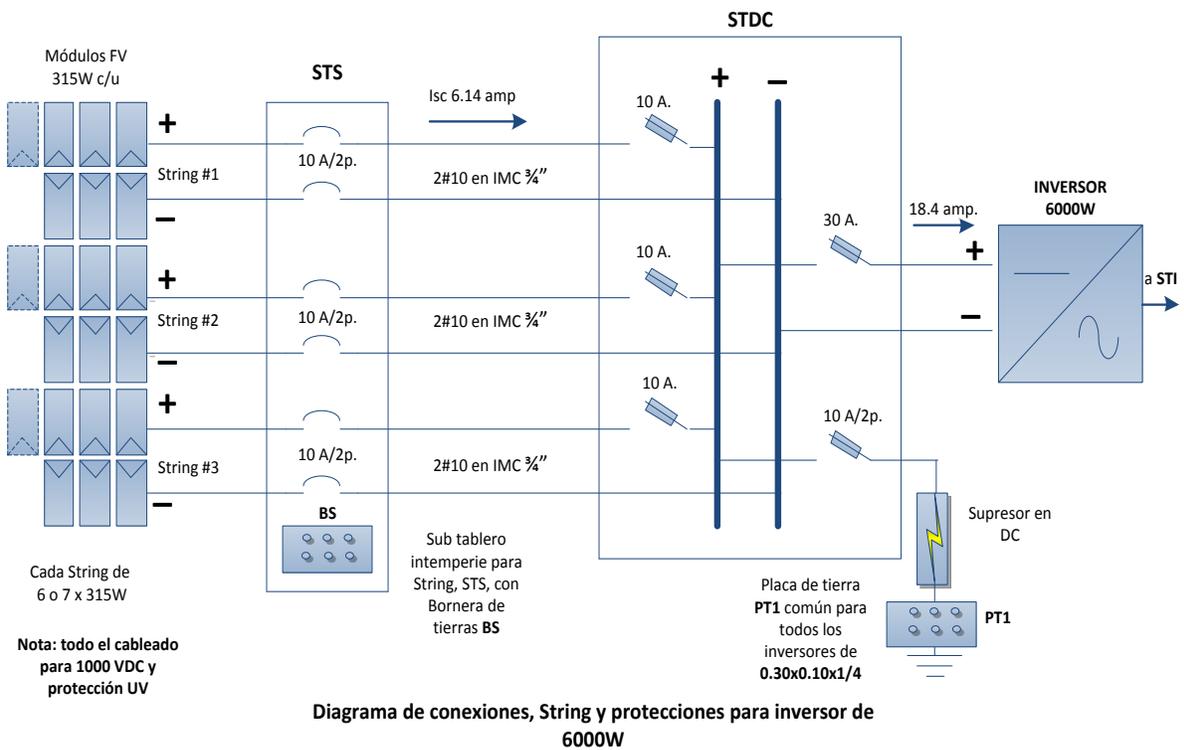


Figura 3.15- Cableado y protecciones Inversor de 6000W

Edificios B, C y D

Se trata de edificios de cuatro niveles con techo de lámina galvanizada distribuido en dos aguas una orientada al sur y la otra al norte. Los edificios B y C son exclusivos para aulas, en D alberga Aulas y oficinas de Arquitectura. Por ser los tres edificios de iguales características se empleará el mismo diseño, sin embargo, debe considerarse que el SFV, no exceda la capacidad del transformador de alimentación de 100 KVA, por esta razón solo se instalarán MFV en los techos orientados al Sur. En cada edificio el área de techos al sur es de 159 m², con pendiente de 7°. Se observa en los costados este y oeste una pared que en su punto más alto tiene una altura de 1.30 metros, factor que se ha considerado en el espaciamiento de los MFV para no proyectar sombra. El tablero de inversores TI, se instalará en el último nivel de cada edificio.

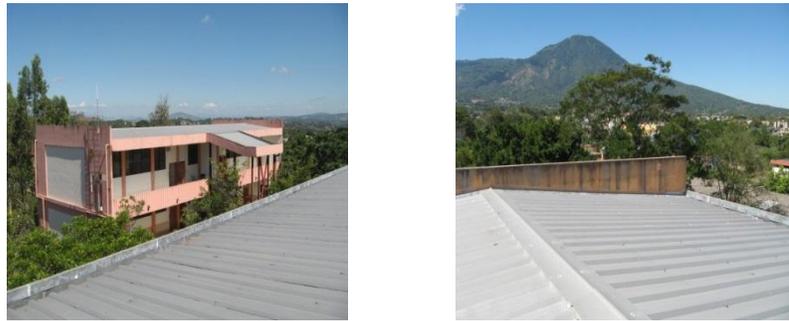


Figura 3.18- Techos de los edificios B, C Y D

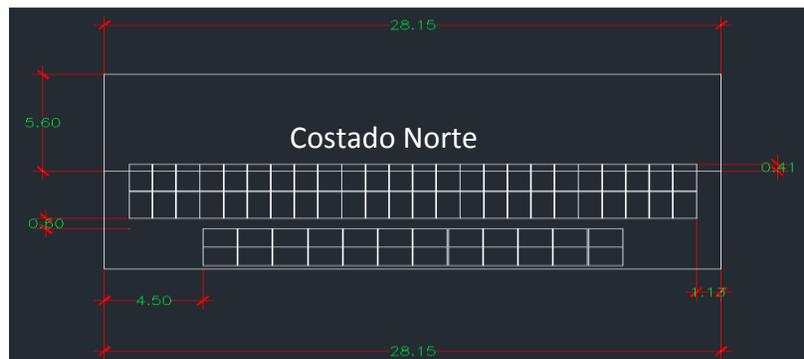


Figura 3.19-Distribución de MFV en el techo orientado al sur de los edificios B, C y D

La figura 3.20, muestra que cada inversor se conectará entre fases en el tablero monofásico TI.

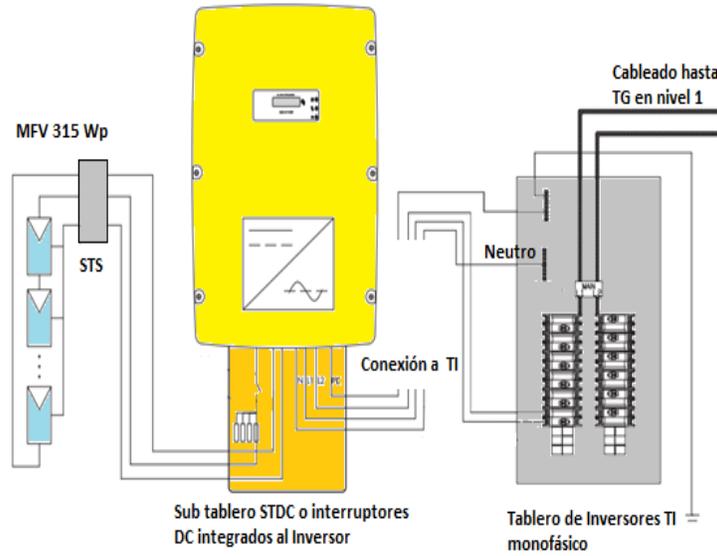


Figura 3.20- Detalle de conexión de inversores a los tableros monofásicos

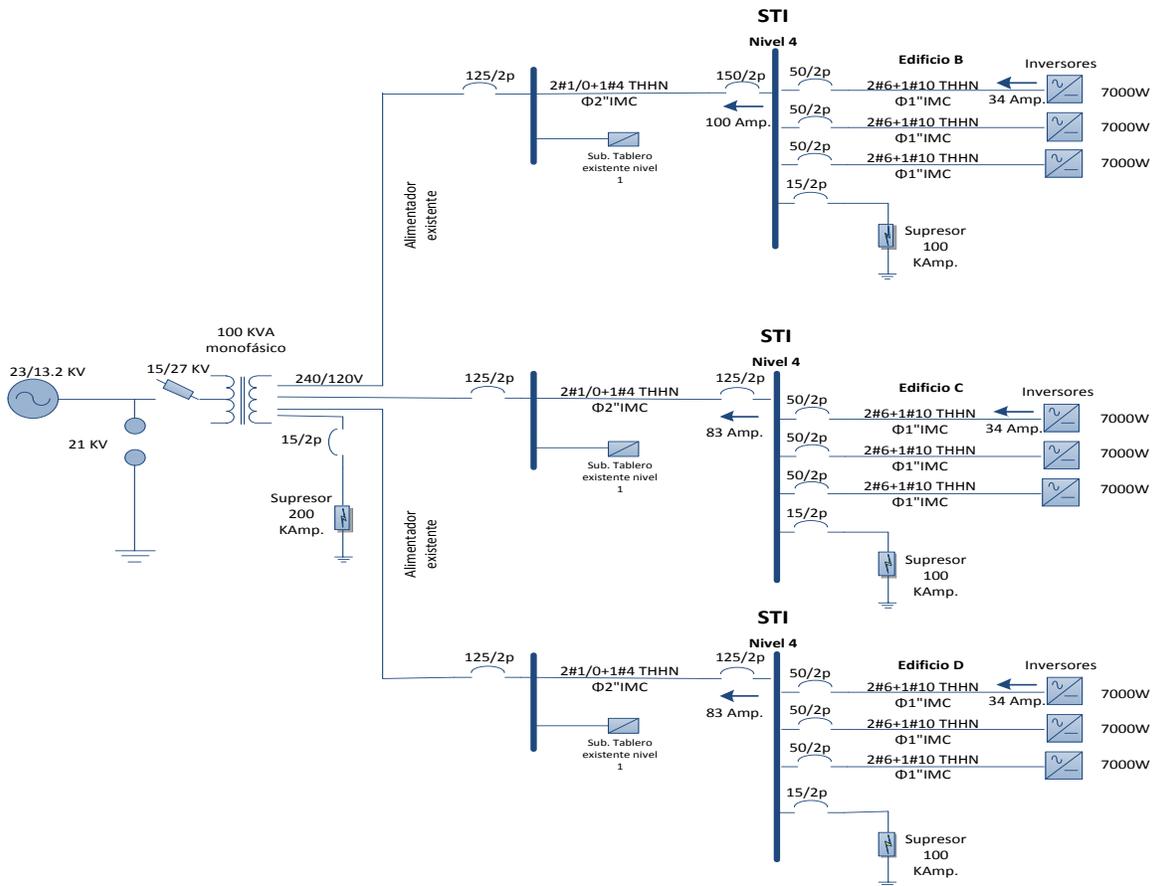


Diagrama Unifilar Edificios B-C-D

Figura 3.21- Diagrama unifilar para los edificios B, C Y D

Edificio de potencia

El uso de este edificio implica la instalación de una malla metálica en el interior del salón que le sirva de jaula de Faraday, para evitar campos electromagnéticos en los MFV al operar un generador de impulsos existente en el edificio.

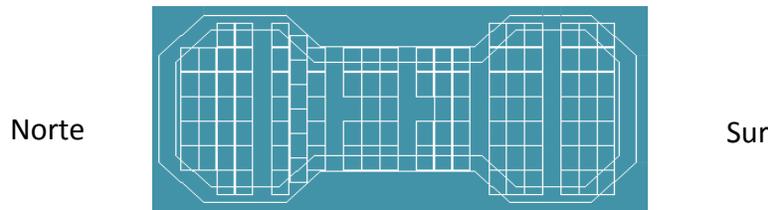


Figura 3.22- Distribución de MFV en edificio de Potencia

La figura 3.22, muestra 6 grupos de MFV con pasillos de 1.10 m., cada uno con 24, 18, 14, 14, 21 y 21 MFV con un inversor de 7 KW, uno de 6 KW, dos de 4 KW y dos de 6 KW respectivamente.

