

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE INSTALACIÓN DE UN SSFV EN LAS  
INSTALACIONES DEL ECO CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

CAMILO ANDRES BUITRAGO MOLANO  
JOHAN ANDRES NAVARRETE CELLAMEN

Proyecto Integral de Grado para optar al título de:  
INGENIERO MECÁNICO

Orientadora:  
LEYDI JULIETA CÁRDENAS FLECHAS  
Ingeniera Electromecánica

UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Director

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C., 2023

## DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA PEÑA**

Consejero Institucional

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

**Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretario General

**Dr. JOSÉ LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ**

Decana Facultad de Ingenierías

**Ing. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO**

Directora del Departamento de Ingeniería Mecánica

**Dra. MARÍA ANGÉLICA ACOSTA PÉREZ**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo de docentes no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

## **DEDICATORIA**

Con inmensa gratitud y emoción dedico este trabajo a mis padres, Deiver Buitrago Cortes y Magaly Molano Alfonso, a mi hermano Julian David Buitrago Molano y por ultimo y no menos importante a mi abuela paterna Sara Maria Cortes de Buitrago, pilares inquebrantables en mi vida académica y personal, siempre contando con una voz de aliento, una palabra de ánimo y voz fuerte cuando más lo necesitaba, forjando esa disciplina y carácter que me lleva a culminar esta etapa con éxito. Este logro no es solo mío, sino también de todas las personas que me brindaron un apoyo en mi proceso formativo, por que sin duda este trabajo lleva un pedazo de cada uno en cada página.

A Laura Vanessa Vanegas Sanchez por darme el impulso para superarme en mi vida académica, de cumplir mis objetivos y metas, por impulsarme a salir de mi zona de confort y hacer parte del desarrollo de las energías renovables en el país, aportando mi conocimiento y mis habilidades para ello.

- *Camilo Andres Buitrago Molano*

Dedico este logro a mis padres, abuelos y tío por su amor incondicional, su apoyo, sus consejos, por ser mi ejemplo de vida y superación. Por ser cómplices en el logro de mis metas, por motivarme en los momentos difíciles y ayudarme a crecer como persona.

A mis hermanos por ser luz en el camino y por permitirme ser mejor cada día por ellos.

- *Johan Andres Navarrete Cellamen*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. ANTECEDENTES	15
3. JUSTIFICACION	17
4. OBJETIVOS	18
5. MARCO TEORICO	19
5.1 Energías Renovables	19
5.1.1 <i>Energía Solar</i>	19
5.1.2 <i>Energía Eólica</i>	19
5.1.3 <i>Energía Hidroeléctrica</i>	20
5.2 Elementos básicos de un sistema solar fotovoltaico	20
5.2.1 <i>Panel Solar</i>	20
5.2.2 <i>Inversor</i>	23
5.3 Tipos de sistemas solares Fotovoltaicos	25
5.3.1 <i>Sistema Off Grid</i>	25
5.3.2 <i>Sistema On Grid</i>	26
6. PARAMETROS INICIALES	28
6.1 Ubicación geográfica	28
6.2 Identificación de Áreas	29
6.3 Inclinación y orientación	32
6.3.1 <i>Orientación</i>	32
6.3.2 <i>Inclinación</i>	32
6.4 Radiación solar	33
6.5 Datos técnicos de la red	36
7. LAYOUT PREVIO GENERAL	38

8.	SELECCIÓN DE EQUIPOS	40
8.1	Panel solar	40
8.1.1	<i>Características técnicas</i>	41
8.1.2	<i>Valor del panel solar</i>	41
8.1.3	<i>Evaluación de referencias</i>	42
8.2	Inversor	43
8.2.1	<i>Niveles de protección IP</i>	45
8.2.2	<i>Evaluación de inversores</i>	45
9.	SOFTWARE PVSYST 7.3	46
9.1	Simulación en PVsyst	46
9.2	Resultados de la Simulación	55
10.	ELABORACION DE PLANOS DE DETALLE DEL SSFV	60
10.1	Distribución de paneles solares	60
10.2	Plano fijaciones mecánicas	65
10.3	Plano unifilar DC	66
10.4	Plano conexiones DC	67
11.	ANALISIS FINANCIERO	69
12.	ANALISIS AMBIENTAL	71
13.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	72
14.	CONCLUSIONES	76
	BIBLIOGRAFIA	77
	ANEXOS	80