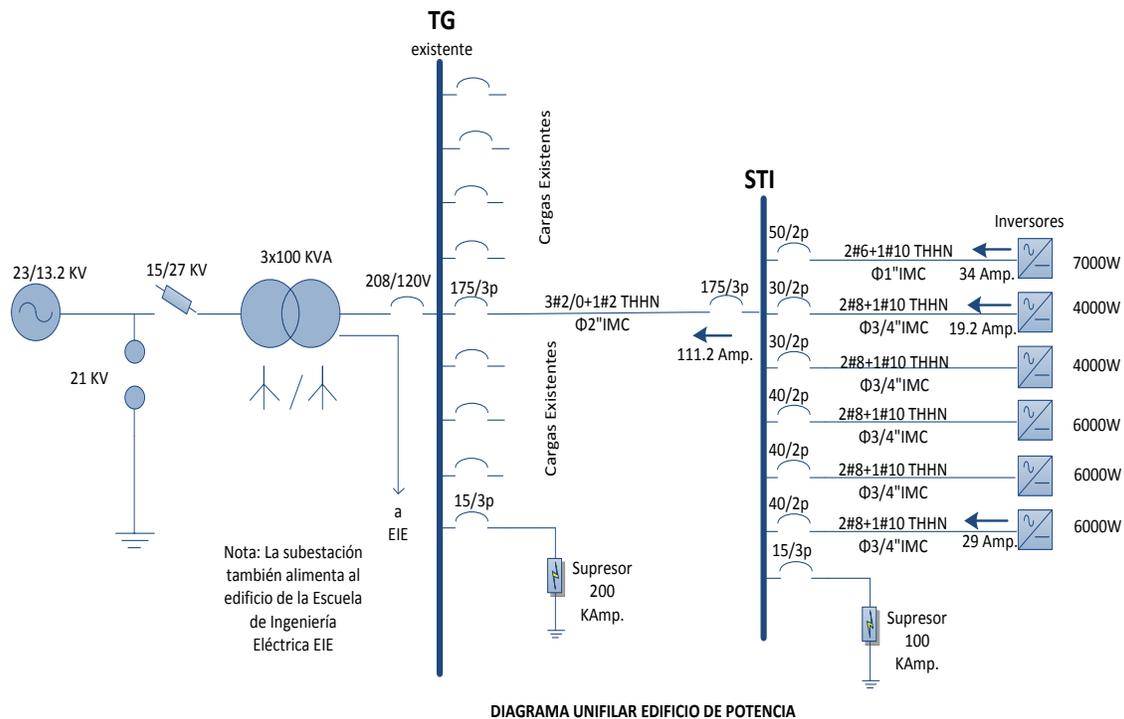


Figura 3.23- Diagrama Unifilar edificio de potencia

La figura 3.24 muestra el diagrama unifilar con todas las modificaciones en la red primaria producidas como consecuencia de la introducción del SFV en la FIA

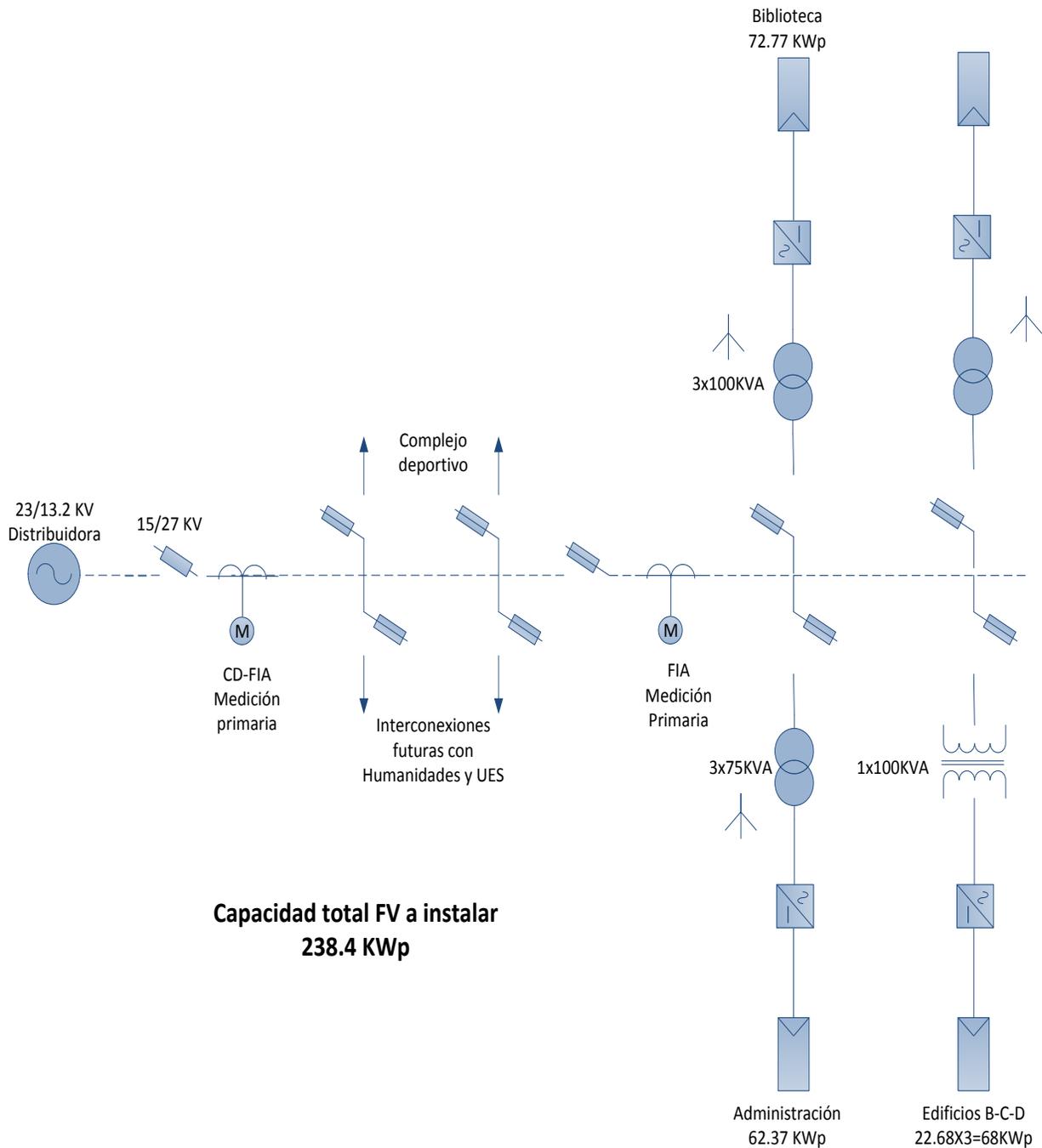


Figura 3.24- Diagrama Unifilar de la distribución de inversores y subestaciones en la red primaria

Resumen general de las instalaciones fotovoltaicas en la FIA

Edificio	MFV	Inversores 7KW	Inversores 6KW	Inversores 4KW	Potencia FV KWp	Área	W/M2	Subestación
						M2		KVA
Administración	198	6	3		62.37	430.5	145	225 208/120V
Biblioteca	231		9	3	72.77	725	100	300 208/120V
Edificio B, sur	72	3		1	22.68	159	143	100 240/120V
Edificio C, sur	72	3		1	22.68	159	143	
Edificio D, sur	72	3		1	22.68	159	143	
Edificio de Potencia	112	1	3	2	35.28	216	163	300 208/120V
Total					238.46	1848	129	

Tabla 3.3- Edificios considerados en el Diseño

En la tabla 3.3, los inversores de 6 y 7 KW tienen 3 String por inversor, el de 4 KW tiene 2 String por inversor. Los de 7 KW, tienen 8 MFV por String, los de 6 KW tienen entre 6 y 7 MFV por String dependiendo del área disponible, los inversores de 4 KW tienen 7 MFV por String.

Sistema de monitoreo

En cada edificación se instalará un sistema de monitoreo y red RS485, en combinación con WEB BOX y routers inalámbricos, con el objeto de efectuar un monitoreo de la correcta operación del sistema, la producción diaria de energía. En el edificio D se instalará adicionalmente un sistema de medición de irradiancia en el plano horizontal e inclinada, así como monitoreo de la temperatura ambiente y temperatura de celda. El control y monitoreo de la producción FV, se instalará en la EIE en donde opera, el Centro de Monitoreo de Energía y Potencia de la UES.

Sistema de tierras

La figura 3.25 muestra el sistema de tierras TIPO a implementarse en cada edificación, todas las tierras deben interconectarse para proveer un sistema equipotencial.

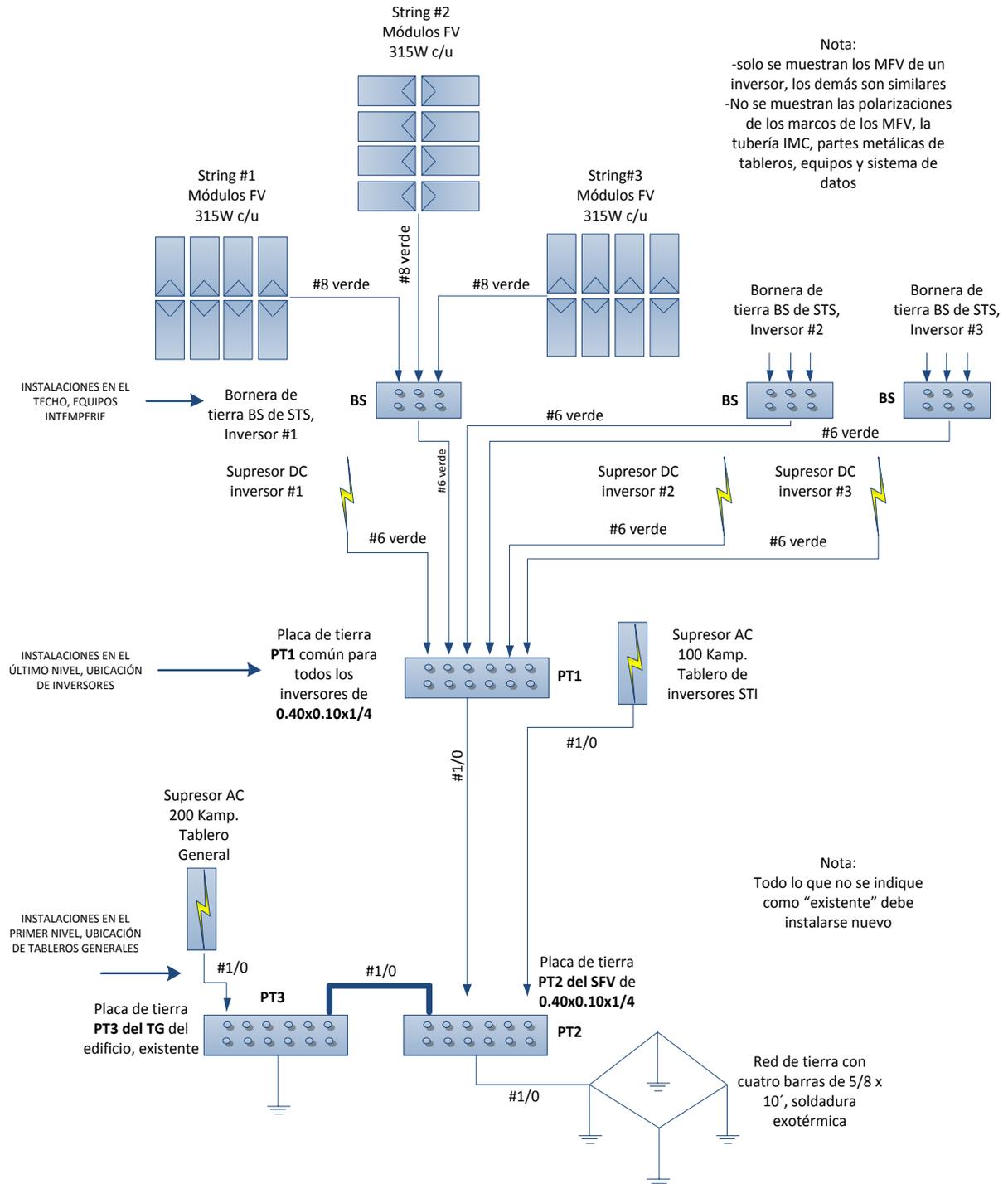


Diagrama de conexiones, TIPO, sistema de tierras placas de tierra y supresores de transientes

Figura 3.25- Esquema tipo del sistema de tierra a instalar para los diferentes edificios.

La importancia del sistema de tierras en un SFV, tiene un especial efecto, sobre todo en los inversores, por la posibilidad de daño ante sobretensiones de origen atmosférico o la ejecución de maniobras de conmutación en el sistema de distribución, muy frecuentes en la UES.

Se ha previsto un sistema equipotencial, una red de tierra independiente de la red de la subestación de cada edificio, pero interconectada con ella y un conjunto de supresores de transitorios, tanto en la parte DC como en AC.

El sistema recolector de los datos de producción diaria, debe también poseer supresores a la entrada de las cajas de conexión a la red (WEB BOX) y en la red 486 de interconexión entre inversores y sensores de irradiancia y temperatura.

Por otro lado, con el objeto de hacer más inmune el sistema a las interferencias de alta y baja frecuencia, las canalizaciones serán metálicas IMC, debidamente aterrizadas.

En el entre cielo del edificio de potencia se instalará, una malla metálica en forma de cuadros de 0.30x0.30 mts, que proveerá un blindaje contra las posibles interferencias producidas por el generador de impulsos existente en un salón del edificio, esta se aterrizará a la red de tierra de los inversores.

4-ENERGÍA GENERADA Y PÉRDIDAS DEL SISTEMA

El estudio pretende desarrollar un proyecto que sea técnica y económicamente factible, de manera que sea atractiva su inversión con un margen aceptable de recuperación de la misma. Es necesario entonces, determinar la capacidad requerida para cubrir la demanda de energía, y sobre esa referencia, estimar el porcentaje que será cubierto con energía limpia. Aunque existen varios métodos para determinar la producción en KWh de un SFV, entre ellos el empleado por el JICA, Agencia Japonesa de Cooperación Internacional, en su informe del Plan Maestro de las Energías Renovables para El Salvador, se emplean en este estudio, los datos reales del índice de productividad “Ya” obtenidos de instalaciones existentes en San Salvador, de acuerdo a la relación:
$$Y_A = \frac{E_{GFV}}{P_{nomG}}$$
 “Ya”, se expresa en KWh/KWp y se calcula con los resultados obtenidos de mediciones efectuadas en San Salvador. Se ha recabado información de tres sitios, ver tabla 4.1, en la cual se representan las cantidades netas de energía medida entregada a la red en un año dividida entre la capacidad en KWp de la instalación FV. Este factor considera todas las pérdidas existentes en el sistema, en el inversor, en la resistencia de los conductores (...), dado que la energía medida KWh, es la neta entregada a la red.

Instalación Fotovoltaica	Valor de Ya = KWh/KWp
Oficinas de CEL	1658.6
Escuela de Ingeniería Eléctrica UES	1426.54
Oficinas de SEESA, San Salvador	1528
Resumen: Promedio anual	1537.71
Resumen: Promedio diario, 365 días	4.21

Tabla 4.1- Índices de productividad Ya, para varios SFV instalados en San Salvador.

Se considera que los datos obtenidos en CEL son muy confiables, sin embargo se trabajará con el valor promedio. Los índices se emplean en otros países para evaluar la producción de un SFV.

País	Valor de Ya (KWh/Kwp)
Inglaterra	639
Alemania	898
Brasil	1,472.00
España	1,481.00
El Salvador	1,537.71

Tabla 4.2- Valores de Ya en diferentes países

Nota: El **Ya** obtenido en la EIE, es el más bajo debido a que el sistema de 2.8 KWp instalado en la EIE, presenta problemas de sombra parcial durante algunos meses del año.

Basados en un promedio diario de 4.21 KWh/KWp, tabla 4.1, valor bastante conservador, se determinó que se requiere una capacidad instalada de $2769.7/4.21 = 657.89$ KWp en MFV, para cubrir el 100% de la demanda.

Si se instalan 238.46 KWp, que corresponde con el diseño, se estaría generando el 36.2% de la energía eléctrica de la facultad, lo que representa una producción anual de $238.46 \times 1537.71 = 366.68$ MWh/año, equivalente a una producción diaria de $238.45 \times 4.21 = 1.0$ MWh/ día. Una producción diaria de 1.0 MWh sobrepasa en algunas horas del día, 8 am a 5 pm el consumo de la facultad, de manera que parte de esta energía se irá hacia el complejo deportivo y parte a la red de la compañía distribuidora, en particular los días sábados y domingos en el que el consumo de la FIA y Complejo Deportivo es menor, por tanto esto implica que la UES podrá cobrar a la distribuidora por la energía limpia generada y entregada a su red. Existe en la legislación la posibilidad de vender ese excedente de energía.

Las tablas 4.3 y 4.4 muestran los valores esperados de energía un día laboral tipo y los días sábado y domingo, dichos valores se obtuvieron de los perfiles de carga en la acometida Complejo deportivo FIA.

Día	Consumo energía KWh	Demanda máxima KW
Lunes	3160	275.88
Martes	3382	380.16
Miércoles	2985	279.84
Jueves	3504	439
Viernes	3724	330.66
Sábado	1516	97.7
Domingo	1117	63.4
Total una semana	19388	
Total promedio diario	2769.7	

Tabla 4.3- Consumo y demanda máxima obtenido de la medición primaria Complejo Deportivo-FIA

Día	Pico KWh	Valle KWh	Resto KWh	Total KWh
Jueves	352.8	467.8	2683	3504
Sábado	359.4	308.2	848.1	1516
Domingo	351.45	303.27	462	1116.7

Tabla 4.4- Valores máximos de demanda y energía medidos en la acometida Complejo deportivo-FIA

La banda que nos interesa es la de resto que comprende de las 5 am a las 6 pm, la cual coincide aproximadamente con el período de generación FV. De las 6 pm a las 11 pm corresponde al horario pico y de las 11 pm a las 5 am del siguiente día corresponde al valle. La energía diaria generada es de 1.0 MWh, por tanto un estimado del excedente a entregar a la red es:

Día laboral: a menos que se trate de casos especiales, toda la generación FV se consumirá en las instalaciones de la Universidad correspondientes a la acometida Complejo Deportivo-FIA.

Día sábado: Se inyectará a la red de la distribuidora aproximadamente 155.9 KWh

Día domingo: Se inyectará a la red de la distribuidora aproximadamente 542 KWh.

Por estar conectada a la acometida Complejo Deportivo-FIA, las instalaciones del Complejo, parte de la energía generada también será consumida por las instalaciones deportivas.

Pérdidas por orientación y producción neta

Los totales de energía anual producida, asumen que todos los techos se encuentran orientados hacia el SUR, sin embargo, en la Biblioteca se tienen techos con orientación este y oeste, por tanto se tienen que corregir los cálculos de energía en esos sitios por presentar pérdidas por orientación, acimut 90°, dicho cálculo se desarrolló de la siguiente forma:

-Se tomaron los días característicos de cada mes: 17 Enero, 14 Febrero, 15 Marzo, Abril y Mayo, 10 Junio, 18 Julio, Agosto y Septiembre, 19 de Octubre, 18 de Noviembre y 13 de Diciembre.

-Se calculó la declinación solar para cada uno de esos días, empleando:

$$\delta = 23.45 * \text{seno } 360 * \frac{284 + n}{365} \quad (4-1)$$

Donde n es el número que le corresponde al día característico en estudio (1 a 365). Los resultados se tabulan para la duración de cada día con valores medios horarios, 6:30 am corresponde a un ángulo de 82.5°; 7:30 am a un ángulo horario de 67.5°... Se determinó el ángulo de incidencia de los rayos solares para cada hora, y cada día característico, empleando:

$$\begin{aligned} \theta = \cos^{-1} & (\text{seno}\delta * \text{seno}\varphi * \text{cos}\beta - \text{seno}\delta * \text{cos}\varphi * \text{seno}\beta * \text{cos}\gamma \\ & + \text{cos}\delta * \text{cos}\varphi * \text{cos}\beta * \text{cos}\omega + \text{cos}\delta * \text{seno}\varphi * \text{seno}\beta * \text{cos}\gamma * \text{cos}\omega \\ & + \text{cos}\delta * \text{seno}\beta * \text{seno}\gamma * \text{seno}\omega) \end{aligned} \quad (4-2)$$

Dónde: δ : la declinación para el día en estudio.

ω : ángulo que representa cada hora del día (negativos para la mañana, positivos para la tarde)

ϕ : la latitud del lugar .

β : ángulo de inclinación de la superficie que se estudia.

γ : ángulo de orientación de la superficie en estudio.

Con estos resultados se aplicó el método de Hottel⁶, en el cual primero se calcula la transmitancia directa y la difusa, esto se consigue por medio de las ecuaciones:

$$\tau_b = a_0 + a_1 * e^{-\frac{k}{\cos\theta}} \quad (4-3)$$

$$\tau_d = 0.2710 - 0.2939 * \tau_b \quad (4-4)$$

Las constantes para τ_b se obtienen de:

$$a_0 = r_o * [0.4237 - 0.00821 * 6 - A^2] \quad (4-5)$$

$$a_1 = r_1 * 0.5055 + .00595 * 6.5 - A^2 \quad (4-6)$$

$$k = r_k * [0.2711 + 0.01858 * 2.5 - A^2] \quad (4-7)$$

Dónde: A: es la altura del observador en Kilómetros. El valor de "r" se obtiene de la tabla 4.5:

	Tropical	Verano	Sub-ártico	Invierno
r_o	0.95	0.97	0.99	1.03
r_1	0.98	0.99	0.99	1.01
r_k	1.02	1.02	1.01	1

Tabla 4.5- Factores de corrección para algunos climas.

- Por último se calcula la irradiancia extraterrestre G_{on} y su constante G_{sc} , la irradiancia directa G_{cb} difusa G_{cd} y global G_c para cada hora de cada día en cuestión, (Tabla 4.6), de acuerdo a :

$$G_{on} \approx G_{sc} * \left[1 + 0.033 * \cos \frac{2\pi}{365} * n \right] \quad (4-8)$$

$$G_{sc} = 1367 \frac{W}{m^2} \quad (4-9)$$

⁶ "solar engineering of thermal processes", John A. Duffie – William A. Beckman, A Wiley- Interscience Publication JONH WILEY & SONS, INC., segunda edición

$$G_{cb} = \tau_b * G_{on} * \cos\theta \quad (4-10)$$

$$G_{cd} = \tau_d * G_{on} * \cos\theta \quad (4-11)$$

$$G_c = G_{cb} + G_{cd} \quad (4-12)$$

Valores de Irradiancia en Watts/m2			
Hora	Gcb	Gcd	Gc
06:30	30.19	32.41	62.6
07:30	205.09	70.15	275.24
08:30	426.83	85.46	512.29
09:30	624.35	93.74	718.09
10:30	770.31	98.5	868.81
11:30	850.06	100.8	950.86
12:30	856.5	100.98	957.48
13:30	789.06	99.06	888.12
14:30	653.71	94.76	748.47
15:30	463.62	87.23	550.85
16:30	243.06	73.65	316.7
17:30	50.2	42.26	92.45

Tabla 4.6- Valores de Irradiancia, directa, difusa y global, calculados para el día 13 de diciembre

El cálculo de pérdidas se efectuó para cada hora de cada día en estudio, en principio, para una inclinación de 15°, orientación 0° y latitud de 13.7°, posteriormente para inclinación 15°, 10° y diferentes orientaciones, tablas 4.7 y 4.8. La orientación 135° genera pérdidas de 10.24%, la orientación de 45° es la que menos pérdidas anuales genera con un 0.46%.

En la tabla 4.8 se observa para inclinación de 10° y orientación 5°, caso general en los edificios de la UES, no se tienen pérdidas de energía. Para orientaciones de ±90° y de 180° se tiene pérdidas de 4.14% y 3.30% respectivamente. Los cálculos se han comparado con los obtenidos del programa CENSOL y se muestran en la tabla 4.9.

Día	Inclinación 15º				
	Orientación				
	5º	45º	90º	135º	180º
17 de Enero	1.75	3.45	21.08	37.91	45.82
14 de Febrero	2.9	4.05	14.19	26.35	41.71
15 de Marzo	2.88	1.56	6.01	12.31	16.07
15 de Abril	2.88	-1.34	-3.49	-4.18	-18.59
15 de Mayo	2.88	-3.96	-12.2	-19.21	-53.68
10 de Junio	2.89	-4.9	-15.49	-24.92	-68.74
18 de Julio	2.89	-4.05	-12.45	-19.75	-54.96
18 de Agosto	2.88	-1.44	-3.98	-4.96	-20.41
18 de Septiembre	2.88	1.52	5.72	12.06	15.54
19 de Octubre	2.89	4.1	14.51	26.52	42.14
18 de Noviembre	2.91	2.39	21.21	38.28	46.37
13 de Diciembre	2.91	4.11	23.69	42.41	51.12
Promedio	2.79	0.46	4.9	10.24	3.53

Tabla 4.7- Porcentajes de pérdidas anuales por Orientación.

Día	Inclinación 10º		
	Orientación		
	5º	±90º	180º
17 de Enero	9.41	22.09	37.14
14 de Febrero	5.38	14.46	33.28
15 de Marzo	0.39	5.36	11.43
15 de Abril	-5.41	-5.19	-17.84
15 de Mayo	-10.81	-14.74	-20.97
10 de Junio	-13.01	-18.27	-59.41
18 de Julio	-11.12	-15.02	-48.46
18 de Agosto	-5.68	-5.69	-19.34
18 de Septiembre	0.39	5.14	10.98
19 de Octubre	5.47	14.57	33.59
18 de Noviembre	9.41	22.18	37.59
13 de Diciembre	11.2	24.76	41.62
Promedio	-0.37	4.14	3.3

Tabla 4.8- Porcentajes de pérdidas anuales para inclinación 10º.