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Informe de registros de proyectos – UPME	14
<b>Figura 2</b> Panel solar Monofocal	22
<b>Figura 3</b> Sistema solar con paneles bifaciales	23
<b>Figura 4</b> Inversor Huawei de 100 kW	24
<b>Figura 5</b> Vista inferior de inversor Huawei Sun 2000	24
<b>Figura 6</b> Sistema Solar Fotovoltaico Off Grid	26
<b>Figura 7</b> Sistema solar fotovoltaico On Grid	27
<b>Figura 8</b> Ubicación geográfica del Eco Campus	29
<b>Figura 9</b> Selección de áreas disponibles	31
<b>Figura 10</b> Representación gráfica inclinación y orientación	33
<b>Figura 11</b> Comportamiento del consumo de energía	37
<b>Figura 12</b> Layout previo general	39
<b>Figura 13</b> Selección tipo de sistema fotovoltaico	47
<b>Figura 14</b> Panel datos iniciales del sistema	47
<b>Figura 15</b> Base de datos Meteorológica	48
<b>Figura 16</b> Localización geográfica del sistema	49
<b>Figura 17</b> Valores meteorológicos mensuales	50
<b>Figura 18</b> Parámetros principales del sistema	51
<b>Figura 19</b> Variable de orientación e inclinación	52
<b>Figura 20</b> Panel de orientación e inclinación	53
<b>Figura 21</b> Selección del módulo FV	54
<b>Figura 22</b> Selección del inversor	54
<b>Figura 23</b> Diseño del conjunto FV	55
<b>Figura 24</b> Parámetros del sistema	55
<b>Figura 25</b> Características del sistema FV	56
<b>Figura 26</b> Perdidas del sistema FV	57
<b>Figura 27</b> Proporción de rendimiento	57
<b>Figura 28</b> Diagrama de perdidas	59
<b>Figura 29</b> Layout área 1	61
<b>Figura 30</b> Layout área 1	62

<b>Figura 31</b>	Layout área 3	63
<b>Figura 32</b>	Layout general	64
<b>Figura 33</b>	Isométrico de la estructura	65
<b>Figura 34</b>	Plano detalle de accesorios estructura	66
<b>Figura 35</b>	Unifilar de las cadenas solares	66
<b>Figura 36</b>	Diagrama unifilar conexión MPPT	67
<b>Figura 37</b>	Diagrama de conexión DC	68
<b>Figura 38</b>	Ahorro anual con el sistema FV	69

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Tabla de convenciones figura 5	25
<b>Tabla 2</b> Datos geográficos	28
<b>Tabla 3</b> Disposición de áreas del Eco Campus	30
<b>Tabla 4</b> Datos de radiación solar	34
<b>Tabla 5</b> Datos de radiación por horas	35
<b>Tabla 6</b> Datos técnicos de la red	36
<b>Tabla 7</b> Cantidad de paneles por edificio	40
<b>Tabla 8</b> Características de paneles solares en el mercado	41
<b>Tabla 9</b> Costo del panel solar	42
<b>Tabla 10</b> Puntajes para la selección del panel solar	42
<b>Tabla 11</b> Características de inversores en el mercado	44
<b>Tabla 12</b> Ahorro del costo de energía a 25 años	70
<b>Tabla 13</b> Ahorro en emisiones de CO <sub>2</sub>	71
<b>Tabla 14</b> Datos proyecto solar	72
<b>Tabla 15</b> Especificaciones del SSFV	72
<b>Tabla 16</b> Especificaciones del panel FV	73
<b>Tabla 17</b> Especificaciones del inversor	74
<b>Tabla 18</b> Producción energética	75
<b>Tabla 19</b> Plan de adquisiciones	81

## LISTA DE ABREVIATURAS

FNCE: Fuentes no convencionales de energía  
FNCE: Fuentes no convencionales de energía renovable  
kWp: Kilo-vatio pico  
kWh: Kilo-vatio hora  
kVA: Kilo-voltamperio  
Icc: Corriente de corto circuito  
Voc: Voltaje de circuito abierto  
DC: Corriente directa  
AC: Corriente alterna  
Pmax: Potencia Máxima  
VMP: Voltaje de máxima potencia  
IMP: Corriente de máxima potencia  
V: Voltaje  
A: Amperaje  
OR: Operador de red  
RETIE: Reglamento técnico de instalaciones eléctricas  
SPT: Sistema de puesta a tierra  
BT: Baja tensión  
SSFV: Sistema solar fotovoltaico  
AGPE: Auto generación a pequeña escala  
DPS: Dispositivo de protección contra sobre tensiones

## RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como objetivo evaluar la viabilidad de la instalación de un sistema solar fotovoltaico (SSFV) en las instalaciones del Eco Campus de la Universidad de América. El SSFV se propone como una solución sostenible para la generación de energía renovable y la reducción de la huella de carbono de la universidad.

Inicialmente, se evalúa la ubicación geográfica del Eco Campus para determinar la cantidad de radiación solar disponible. Esto se logra mediante el análisis de datos climáticos y la consideración de factores como la latitud, la altitud y las condiciones meteorológicas locales. Se examina la superficie disponible para la instalación de paneles solares, esto incluye la identificación de áreas adecuadas, como techos de edificios, estacionamientos o terrenos abiertos, donde se puedan ubicar los paneles solares, y posterior a esto llevar dichos datos a un software de simulación (PVsyst) y lograr obtener datos muy precisos de generación de energía, coeficiente de rendimiento (PR), y eficiencia neta del sistema.

En el desarrollo se evaluará distribución de los paneles sobre cubierta, así como la cantidad idónea de los mismos, la selección de equipos que abarca desde elementos principales como son paneles e inversores, hasta elementos secundarios como los son accesorios mecánicos y eléctricos, luego de esto se define la configuración de las cadenas de String para lograr optimizar el sistema de la mejor manera y contar con un nivel de voltaje adecuado.

Finalmente, se concluye con la presentación de un Layout general del SSFV donde se evidencia la distribución de los módulos solares, así como un plano de conexiones y fijaciones mecánica de este, culminando con el análisis financiero y ambiental, para así dar lugar al resultado sobre la viabilidad de un sistema solar fotovoltaico en la cubierta de la Universidad América sede Eco Campus.

**PALABRAS CLAVE:** Energía renovable, desarrollo sostenible, radiación solar, viabilidad energética.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