Inclinación 15°			Inclinación 10°	
Orientación	Censol	Método Matemático	Censol	Método Matemático
5°	0	2.79	0	-0.37
45°	1	0.46	1	
90°	4	4.9	3	4.14
135°	7	10.24	5	
180°	8	3.53	6	3.3

Tabla 4.9- Cuadro comparativo entre métodos empleados para evaluar las pérdidas por orientación

Para la carga FV a instalar en la biblioteca con acimut de $\pm 90^\circ$, se estimarán las pérdidas con el 4.14%, dichos techos orientados al Oeste tienen una capacidad FV de 19.845 KWp y el orientado al este 13.23 KWp, los resultados se muestran en la tabla 14.

Biblioteca	KWp Instalados	Generación con Ya = 1537.71 KWh/KWp	Pérdidas por orientación 4.14% en KWh/año
Sector Oeste	19.845	30515.85	1263.36
Sector Este	13.23	20343.9	842.24
	Pérdidas totales anuales, KWh		2105.59

Tabla 4.10- Pérdidas totales anuales en los techos de la Biblioteca

Por tanto si se instalan 238.46 KWp, se espera generar una producción neta anual de:

Producción neta = Producción anual – Pérdidas

Producción anual = $238.46 \times 1537.71 = 366.68$ MWh

Pérdidas anuales = 2.10559 MWh

Producción neta= $366.68 \text{ MWh/año} - 2.10559 \text{ MWh/año} = \mathbf{364.57 \text{ MWh/año}}$

A partir de este resultado, se efectuarán los estudios económicos de factibilidad del proyecto.

5- COSTOS DEL SISTEMA Y EVALUACIÓN ECONÓMICA

Estrategia de Implementación del proyecto

El costo del sistema depende, entre otros, de la estrategia de adquisición de: materiales, equipos, mano de obra y administración. El desglose de costos se desarrolló bajo la modalidad de contratación “Precios Unitarios”, en esta se miden y pagan las cantidades de obra realmente efectuadas. Las partidas separan el material adquirido por importación del obtenido localmente, para que la UES, según su conveniencia, divida el suministro entre dos contratistas.

Desglose de costos

Para cada edificación se ha desarrollado el desglose de costos correspondientes según tabla 1

Edificio Administrativo	62.37 KWp	\$146,438.72
Biblioteca Sector Poniente	33.08	\$79,613.99
Biblioteca Sector Oriente	39.69	\$94,025.12
Edificio B	22.68	\$53,393.86
Edificio C	22.68	\$51,659.86
Edificio D	22.68	\$52,473.86
Edificio de Potencia -EIE	35.28	\$89,934.61
Total KWp FV a instalar	238.46 KWp	
Monto Total sin IVA		\$567,540.02

Tabla 5.1 Resumen de costos de materiales, mano de obra y administración, por edificación

Como referencia, se ha incluido el desglose de costos del edificio administrativo. El presupuesto oficial y especificaciones de construcción, será entregado a la FIA para efectos de licitación.

Edificio Administrativo								
ITEM	Descripción	Cantidad	U	P.U. Mat.	P.U. M.O.	P.U. Adm.	P.U	P. Total
1	Suministro de Equipos Importados							
1.1	Módulos FV 315 Wp	198	U	\$315.00			\$315.00	\$62,370.00
1.2	Inversores de 7000 W, interfase inalámbrica e Interruptor STDC.	6	U	\$3,361.45			\$3,361.45	\$20,168.70
1.3	Inversores de 6000 W, interfase inalámbrica e Interruptor STDC.	3	U	\$3,090.70			\$3,090.70	\$9,272.10
1.4	WEB BOX inalámbrico	1	U	\$625.00			\$625.00	\$625.00
1.5	Caja sensora con medidor de irradiancia, temperatura de celda y temperatura ambiente	1	U	\$480.00			\$480.00	\$480.00
1.6	Gastos de transporte, seguros y administración	1	S.G	\$18,583.16			\$18,583.16	\$18,583.16
2	instalación de equipos Importados							
2.1	Módulos FV 315 Wp	198	U		\$12.00	\$4.32	\$16.32	\$3,231.36
2.2	Inversores de 7000 W, interfase inalámbrica e Interruptor STDC.	6	U		\$175.00	\$63.00	\$238.00	\$1,428.00
2.3	Inversores de 6000 W, interfase inalámbrica e Interruptor STDC.	3	U		\$175.00	\$63.00	\$238.00	\$714.00
2.4	WEB BOX inalámbrico	1	U		\$150.00	\$54.00	\$204.00	\$204.00
2.5	Caja sensora con medidor de irradiancia, temperatura de celda y temperatura ambiente, conexión a Web Box	1	U		\$175.00	\$63.00	\$238.00	\$238.00
3	Sistema DC Suministro e Instalación							
3.1	Estructura de soporte de MFV	198	MFV	\$26.00	\$10.00	\$12.96	\$48.96	\$9,694.08
3.2	Sub tablero STS, intemperie, protecciones y bornera de tierras	9	U	\$81.00	\$30.00	\$39.96	\$150.96	\$1,358.64
3.3	Alimentador desde cada String de MFV a 9 subtableros STS con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4, soportada en riel Strutt	220	Mts.	\$7.00	\$2.00	\$3.24	\$12.24	\$2,692.80
3.4	Alimentador desde los 9 STS a subtablero STDC e Inversor con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4 soportada en riel Strutt y acople a tablero en canaleta plástica de 4"	230	Mts.	\$7.00	\$2.00	\$3.24	\$12.24	\$2,815.20

3.5	Supresor en DC, protección y conexión a STDC y PT1 con cable # 6	9	U	\$190.00	\$15.00	\$73.80	\$278.80	\$2,509.20
4	Sistema AC Suministro e Instalación							
4.1	Alimentador de 6 Inversores de 7KW a STI, con 2#6+1#10 THHN en tubería IMC de 1" y canaleta	20	Mts	\$11.00	\$2.50	\$4.86	\$18.36	\$367.20
4.2	Alimentador de 3 Inversores de 6KW a STI, con 2#8+1#10 THHN en tubería IMC de 3/4" y canaleta plástica	10	Mts	\$7.50	\$2.00	\$3.42	\$12.92	\$129.20
4.3	Sub tablero STI, trifásico, 30 espacios, principal de 225/3p y protecciones, AIC 10 Kamp	1	U	\$440.00	\$150.00	\$212.40	\$802.40	\$802.40
4.4	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, conexión a STI y a PT2 con cable 1/0	1	U	\$700.00	\$15.00	\$257.40	\$972.40	\$972.40
4.5	Alimentador de STI a TG, con 3#4/0+1#2 THHN en tubería IMC de 2", soportada en riel Strutt	14	Mts	\$55.00	\$5.00	\$21.60	\$81.60	\$1,142.40
4.6	Protección de 225/3p, AIC 22 Kamp en TG	1	U	\$160.00	\$15.00	\$63.00	\$238.00	\$238.00
4.7	Supresor en AC, 208/120 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TG y a PT3 con cable de tierra 1/0.	1	U	\$1,115.00	\$15.00	\$406.80	\$1,536.80	\$1,536.80
5	Sistema de Tierras Suministro e Instalación							
5.1	Placa de tierras PT1 montada en aisladores	1	U	\$95.00	\$15.00	\$39.60	\$149.60	\$149.60
5.2	Placa de tierras PT2 montada en aisladores	1	U	\$95.00	\$15.00	\$39.60	\$149.60	\$149.60
5.3	Polarizaciones de MFV con cable 8 (27 String) y conexión a 9 BS	1	S.G.	\$1,890.00	\$324.00	\$797.04	\$3,011.04	\$3,011.04
5.4	Unión de 9 BS a PT1 con cable 6, soportado en riel Strutt	220	Mts	\$2.50	\$0.50	\$1.08	\$4.08	\$897.60
5.5	Unión de PT1 a PT2 y PT3 con cable 1/0, en riel Strutt	14	Mts	\$10.00	\$1.00	\$3.96	\$14.96	\$209.44
5.6	Red de tierra con 4 barras de 5/8x10', interconectadas con cable 1/0 y uniones exotérmicas	1	S.G.	\$250.00	\$80.00	\$118.80	\$448.80	\$448.80
							SUMA	\$146,438.72

Tabla 5.2 Desglose de costos edificio Administrativo

Costos administrativos

Para una empresa Tipo, se detalla la forma de calcular el porcentaje de administración. Los materiales a importar se han separados, su monto más 20% de administración es **\$ 425396.22**.

Resumen	
Monto total Mano de Obra	\$33,516.00
Monto total Materiales	\$71,001.50
Costos Directos: M.O. + Mat	\$104,517.50
Monto total Gastos Administrativos y utilidades	\$37,626.30
% administración sobre materiales y mano de obra	36.00%
Monto Total materiales locales, mano de obra y administración	\$142,143.80
Monto material de Importación, transporte y 20% administración	\$425,396.22
Costo total de la obra	\$567,540.02

Tabla 5.3- Resumen de costos de la obra.

$$\text{Porcentaje de Administración} = \frac{\text{Total administración y Utilidades}}{\text{Costos Directos (Mat+M.O.)}} = 36\%$$

Análisis económico

Como herramientas de evaluación económica se emplearon: la Tasa Interna de Retorno TIR, Valor Actual Neto VAN, relación costo beneficio y tiempo de recuperación de la inversión.

Valor Actual Neto, VAN: Se determina sumando todos los flujos de caja FC futuros del proyecto, actualizados mediante una tasa "t" y descontando la inversión inicial I

$$VAN = -I + \frac{FC1}{(t+1)^1} + \frac{FC2}{(t+1)^2} + \dots + \frac{FCn}{(t+1)^n} \quad (5-1)$$

n: representa el número de años de duración de la inversión y t: representa la tasa de rentabilidad a largo plazo de la empresa o el costo de oportunidad.

Tasa Interna de Retorno (TIR): representa aquella tasa de rendimiento del proyecto a la cual la inversión efectuada no genera pérdidas ni ganancias, es decir aquella que produce un VAN = 0

Relación Beneficio Costo: determina cuáles son los beneficios por cada dólar invertido. El valor de la Relación Beneficio/Costo cambiará según la tasa de actualización seleccionada, esto implica que cuanto más elevada sea dicha tasa, menor será la relación B/C del índice resultante.

$$B/C = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{V_i}{(1+i)^n}}{\sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+i)^n}} \quad (5-2)$$

Dónde: B/C = Relación Beneficio / Costo

Vi = Valor de la producción (beneficio bruto)

Ci = Egresos (i = 0, 2, 3,4...n)

i = Tasa de descuento

Tasa Mínima Aceptable de Retorno: TMAR = Tasa de inflación "f" + Premio al riesgo
La tasa de inflación anual 2012, El Salvador 2.4% (CIA World Factbook). El premio al riesgo se tomará de la mejor tasa de interés para operaciones pasivas, de acuerdo al Banco Agrícola Comercial, siendo esta de 5.84%, de manera que: TMAR = 2.4 % + 5.84 % = 8.24 %

Plazo de recuperación PR: se define como la relación entre la inversión inicial y el flujo de caja FC previsto, considerado constante sobre una base periódica PR = I/FC. Permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los FC de efectivo recuperen la inversión inicial

Consideraciones económicas sobre las instalaciones FV

-La vida útil de la planta FV es de 25 años y sus ingresos están constituidos por el costo de la energía no pagada, más el excedente vendido a la distribuidora al mismo costo.

-Los costos de mantenimiento son limitados 1 o 2% del costo anual de la planta, e incluye los gastos de sustitución del inversor al cabo de 10 a 12 años y una póliza de seguro contra robo y daños ocasionados por condiciones atmosféricas adversas.

- Se considera que la instalación será autofinanciada, de manera que se comparará con el interés derivado de inversiones alternativas con igual riesgo.

Desarrollo

Como parámetro inicial, se necesita conocer la energía anual producida, la cual para una capacidad instalada de 238.6 KWp, es 364.57 MWh/año. También se necesita estimar la **tasa de variación de los costos de la energía** en el país, para lo cual, a partir de una regresión lineal se ha generado la gráfica de tendencia de dichos costos de energía en horario Resto

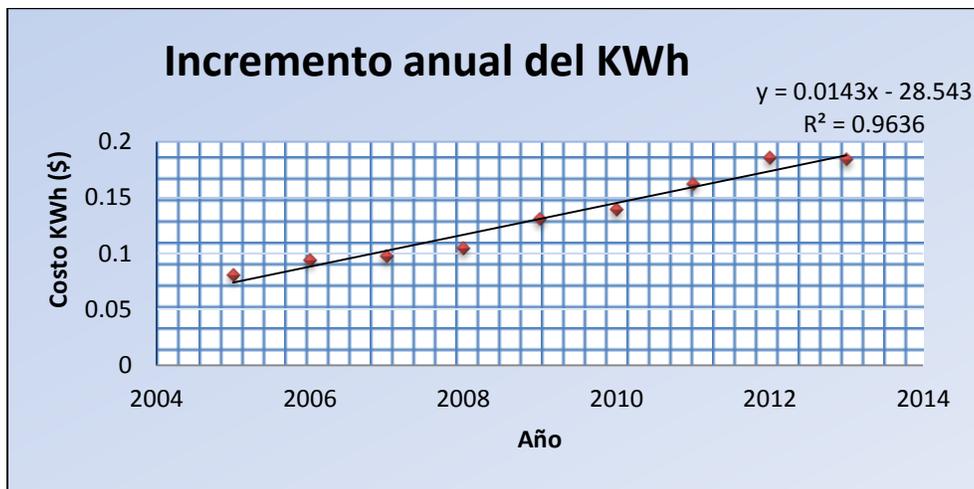


Figura 5.1- Gráfica que muestra el incremento de precios de la energía eléctrica.

$$\Delta \text{Precio} = \$ 0.0143 \frac{\text{KWh}}{\text{año}} + \text{IVA} \quad \Delta \text{Precio} \approx 7.2\%$$

Se requiere considerar en el estudio, el **porcentaje de degradación en la producción** de los MFV, para lo cual se tomará como referencia que los MFV de tecnología cristalina, de acuerdo a los datos de los fabricantes, presentan una degradación del 20% en su producción al final de 25 años, obteniéndose: $\text{Degradacion Anual} = \frac{20\%}{25 \text{ años}} = 0.8\%/\text{año}$

Se hará uso del precio de la energía en horario Resto, 5 am a 6 pm, la UES se clasifica como Gran Demanda, Media Tensión con medidor horario. El pliego tarifario vigente, muestra un costo por

KWh de 0.185479 + IVA= \$0.2096 /KWh y como la producción anual es de 364570 KWh/año, entonces el *Costo Energía generada* = 364570 KWh/año * \$ 0.2096 = **\$76413.87**

Costos Financieros: no se consideran, pues para este análisis se estima que la UES es capaz de correr con los gastos de la compra de todo el equipo necesario para la instalación FV, producto de fondos provenientes del estado o de la cooperación internacional. Otra alternativa es utilizar préstamos para financiar el proyecto, pero esto requiere un convenio con el Ministerio de Economía u otro órgano de estado garante de dicho préstamo, situación poco probable.

Impuestos aduaneros: El Art. 3 literal “a” de la Ley de Incentivos Fiscales para el Fomento de las Energías Renovables en la Generación de Electricidad establece: “Durante los diez primeros años gozarán de exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre inversión y de inversión en construcción de las obras de las centrales para la generación de energía eléctrica”

Resumen Características de la planta en estudio

Potencia pico a instalar KWp	238.46
Producción anual media esperada KWh/ año #1	364570
Descenso en la producción, 0.8%/año, en KWh/año	2916.56
Costo unitario de la Instalación	\$2,380.44
Costo de la Obra	\$567,640.02
IVA 13%	\$73,793.20
Costo total de la instalación incluyendo IVA	\$641,433.22
Tarifa actual \$/KWh en Resto, incluyendo IVA, \$0.185479 más IVA	0.2096
Ahorro en la facturación anual	\$76,413.87
Incremento anual en el costo de la energía	7.2%
Costos de mantenimiento en % del costo de la instalación por año 1%	\$5,676.40
Cobertura económica	100%
Vida útil de la instalación FV, en años	25
Premio al riesgo	5.84%
Tasa de inflación “F”	2.4%
TMAR	8.24%

Tabla 5.4- Resumen de las características del SFV a instalar

La hoja en EXCEL de la tabla 6, muestra un VAN positivo de \$724,707.63, la inversión se recupera en un periodo de 10 años y 6.5 meses. La TIR resultante del 16% es mayor que la tasa de rentabilidad del 8.24% utilizada, y la relación costo-beneficio es de 2.01.

	Incremento precio de la energía 7.2%	Degradación Paneles (%)	Beneficio anual bruto	Inflación 0.024	Flujo neto efectivo	TMAR 0.0824	Suma Beneficios		Tiempo de recuperación	Saldo para recuperar la inversión
Año	0.072	0.008	Ahorro de energía en \$	Costos de Mantenimiento	Utilidad	VAN	Valor presente del beneficio	Valor presente de costos	Utilidad presente acumulada	Saldo
1	\$209.60	364.57	\$76,413.87	\$5,676.40	\$70,737.47	\$65,352.43	\$70,596.70	\$5,244.27	\$65,352.43	-\$576,080.79
2	\$224.69	361.65	\$81,260.35	\$5,812.63	\$75,447.71	\$64,397.72	\$69,359.04	\$4,961.32	\$129,750.15	-\$511,683.07
3	\$240.87	358.76	\$86,414.20	\$5,952.14	\$80,462.06	\$63,449.44	\$68,143.08	\$4,693.64	\$193,199.60	-\$448,233.62
4	\$258.21	355.89	\$91,894.94	\$6,094.99	\$85,799.95	\$62,508.04	\$66,948.44	\$4,440.40	\$255,707.64	-\$385,725.58
5	\$276.80	353.04	\$97,723.28	\$6,241.27	\$91,482.01	\$61,573.92	\$65,774.74	\$4,200.82	\$317,281.56	-\$324,151.66
6	\$296.73	350.22	\$103,921.28	\$6,391.06	\$97,530.22	\$60,647.45	\$64,621.61	\$3,974.17	\$377,929.00	-\$263,504.22
7	\$318.10	347.42	\$110,512.38	\$6,544.44	\$103,967.94	\$59,728.96	\$63,488.70	\$3,759.74	\$437,657.96	-\$203,775.26
8	\$341.00	344.64	\$117,521.52	\$6,701.51	\$110,820.01	\$58,818.77	\$62,375.66	\$3,556.89	\$496,476.73	-\$144,956.49
9	\$365.55	341.88	\$124,975.21	\$6,862.35	\$118,112.86	\$57,917.14	\$61,282.12	\$3,364.98	\$554,393.88	-\$87,039.34
10	\$391.87	339.15	\$132,901.64	\$7,027.04	\$125,874.59	\$57,024.34	\$60,207.76	\$3,183.43	\$611,418.21	-\$30,015.01
11	\$420.09	336.43	\$141,330.79	\$7,195.69	\$134,135.10	\$56,140.57	\$59,152.24	\$3,011.67	\$667,558.78	\$26,125.56
12	\$450.33	333.74	\$150,294.55	\$7,368.39	\$142,926.16	\$55,266.04	\$58,115.21	\$2,849.17	\$722,824.82	10 años 6.5 meses
13	\$482.76	331.07	\$159,826.83	\$7,545.23	\$152,281.60	\$54,400.92	\$57,096.37	\$2,695.45	\$777,225.74	
14	\$517.52	328.42	\$169,963.69	\$7,726.32	\$162,237.38	\$53,545.37	\$56,095.39	\$2,550.02	\$830,771.11	
15	\$554.78	325.79	\$180,743.47	\$7,911.75	\$172,831.72	\$52,699.53	\$55,111.96	\$2,412.44	\$883,470.64	
16	\$594.72	323.19	\$192,206.94	\$8,101.63	\$184,105.31	\$51,863.50	\$54,145.77	\$2,282.27	\$935,334.13	
17	\$637.54	320.60	\$204,397.48	\$8,296.07	\$196,101.41	\$51,037.38	\$53,196.52	\$2,159.14	\$986,371.52	
18	\$683.44	318.04	\$217,361.18	\$8,495.17	\$208,866.01	\$50,221.27	\$52,263.91	\$2,042.64	\$1036,592.78	
19	\$732.65	315.49	\$231,147.10	\$8,699.06	\$222,448.04	\$49,415.22	\$51,347.65	\$1,932.43	\$1086,008.00	
20	\$785.40	312.97	\$245,807.37	\$8,907.84	\$236,899.53	\$48,619.28	\$50,447.45	\$1,828.17	\$1134,627.28	
21	\$841.95	310.47	\$261,397.46	\$9,121.62	\$252,275.83	\$47,833.50	\$49,563.04	\$1,729.53	\$1182,460.78	
22	\$902.57	307.98	\$277,976.33	\$9,340.54	\$268,635.79	\$47,057.91	\$48,694.13	\$1,636.22	\$1229,518.69	
23	\$967.56	305.52	\$295,606.70	\$9,564.72	\$286,041.98	\$46,292.51	\$47,840.45	\$1,547.94	\$1275,811.21	
24	\$1,037.22	303.07	\$314,355.26	\$9,794.27	\$304,560.99	\$45,537.32	\$47,001.74	\$1,464.42	\$1321,348.53	
25	\$1,111.90	300.65	\$334,292.93	\$10,029.33	\$324,263.60	\$44,792.32	\$46,177.73	\$1,385.41	\$1366,140.85	
		Suma	\$4400,246.73	\$191,401.44	\$4208,845.29	\$1366,140.85	\$1439,047.41	\$72,906.56	10 años 6.5 meses	
					Inversión inicial	-\$641,433.22		\$641,433.22		
					VAN	\$724,707.63	Suma costos	\$714,339.78		
						Relación	Beneficio/costo	2.01		

Tabla 5.5- Desglose del VAN, durante 25 años de vida útil del proyecto y los factores tomados en consideración

Año	Inversión y flujos de efectivo	TIR evaluada con Excel
Inversión	(\$641,433.22)	16%
1	\$70,737.47	
2	\$75,447.71	
3	\$80,462.06	
4	\$85,799.95	
5	\$91,482.01	VAN
6	\$97,530.22	\$724,707.63
7	\$103,967.94	
8	\$110,820.01	
9	\$118,112.86	
10	\$125,874.59	
11	\$134,135.10	Inversión
12	\$142,926.16	\$641,433.22
13	\$152,281.60	
14	\$162,237.38	
15	\$172,831.72	
16	\$184,105.31	
17	\$196,101.41	Relación Beneficio-Costo
18	\$208,866.01	
19	\$222,448.04	2.01
20	\$236,899.53	
21	\$252,275.83	
22	\$268,635.79	
23	\$286,041.98	
24	\$304,560.99	
25	\$324,263.60	

Tabla 5.6- Cuadro resumen de los indicadores económicos

Todos los indicadores económicos muestran que el proyecto es económicamente factible.

6-RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La Matriz energética de El Salvador, muestra una marcada dependencia de los combustibles fósiles, situación que incide directamente en los costos del KWh generado. Los valores de irradiación solar, promedio diaria anual, en San Salvador, se encuentran por encima de los 5 KWh/m², lo que hace a esta región del país potencialmente aprovechable en cuanto al recurso solar y a las posibilidades de producción de energía FV, por lo que esta forma de energía limpia, se presenta como parte de la solución al problema de dependencia energética del país.
- En los sistemas fotovoltaicos con inyección a la red, SFVIR, la energía eléctrica producida por el SFVIR y que no se consume en la instalación, se entrega a la red eléctrica, esta situación puede darse en la UES, en especial los fines de semana en que la demanda es mínima.
- Dentro de la FIA, las edificaciones que presentan mejores condiciones para el aprovechamiento del recurso solar son: Edificio de la Biblioteca, Edificio de Administración, Edificios de Aulas B, C y D, y Edificio de Potencia. Las subestaciones que alimentan esas edificaciones, presentan un porcentaje de carga sumamente bajo, 11.9%, 31.8%, 17.7% Y 9.3%, respectivamente.
- A partir de la información obtenida de las diferentes fuentes investigadas, sobre los valores de irradiación KWh/m², existentes en San salvador, se ha elaborado la siguiente tabla comparativa.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
S-27	5.1	5.6	6.2	5.9	5.2	5.3	5.9	5.6	4.9	4.8	5	4.8	5.4
S-25	4.9	5.4	5.7	5.4	4.9	5.1	5.5	5.2	4.6	4.8	4.8	4.8	5.1
NASA	5.8	6.4	6.7	6.6	5.9	5.7	6.2	6.2	5.4	5.5	5.6	5.5	6.0
NASA 15°	6.6	6.9	6.9	6.4	5.8	5.7	6.2	5.9	5.3	5.7	6.2	6.3	6.2
CEL	5.9	5.6	6.6	5.6	5.2	5.1	6.2	6.7	5.8	5.7	5.3	5.3	5.8
CEL 15°	6.8	6.1	6.8	5.5	5	4.8	5.8	6.5	5.8	6.1	5.9	6.2	5.9

La cual muestra que las mediciones obtenidas en CEL, son representativas del recurso solar existente en la Ciudad Universitaria, distante aproximadamente un Km del sitio CEL, por tanto dichos valores, incluyendo el índice de productividad **Ya= 1657 KWh/KWp** obtenido de mediciones efectuadas durante un año, representan una buena referencia para la evaluación del recurso solar del sistema fotovoltaico SFV de la FIA. Sin embargo, de forma conservadora, se empleará para las estimaciones de energía generada un valor promedio de 1537.71 KWh/KWp.