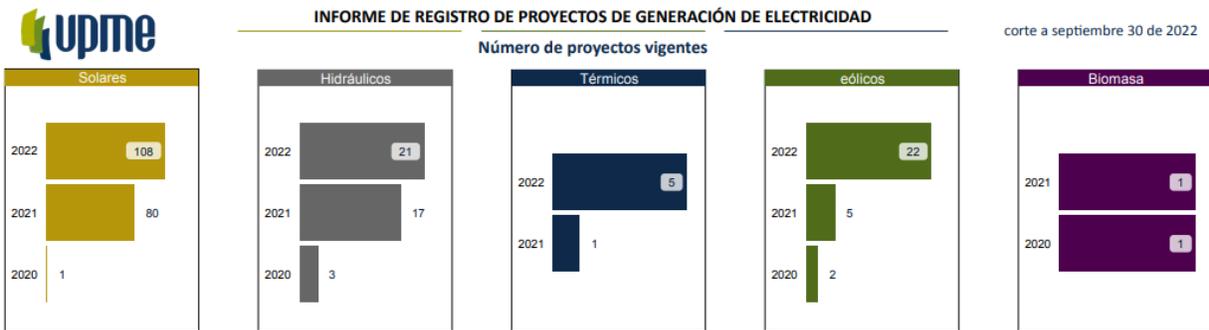
La Universidad de América actualmente se encuentra en medio de un proceso de reinversión académica y estructural. Desde el campo académico se están incluyendo programas que se complementan con los establecidos, buscando la formación de profesionales con habilidades y competencias que incluye el contexto social, industrial, económico, tecnológico y digital del mundo actual. En el marco estructural se pretende modernizar las instalaciones de la sede del Eco campus, ya que estas juegan un papel fundamental en el desarrollo académico de los estudiantes, equipándose además con nuevos instrumentos y laboratorios.

Basados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y dándole un enfoque al objetivo número 7, en donde una de sus metas es aumentar el porcentaje global de energía renovable, es importante resaltar el avance que ha tenido Colombia a la fecha, el cual muestra que cuenta con una capacidad instalada de 19.159 MW en 2022 [1]. Apoyados en este objetivo y teniendo en cuenta el informe del mes de septiembre de 2022 presentado por la UPME se puede evidenciar el aumento del 35% en el uso de energía solar en Colombia con 108 proyectos vigentes en el 2022 [2]. Con estos datos se evidencia un avance en la transición energética consolidando los sistemas solares en Colombia, como la fuente de energía con mayor crecimiento anual, siendo esta vital para el soporte de la red y mercado energético, promoviendo el desarrollo sostenible y un uso responsable de la energía.

Como se evidencia en la figura 1 y según el informe de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), los sistemas solares fotovoltaicos en Colombia están superando en más del 20% a otras fuentes de energía renovable, haciendo énfasis en la implementación de nuevos proyectos en comparación del registro de nuevos proyectos de energía por fuentes hidráulicas, térmicos, eólicos y de biomasa [2]. Igualmente se puede evidenciar que el 70% de los proyectos solares registrados actualmente se encuentran en fase dos, lo cual indica que están en proceso de construcción y energización. En el año 2022 Bogotá contaba con más de 2 MW de capacidad instalada en generación de energía solar pico, un dato que crece significativamente con respecto al mes de enero, donde tenía aproximadamente 1.5 MW instalados [2], aunque está por debajo de otras ciudades entendiendo sus condiciones climáticas y geográficas actuales, se espera que la instalación doméstica e industrial aumente en los próximos años.

## Figura 1

Informe de registro de proyecto de generación de electricidad - UPME



*Nota.* La figura muestra la cantidad de proyectos registrados de electricidad en Colombia para el primer semestre del 2022. Tomado de: Unidad de Planeación Minero Energética, “Registro\_Septiembre\_2022,” UPME

La energía solar fotovoltaica permite evitar la emisión de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a mitigar el calentamiento global, es una de las tecnologías más eficientes en la producción de energía limpia y renovable [3]. Es de resaltar que uno de los beneficios que trae la implantación de sistemas solares es su construcción sobre cubiertas, ya que estas muchas veces no son utilizadas y pueden ser aprovechadas en el momento de la instalación, es por esto que los sistemas solares domésticos van en aumento, como lo menciona el reporte de la empresa de investigación BloombergNEF, mostrando que en 2020 la capacidad de instalación aumento un 22%, con respecto al año 2019, esto como forma de respuesta a un ahorro económico y cambio climático [4]. En consecuencia y teniendo en cuenta que la Universidad de América no cuenta con un respaldo de generación de energía que apoye su consumo, el cual abastece los edificios, laboratorios y zonas comunes del Eco campus, se plantea la necesidad de utilizar y optimizar el espacio de los techos de la universidad, los cuales recientemente se les practicó un refuerzo estructural, con el propósito de promover un desarrollo positivo del Eco Campus. Por tal razón, se busca generar una eficiencia energética y sostenibilidad ambiental.