- De acuerdo a lo establecido por SIGET, la UES, con el SFV a instalar, se clasifica como un **Usuario Auto productor Renovable APR**, debido a que se trata de un usuario final que produce energía para su propio consumo a partir de unidades de generación con una fuente renovable no convencional ubicada en sus instalaciones y que eventualmente inyecta excedentes a la red de distribución, percibiendo una remuneración por cada kilovatio-hora de inyección neta.
- La capacidad en MFV que pueden instalarse en los diferentes edificios de la facultad es de 475.48 KWp, en esta fase se instalará 238.46 KWp distribuidos de acuerdo a la siguiente tabla:

Edificio	MFV	Inversores	Inversores	Inversores	Potencia FV KWp	Área	W/M2
		7KW	6KW	4KW		M2	
Administración	198	6	3		62.37	430.5	145
Biblioteca	231		9	3	72.77	725	100
Edificio B, sur	72	3		1	22.68	159	143
Edificio C, sur	72	3		1	22.68	159	143
Edificio D, sur	72	3		1	22.68	159	143
Edificio de Potencia	112	1	3	2	35.28	216	163
Total					238.46	1848	129

- La instalación de 238.46 KWp, generará el 36.2% de la demanda de energía eléctrica de la facultad, lo que representa una producción anual de $238.46 \times 1537.71 = 366.68$ MWh/año, equivalente a una producción diaria de $238.45 \times 4.21 = 1.004$ MWh/ día
- La producción diaria de 1MWh, sobrepasa en algunas horas del día, 8 am a 5 pm el consumo de la FIA, de manera que parte de esta energía se irá hacia el complejo deportivo y parte a la red de la compañía distribuidora, en particular los días sábados y domingos en el que el consumo de la FIA y Complejo Deportivo es menor, por tanto, esto implica que la Universidad podrá cobrar a la distribuidora a precio preferencial por la energía limpia generada y entregada a su red.
- El excedente de energía a entregar a la red de distribución es:
Día laboral: a menos que se trate de casos especiales, toda la generación FV se consumirá en las instalaciones de la Universidad correspondientes a la acometida Complejo Deportivo-FIA.

Día sábado: Se inyectará a la red de la distribuidora aproximadamente 155.9 KWh

Día domingo: Se inyectará a la red de la distribuidora aproximadamente 542 KWh.

- De acuerdo a la capacidad FV a instalar en la biblioteca, en los techos con acimut de +- 90°, se generarán pérdidas por orientación, cuyo porcentaje es del 4.14% anual, siendo las pérdidas totales por orientación de 2105.59 KWh/año.

Biblioteca	KWp Instalados	Generación con Ya = 1537.71 KWh/KWp	Pérdidas por orientación 4.14% en KWh/año
Sector Oeste	19.845	30515.85	1263.36
Sector Este	13.23	20343.9	842.24
	Pérdidas totales anuales, en KWh		2105.59

Considerando las pérdidas por orientación, al instalarse 238.46 KWp, se espera una producción neta= Producción anual – Pérdidas = 366.68 MWh/año – 2.10559MWh/año = **364.57 MWh/ año**

- La vida útil de la planta FV es de 25 años y sus ingresos están constituidos por el costo de la energía no pagada, más el excedente vendido a la distribuidora. Se considera que todo el ingreso se obtiene en concepto de energía no pagada pues la legislación aprobada para la venta de energía a la red, todavía no tiene definido el precio por KWh generado.
- Los costos de mantenimiento son limitados, ya que no existen partes móviles. Se estima que estos costos tienen un valor entre 1 % al 2% del costo anual de la planta e incluye los gastos de sustitución del inversor al cabo de 10 a 12 años y una póliza de seguro contra robo y daños ocasionados por condiciones atmosféricas adversas.
- Se considera que la instalación será autofinanciada, de manera que se comparará con el interés derivado de inversiones alternativas con igual riesgo.
- La variación del costo del KWh por año, refleja que el incremento anual es del 7.2%.
- El pliego tarifario vigente, muestra, en el horario resto, un costo por KWh de 0.185479 + IVA= \$0.2096 /KWh y como la producción anual esperada es de 364570 KWh/año, entonces el ahorro obtenido por la energía generada por año es de **\$76413.87**

- El análisis económico, muestra un VAN positivo de \$724,707.63, la inversión se recupera en 10 años y 6.5 meses, dejando 14 años con 5.5 meses mínimos adicionales de ingresos.
- La TIR resultante del 16%, es mayor que la tasa de rentabilidad del 8.24% utilizada, y la relación costo-beneficio es de 2.01, por tanto todos los indicadores económicos muestran que el proyecto es económicamente factible.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El uso de aplicaciones FV conectadas a la red en la FIA y en general en la Ciudad Universitaria es factible y representa una alternativa que puede implementarse en toda la UES. El sistema a instalarse en la FIA, será representativo de los beneficios que esta tecnología ofrece al disminuir la facturación en concepto de energía eléctrica.

La implementación del sistema FV en la FIA, será una muestra real de que la UES es consecuente con su política energética y de su preocupación por la mejora del medio ambiente al generar energía limpia, siendo entonces ejemplo para las demás instituciones del estado.

El sistema de monitoreo de variables físicas como temperatura e irradiancia, y los resultados de producción mensual y anual que se obtengan y que son consecuencia de la implementación de este SFV, permitirán desarrollar, adicionalmente, investigaciones sobre el tema y que la UES provea valiosa información al gobierno, empresarios, investigadores, inversionistas y personas interesadas sobre los índices de producción que se obtienen de estos sistemas de generación y sobre el comportamiento ante variaciones de temperatura.

La tendencia mundial es que los costos de estos sistemas disminuyan todavía más, por lo que cada vez las variables económicas empleadas para su evaluación serán más optimistas, generando mayores inversiones en este tipo de generación, lo que paulatinamente nos permitirá modificar la matriz energética al ir desplazando la energía térmica.

Las pérdidas por orientación que se presentan al instalar MFV en techos que no están directamente hacia el sur, pueden minimizarse si las inclinaciones de los MFV son pequeñas y cercanas a los 5°. Inclinaciones a 0° cero grados no son adecuadas pues generan enpozamiento del agua en la cubierta de los MFV y no se facilita la limpieza de los mismos en forma natural.

Recomendaciones

- El inversor de BACK-UP, que emplea baterías y SFV conectados a la Red, es una configuración ideal para operar entre el funcionamiento de red pública y el de la red, en la UES puede emplearse como alternativa, en aplicaciones específicas como cuartos de servidores, en lugar de comprar plantas de emergencia, por lo que se recomienda efectuar los estudios FV correspondientes antes de la compra de generadores DIESEL.
- Deberán establecerse nuevas condiciones en el contrato de suministro de energía con la distribuidora, en particular lo referente al pago por la energía entregada a la red. A la fecha SIGET, no ha terminado de elaborar la normativa y el procedimiento a seguir para un auto productor renovable APR.
- Como estrategia para disminuir los costos de la inversión, se considera conveniente generar una sola licitación, pero, separando lo que se refiere específicamente a suministro de equipos de importación, con lo relacionado a la instalación de equipos importados y al suministro e instalación de los materiales complementarios.

Referencias Bibliográficas

¹SIGET, “Boletín de Estadísticas Eléctricas N° 12”, 2010

²JICA-CNE, “Plan maestro para el desarrollo de las energías renovables en El Salvador” Marzo 2012

³The German Energy Society, “Planning and Installing Photovoltaic Systems”, Second Edition, Earthscan, London, Sterling, VA 2008

⁴SWERA, MAGMA UCA, “Determinación del potencial Solar y Eólico en El Salvador” Octubre 2005

⁵Presidencia de la república, Decreto Ejecutivo N° 80 y N° 81, 23 de abril 2012,

⁶“Solar engineering of thermal processes”, John A. Duffie – William A. Beckman, A Wiley-Interscience Publication JOHN WILEY & SONS, INC., segunda edición.

ANEXO- PLAN DE OFERTA

Plan de oferta y estructuras de montaje

Aclaración a las especificaciones y al proyecto:

Se considera indispensable que los diferentes oferentes, efectúen las visitas que estimen necesarias a las instalaciones del Campus de la FIA, con el objeto de verificar y aclarar en el sitio todas las posibles dudas que pudieran existir referentes a la instalación, canalizaciones...

El formato de presentación de ofertas esta elaborado en forma de partidas, el oferente debe considerar todos los materiales y accesorios necesarios para dejar el trabajo terminado y operando a satisfacción, independientemente de si están indicados o no en la correspondiente partida. Si el oferente estima que hay algún rubro que a su entender no se encuentra incluido en las diferentes partidas debe detallarlo a parte, de lo contrario se entiende que todas las partidas contienen el trabajo a efectuar.

No se aceptarán órdenes de cambio por el concepto anteriormente mencionado o por supuestas dificultades en la instalación o suministro de equipos.

La UES, se reserva el derecho de adjudicar el proyecto a uno o a dos oferentes separando el suministro de los equipos a importar (ítem 1), de los Ítems que se refieren a la instalación con suministros locales, situación que deberá ser considerada por los licitantes.

Formato de presentación de ofertas

Los oferentes deben presentar sus propuestas siguiendo el formato detallado a continuación, cualquier rubro adicional que el oferente estime no se encuentra contemplado para terminar completamente el proyecto, debe especificarlo en un cuadro aparte, de lo contrario se considera que todo el trabajo necesario, se encuentra incluido en el plan de oferta.

Edificio Administrativo						
ITEM	Descripción	Cantidad	U	P.U	P. Total	Partida
1	Suministro de Equipos Importados					
1.1	Módulos FV 315 Wp	198	U			
1.2	Inversores de 7000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	6	U			
1.3	Inversores de 6000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
1.4	WEB BOX inalámbrico	1	U			

1.5	Caja sensora con medidor de irradiancia, temperatura de celda y temperatura ambiente	1	U			
1.6	Gastos de transporte, seguros y administración	1	S.G			
	Suma Partida 1					
2	instalación de equipos Importados					
2.1	Módulos FV 315 Wp	198	U			
2.2	Inversores de 7000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	6	U			
2.3	Inversores de 6000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
2.4	WEB BOX inalámbrico	1	U			
2.5	Caja sensora con medidor de irradiancia, temperatura de celda y temperatura ambiente, conexión a Web Box	1	U			
	Suma Partida 2					
3	Sistema DC Suministro e Instalación					
3.1	Estructura de soporte de MFV	198	MFV			
3.2	Sub tablero STS, intemperie, protecciones y bornera de tierras	9	U			
3.3	Alimentador desde cada String de MFV a 9 subtableros STS con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4, soportada en riel Strutt	220	Mts.			
3.4	Alimentador desde los 9 STS a subtablero STDC e Inversor con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4 soportada en riel Strutt y acople a tablero en canaleta plástica de 4"	230	Mts.			
3.5	Supresor en DC, protección y conexión a STDC y PT1 con cable # 6	9	U			
	Suma Partida 3					
4	Sistema AC Suministro e Instalación					
4.1	Alimentador de 6 Inversores de 7KW a STI, con 2#6+1#10 THHN en tubería IMC de 1" y canaleta plástica	20	Mts			
4.2	Alimentador de 3 Inversores de 6KW a STI, con 2#8+1#10 THHN en tubería IMC de 3/4" y canaleta plástica	10	Mts			
4.3	Sub tablero STI, trifásico, 30 espacios, principal de 225/3p y protecciones, AIC 10 Kamp	1	U			

4.4	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, conexión a STI y a PT2 con cable 1/0	1	U			
4.5	Alimentador de STI a TG, con 3#4/0+1#2 THHN en tubería IMC de 2", soportada en riel Strutt	14	Mts			
4.6	Protección de 225/3p, AIC 22 Kamp en TG	1	U			
4.7	Supresor en AC, 208/120 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TG y a PT3 con cable de tierra 1/0.	1	U			
	Suma partida 4					
5	Sistema de Tierras Suministro e Instalación					
5.1	Placa de tierras PT1 montada en aisladores	1	U			
5.2	Placa de tierras PT2 montada en aisladores	1	U			
5.3	Polarizaciones de MFV con cable 8 (27 String) y conexión a 9 BS	1	S.G.			
5.4	Unión de 9 BS a PT1 con cable 6, soportado en riel Strutt	220	Mts			
5.5	Unión de PT1 a PT2 y PT3 con cable 1/0, soportado en riel Strutt	14	Mts			
5.6	Red de tierra con 4 barras de 5/8x10', interconectadas con cable 1/0 y uniones exotérmicas	1	S.G.			
	Suma Partida 5					
	Total Edificio Administrativo					
Edificio Biblioteca						
Sector Poniente						
ITE M	Descripción	Cantida d	Unidad			
1	Suministro de Equipos Importados					
1.1	Módulos FV 315 Wp	105	U			
1.2	Inversores de 6000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
1.3	Inversores de 4000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
1.4	WEB BOX inalámbrico	1	U			
1.5	Gastos de transporte, seguros y administración	1	S.G.			
	Suma partida 1					
2	instalación de equipos Importados					

2.1	Módulos FV 315 Wp	105	U			
2.2	Inversores de 6000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
2.3	Inversores de 4000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
2.4	WEB BOX inalámbrico	1	U			
	Suma partida 2					
3	Sistema DC Suministro e Instalación					
3.1	Estructura de soporte de MFV techos costado Este	42	MFV			
3.2	Estructura de soporte de MFV techos costado Oeste	63	MFV			
3.3	Sub tablero STS, intemperie, protecciones y bornera de tierras	6	U			
3.4	Alimentador desde cada String de MFV a 6 subtableros STS con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4, soportada en riel Strutt	103	Mts.			
3.5	Alimentador desde los 6 STS a subtablero STDC e Inversor con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4 soportada en riel Strutt y acople a tablero en canaleta plástica de 4"	116	Mts.			
3.6	Supresor en DC, protección y conexión a STDC y PT1 con cable # 6	6	U			
	Suma partida 3					
4	Sistema AC Suministro e Instalación					
4.1	Alimentador de 3 Inversores de 6 KW a STI, con 2#8+1#10 THHN en tubería IMC de 3/4" y canaleta plástica	10	Mts			
4.2	Alimentador de 3 Inversores de 4 KW a STI, con 2#8+1#10 THHN en tubería IMC de 3/4" y canaleta plástica	10	Mts			
4.3	Sub tablero STI, trifásico, 24 espacios, principal de 225/3p y protecciones, AIC 10 Kamp	1	U			
4.4	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, conexión a STI y a PT2 con cable 1/0	1	U			
4.5	Alimentador de STI a TG, con 3#1/0+1#4 THHN en tubería IMC de 2", soportada en riel Strutt	30	Mts			
4.6	Protección de 125/3p, AIC 22 Kamp en TG	1	U			

4.7	Supresor en AC, 208/120 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TG y a PT3 con cable de tierra 1/0.	1	U			
	Suma partida 4					
5	Sistema de Tierras Suministro e Instalación					
5.1	Placa de tierras PT1 montada en aisladores	1	U			
5.2	Placa de tierras PT2 montada en aisladores	1	U			
5.3	Polarizaciones de MFV con cable 8 (15 String) y conexión a 9 BS	1	S.G.			
5.4	Unión de 6 BS a PT1 con cable 6, soportado en riel Strutt	116	Mts			
5.5	Unión de PT1 a PT2 y PT3 con cable 1/0, soportado en riel Strutt	30	Mts			
5.6	Red de tierra con 4 barras de 5/8x10', interconectadas con cable 1/0 y uniones exotérmicas	1	S.G.			
	Suma partida 5					
	Total Edificio Biblioteca sector poniente					
Sector Oriente						
ITEM	Descripción	Cantidad	Unidad			
1	Suministro de Equipos Importados					
1.1	Módulos FV 315 Wp	126	U			
1.2	Inversores de 6000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	6	U			
1.3	Gastos de transporte, seguros y administración	1	S.G.			
	Suma partida 1					
2	instalación de equipos Importados					
2.1	Módulos FV 315 Wp	126	U			
2.2	Inversores de 6000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	6	U			
	Suma partida 2					
3	Sistema DC Suministro e Instalación					
3.1	Estructura de soporte de MFV techos costado norte	63	MFV			
3.2	Estructura de soporte de MFV techos costado sur	63	MFV			

3.3	Sub tablero STS, intemperie, protecciones y bornera de tierras	6	U			
3.4	Alimentador desde cada String de MFV a 6 subtableros STS con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4, soportada en riel Strutt	138	Mts.			
3.5	Alimentador desde los 6 STS a subtablero STDC e Inversor con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4 soportada en riel Strutt y acople a tablero en canaleta plástica de 4"	88	Mts.			
3.6	Supresor en DC, protección y conexión a STDC y PT1 con cable # 6	6	U			
	Suma partida 3					
4	Sistema AC Suministro e Instalación					
4.1	Alimentador de 3 Inversores de 6 KW a STI, con 2#8+1#10 THHN en tubería IMC de 3/4" y canaleta plástica	20	Mts			
4.2	Sub tablero STI, trifásico, 24 espacios, principal de 150/3p y protecciones, AIC 10 Kamp	1	U			
4.3	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, conexión a STI y a PT2 con cable 1/0	1	U			
4.4	Alimentador de STI a TG, con 3#1/0+1#4 THHN en tubería IMC de 2", soportada en riel Strutt	60	Mts			
4.5	Protección de 150/3p, AIC 22 Kamp en TG	1	U			
	Suma partida 4					
5	Sistema de Tierras Suministro e Instalación					
5.1	Placa de tierras PT1 montada en aisladores	1	U			
5.2	Polarizaciones de MFV con cable 8 (15 String) y conexión a 9 BS	1	S.G.			
5.3	Unión de 6 BS a PT1 con cable 6, soportado en riel Strutt	88	Mts			
5.4	Unión de PT1 a PT2 con cable 1/0, soportado en riel Strutt	60	Mts			
	Suma partida 5					
	Total Edificio Biblioteca sector oriente					
	Total edificio biblioteca oriente y poniente					
Edificio B						
Techos Sector SUR						
ITEM	Descripción	Cantidad	Unidad			
1	Suministro de Equipos Importados					

1.1	Módulos FV 315 Wp	72	U			
1.2	Inversores de 7000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
1.4	WEB BOX inalámbrico	1	U			
1.5	Gastos de transporte, seguros y administración	1	S.G			
	Suma partida 1					
2	instalación de equipos Importados					
2.1	Módulos FV 315 Wp	72	U			
2.2	Inversores de 7000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
2.4	WEB BOX inalámbrico	1	U			
	Suma partida 2					
3	Sistema DC Suministro e Instalación					
3.1	Estructura de soporte de MFV	72	MFV			
3.2	Sub tablero STS, intemperie, protecciones y bornera de tierras	3	U			
3.3	Alimentador desde cada String de MFV a 3 subtableros STS con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4, soportada en riel Strutt	93	Mts.			
3.4	Alimentador desde los 3 STS a subtablero STDC e Inversor con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4 soportada en riel Strutt y acople a tablero en canaleta plástica de 4"	56	Mts.			
3.5	Supresor en DC, protección y conexión a STDC y PT1 con cable # 6	3	U			
	Suma partida 3					
4	Sistema AC Suministro e Instalación					
4.1	Alimentador de 3 Inversores de 7KW a STI, con 2#6+1#10 THHN en tubería IMC de 1" y canaleta plástica	10	Mts			
4.3	Sub tablero STI, monofásic, 16 espacios, principal de 150/2p y protecciones, AIC 10 Kamp	1	U			
4.4	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. monofásico, conexión a STI y a PT2 con cable 1/0	1	U			
4.5	Alimentador de STI a TG, con 2# 1/0+1#4 THHN en tubería IMC de 2", soportada en riel Strutt	20	Mts			

4.6	Protección de 150/2p, Industrial en caja Nema 1, adyacente a TG	1	U			
4.7	Supresor en AC, 240/120 voltios, 200 Kamp. en poste de transformador, con protección 15/2P, 18 Kamp, en caja Nema 3R con cable de tierra 1/0.	1	U			
	Suma partida 4					
5	Sistema de Tierras Suministro e Instalación					
5.1	Placa de tierras PT1 montada en aisladores 10"x3"x1/4"	1	U			
5.2	Placa de tierras PT2 montada en aisladores 10"x3"x1/4"	1	U			
5.3	Polarizaciones de MFV con cable 8 (9 String) y conexión a 3 BS	1	S.G.			
5.4	Unión de 3 BS a PT1 con cable 6, soportado en riel Strutt	56	Mts			
5.5	Unión de PT1 a PT2 y PT3 con cable 1/0, soportado en riel Strutt	20	Mts			
5.6	Red de tierra con 4 barras de 5/8x10', interconectadas con cable 1/0 y uniones exotérmicas	1	S.G.			
	Suma partida 5					
	Total Edificio B					
Edificio C						
Techos Sector SUR						
ITEM	Descripción	Cantidad	Unidad			
1	Suministro de Equipos Importados					
1.1	Módulos FV 315 Wp	72	U			
1.2	Inversores de 7000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
1.4	WEB BOX inalámbrico	1	U			
1.5	Gastos de transporte, seguros y administración	1	S.G.			
	Suma partida 1					
2	instalación de equipos Importados					
2.1	Módulos FV 315 Wp	72	U			
2.2	Inversores de 7000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
2.4	WEB BOX inalámbrico	1	U			
	Suma partida 2					
3	Sistema DC Suministro e Instalación					

3.1	Estructura de soporte de MFV	72	MFV			
3.2	Sub tablero STS, intemperie, protecciones y bornera de tierras	3	U			
3.3	Alimentador desde cada String de MFV a 3 subtableros STS con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4, soportada en riel Strutt	93	Mts.			
3.4	Alimentador desde los 3 STS a subtablero STDC e Inversor con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4 soportada en riel Strutt y acople a tablero en canaleta plástica de 4"	56	Mts.			
3.5	Supresor en DC, protección y conexión a STDC y PT1 con cable # 6	3	U			
	Suma partida 3					
4	Sistema AC Suministro e Instalación					
4.1	Alimentador de 3 Inversores de 7KW a STI, con 2#6+1#10 THHN en tubería IMC de 1" y canaleta plástica	10	Mts			
4.3	Sub tablero STI, monofásic, 16 espacios, principal de 150/2p y protecciones, AIC 10 Kamp	1	U			
4.4	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. monofásico, conexión a STI y a PT2 con cable 1/0	1	U			
4.5	Alimentador de STI a TG, con 2# 1/0+1#4 THHN en tubería IMC de 2", soportada en riel Strutt	20	Mts			
4.6	Protección de 150/2p, Industrial en caja Nema 1, adyacente a TG	1	U			
	Suma partida 4					
5	Sistema de Tierras Suministro e Instalación					
5.1	Placa de tierras PT1 montada en aisladores 10"x3"x1/4"	1	U			
5.2	Placa de tierras PT2 montada en aisladores 10"x3"x1/4"	1	U			
5.3	Polarizaciones de MFV con cable 8 (9 String) y conexión a 3 BS	1	S.G.			
5.4	Unión de 3 BS a PT1 con cable 6, soportado en riel Strutt	56	Mts			
5.5	Unión de PT1 a PT2 y PT3 con cable 1/0, soportado en riel Strutt	20	Mts			
5.6	Red de tierra con 4 barras de 5/8x10', interconectadas con cable 1/0 y uniones exotérmicas	1	S.G.			
	Suma partida 5					
	Total Edificio C					
Edificio D						

Techos Sector SUR						
ITEM	Descripción	Cantidad	Unidad			
1	Suministro de Equipos Importados					
1.1	Módulos FV 315 Wp	72	U			
1.2	Inversores de 7000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
1.3	WEB BOX inalámbrico	1	U			
1.4	Caja sensora con medidor de irradiancia, temperatura de celda y temperatura ambiente	1	U			
1.5	Gastos de transporte, seguros y administración	1	S.G			
	Suma partida 1					
2	instalación de equipos Importados					
2.1	Módulos FV 315 Wp	72	U			
2.2	Inversores de 7000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
2.4	WEB BOX inalámbrico	1	U			
2.5	Caja sensora con medidor de irradiancia, temperatura de celda y temperatura ambiente, conexión a Web Box	1	U			
	Suma partida 2					
3	Sistema DC Suministro e Instalación					
3.1	Estructura de soporte de MFV	72	MFV			
3.2	Sub tablero STS, intemperie, protecciones y bornera de tierras	3	U			
3.3	Alimentador desde cada String de MFV a 3 subtableros STS con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4, soportada en riel Strutt	93	Mts.			
3.4	Alimentador desde los 3 STS a subtablero STDC e Inversor con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4 soportada en riel Strutt y acople a tablero en canaleta plástica de 4"	56	Mts.			
3.5	Supresor en DC, protección y conexión a STDC y PT1 con cable # 6	3	U			
	Suma partida 3					
4	Sistema AC Suministro e Instalación					
4.1	Alimentador de 3 Inversores de 7KW a STI, con 2#6+1#10 THHN en tubería IMC de 1" y canaleta plástica	10	Mts			

4.3	Sub tablero STI, monofásico, 16 espacios, principal de 150/2p y protecciones, AIC 10 Kamp	1	U			
4.4	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. monofásico, conexión a STI y a PT2 con cable 1/0	1	U			
4.5	Alimentador de STI a TG, con 2# 1/0+1#4 THHN en tubería IMC de 2", soportada en riel Strutt	20	Mts			
4.6	Protección de 150/2p, Industrial en caja Nema 1, adyacente a TG	1	U			
	Suma partida 4					
5	Sistema de Tierras Suministro e Instalación					
5.1	Placa de tierras PT1 montada en aisladores 10"x3"x1/4"	1	U			
5.2	Placa de tierras PT2 montada en aisladores 10"x3"x1/4"	1	U			
5.3	Polarizaciones de MFV con cable 8 (9 String) y conexión a 3 BS	1	S.G.			
5.4	Unión de 3 BS a PT1 con cable 6, soportado en riel Strutt	56	Mts			
5.5	Unión de PT1 a PT2 y PT3 con cable 1/0, soportado en riel Strutt	20	Mts			
5.6	Red de tierra con 4 barras de 5/8x10', interconectadas con cable 1/0 y uniones exotérmicas	1	S.G.			
	Suma partida 5					
	Total Edificio D					
Escuela de Eléctrica-Edificio de Potencia						
ITEM	Descripción	Cantidad	Unidad			
1	Suministro de Equipos Importados					
1.1	Módulos FV 315 Wp	112	U			
1.2	Inversores de 7000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	1	U			
1.3	Inversores de 6000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
1.4	Inversores de 4000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	2	U			
1.5	WEB BOX inalámbrico	1	U			
1.6	Gastos de transporte, seguros y administración	1	S.G.			
	Suma partida 1					

2	instalación de equipos Importados					
2.1	Módulos FV 315 Wp	112	U			
2.2	Inversores de 7000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	1	U			
2.3	Inversores de 6000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	3	U			
2.4	Inversores de 4000 W, incluye interfase inalámbrica e Interruptor DC integrado, STDC.	2	U			
2.5	WEB BOX inalámbrico	1	U			
	Suma partida 2					
3	Sistema DC Suministro e Instalación					
3.1	Estructura de soporte de MFV	112	MFV			
3.2	Sub tablero STS, intemperie, protecciones y bornera de tierras	6	U			
3.3	Alimentador desde cada String de MFV a 9 subtableros STS con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4, soportada en riel Strutt	78	Mts.			
3.4	Alimentador desde los 6 STS a subtablero STDC e Inversor con 2 cables #10 aislados para 1KV en tubería IMC de 3/4 soportada en riel Strutt y acople a tablero en canaleta plástica de 4"	63	Mts.			
3.5	Supresor en DC, protección y conexión a STDC y PT1 con cable # 6	6	U			
	Suma partida 3					
4	Sistema AC Suministro e Instalación					
4.1	Alimentador de 1 Inversor de 7KW a STI, con 2#6+1#10 THHN en tubería IMC de 1" y canaleta plástica	3	Mts			
4.2	Alimentador de 3 Inversores de 6KW a STI, con 2#8+1#10 THHN en tubería IMC de 3/4" y canaleta plástica	10	Mts			
	Alimentador de 2 Inversores de 4KW a STI, con 2#8+1#10 THHN en tubería IMC de 3/4" y canaleta plástica	6	Mts			
4.3	Sub tablero STI, trifásico, 24 espacios, principal de 175/3p y protecciones, AIC 10 Kamp	1	U			
4.4	Supresor en AC, 208/120 voltios, 100 Kamp. Trifásico, conexión a STI y a PT2 con cable 1/0	1	U			

4.5	Alimentador de STI a TG, con 3#2/0+1#2 THHN en tubería IMC de 2", soportada en riel Strutt	14	Mts			
4.6	Protección de 175/3p, AIC 22 Kamp en TG	1	U			
4.7	Supresor en AC, 208/120 voltios, 200 Kamp. en TG, con protección 15/3P, 18 Kamp, conexión a TG y a PT3 con cable de tierra 1/0.	1	U			
	Suma partida 4					
5	Sistema de Tierras Suministro e Instalación					
5.1	Placa de tierras PT1 montada en aisladores	1	U			
5.2	Placa de tierras PT2 montada en aisladores	1	U			
5.3	Polarizaciones de MFV con cable 8 (16 String) y conexión a 9 BS	1	S.G.			
5.4	Unión de 6 BS a PT1 con cable 6, soportado en riel Strutt	63	Mts			
5.5	Unión de PT1 a PT2 y PT3 con cable 1/0, soportado en riel Strutt	7	Mts			
5.6	Red de tierra con 4 barras de 5/8x10', interconectadas con cable 1/0 y uniones exotérmicas	1	S.G.			
5.7	Regilla de acero en cielo falso con cuadrícula de 0.20 m, fijada a la pared y estructura del techo, anclado a red de tierra	130	M2			
	Suma partida 5					
	Total Edificio de Potencia EIE					
				Suma proyecto		
				IVA 13%		
				Total		

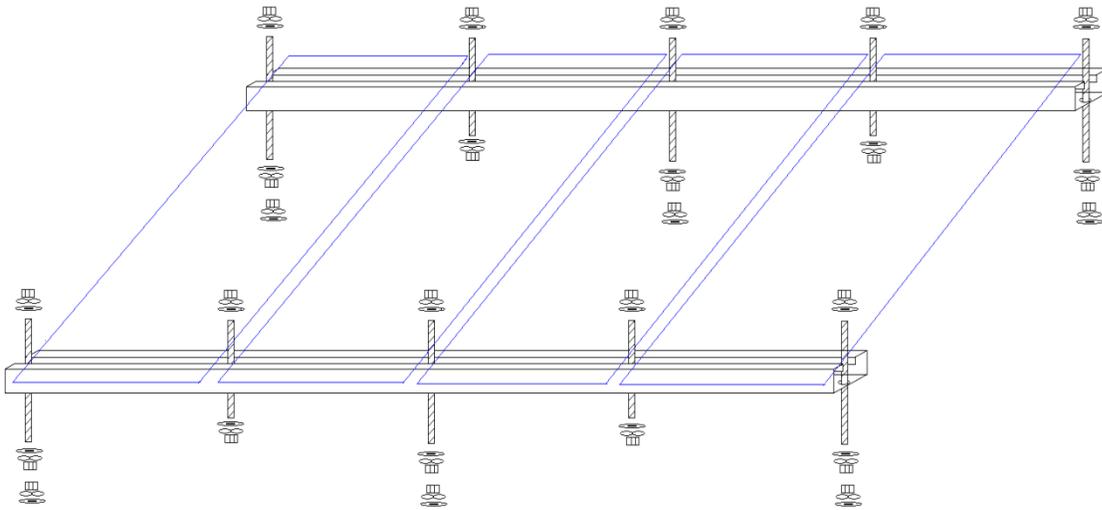
Cuadro resumen de oferta (puede ofertar Total y/o parcialmente)

Propuesta A	Total general suma de Partidas #1. Equipos de importación	
Propuesta B	Total general suma Partidas #2 a #5 equipos y suministros en plaza	
Propuesta C = A+B		
	IVA 13 %	
	Monto total del proyecto	

Estructuras de montaje

En este apartado se muestran algunas alternativas de instalación de los MFV, el contratista debe proponer su propia alternativa, sujeta a aprobación, o emplear alguna de las propuestas por la UES.

-Estructuras Tipo de soporte de los MFV



Estructura para techos de Zinc-Alum

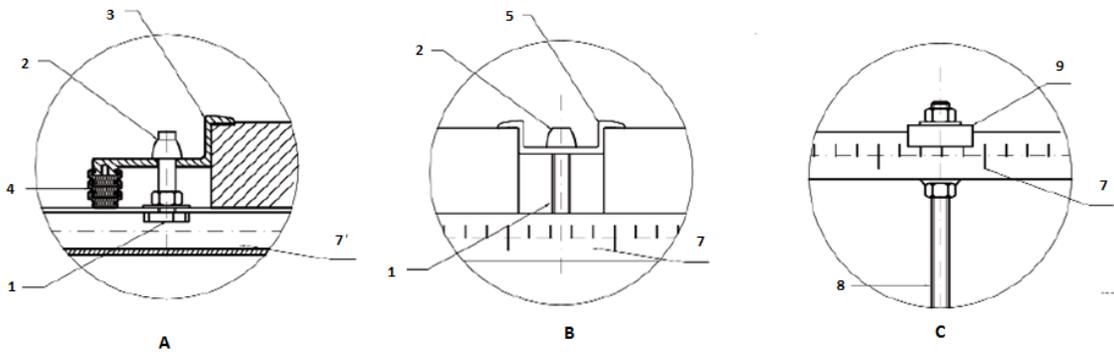
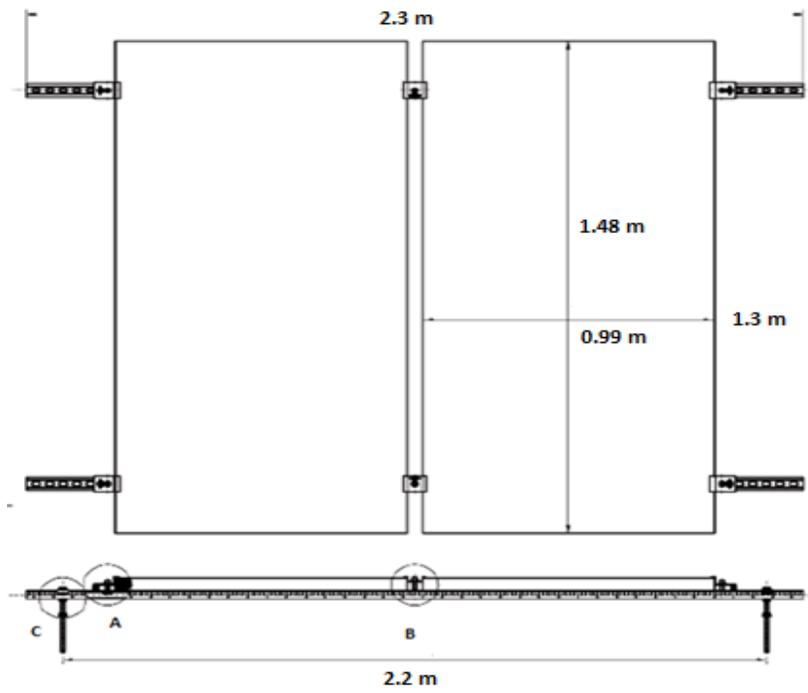


Estructura para losa de concreto

Toda la soportería, pernos, arandelas y accesorios, debe ser de aluminio, acero inoxidable o galvanizado en caliente



Estructura de soporte para techo de Zinc-Alum



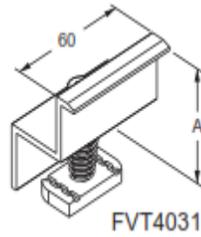
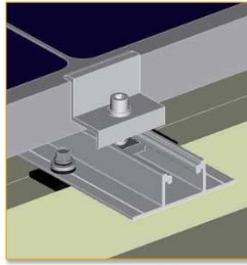
La estructura de soporte de los MFV deberá construirse con material inoxidable, los planos muestran la configuración tipo.

Los MFV deberán polarizarse en los sitios indicados por el fabricante, e indicados en el mismo MFV, empleando accesorios iguales o similares a los que se muestran, el conductor mínimo de Polarización es alambre 10 AWG cobre.



1- Perno de polarización, similar a Tyco # 2058729-1, 2- Tuerca con arandela estrella, 3- Marco de aluminio del MFV, 4- Agujero para alambre 6-12 AWG, 5- Tuerca hexagonal

Los MFV se deben fijar a la estructura de soporte empleando accesorios iguales o similares a los mostrados a continuación:



Accesorios de montaje en los extremos

Accesorios de montaje en

la parte media

Las consideraciones de puesta a tierra de los MFV, inversores, tableros y sus estructuras de soporte deberán cumplir con lo establecido en el estándar IEEE 142-1991 "Recommended Practice for Grounding of Industrial and comercial Power Systems" y en el NEC Art. 690 "Solar Photovoltaic Systems".

Los módulos FV se interconectarán entre sí empleando los conectores apropiados de acuerdo a la aplicación, la figura muestra los tipos que son aceptables, macho, hembra en T o en cruz, todos para 1000 VDC y certificación UL