### PREGUNTA GENERAL

¿Es viable implementar un sistema solar fotovoltaico en las instalaciones del Eco campus, aprovechando el área disponible en las cubiertas de los edificios de Biblioteca y Arquitectura?

## 2. ANTECEDENTES

El presente apartado presenta los antecedentes teóricos y de campo a nivel internacional, remitiéndose a investigaciones y publicaciones en torno al objeto de estudio y las categorías de la investigación.

De acuerdo con Bayoumi, el cual expone la posibilidad de implementar celdas fotovoltaicas en puntos estratégicos a lo largo del campus de la universidad King Abdulaziz y el impacto en la eficiencia total del sistema energético al juntar la energía centralizada usada en el campus junto con una descentralizada proveniente de las celdas fotovoltaicas, así como de colectores solares térmicos [5]. Este artículo muestra el objetivo de disminuir el consumo energético en una universidad buscando la forma de optimizar la energía producida por las celdas solares teniendo en cuenta aspectos tales como, el espacio disponible en los techos de la universidad o buscar la disposición idónea de las celdas que permita recibir la mayor cantidad de energía posible.

Además, Mikati en su artículo, permite evidenciar por medio de simulaciones como se estudia la transferencia de energía en modelos híbridos, como son los sistemas fotovoltaicos off grid. El autor exponen que se mide el comportamiento de los paneles solares con respecto a su corriente y voltaje o más llamadas curvas IV, para llegar a determinar una eficiencia y dependencia real de la red [6]. Apoyándose en las simulaciones y modelos realizados se puede determinar que es importante tener un voltaje de operación para optimizar la generación de potencia en los módulos solares, esto demuestra que se puede lograr una generación de energía, con una baja dependencia de la red [6].

Así mismo Yang, presenta la propuesta del uso de los simuladores Grasshopper y Plug-in Ladybug para mostrar como la forma del edificio, ángulo de inclinación de la celda, orientación de las celdas y el espaciado de matriz afectan la cantidad de energía que recibe un panel fotovoltaico a lo largo del día, con lo cual encontraron la forma de maximizar la generación de energía solar teniendo en cuenta estas variables [7].

Este artículo referente permite tener como guía los datos encontrados en él, para diseñar el conjunto de paneles con la disposición, ángulos, orientación y espaciado de matriz ideal para maximizar la generación de energía solar [7].

Por otra parte, Zhang, muestra cómo el cambio climático ha alterado los patrones en el clima, entre estos las horas de sol y la intensidad con la que llega la radiación solar a la tierra. Por lo cual implementan dos métodos que permiten predecir las condiciones que van a tener estos patrones

climáticos a nivel global y cómo estos afectarían la economía y la recolección de energía solar en el mundo [8].

Finalmente Slimene y Khlifi, se centraron en el dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía en un sistema de iluminación solar fotovoltaica teniendo en cuenta todo el sistema fotovoltaico (paneles solares, inversores y baterías) así como las condiciones en los sitios donde se instalaría el sistema, demostrando de esta forma que el valor óptimo de las funciones de costo depende en gran medida del control que se tenga sobre el sistema fotovoltaico y en el sistema de almacenamiento de energía [9].

Esto demuestra que una de las formas más eficientes de dimensionar el sistema de almacenamiento, es teniendo un correcto conocimiento de la radiación en el sitio de instalación. Predecir la radiación solar a lo largo del año es complicado por lo cual el estudio muestra como no sobredimensionar el sistema de almacenamiento teniendo en cuenta la energía máxima de recuperación en verano y la energía que estará disponible en invierno [9].

Tomando como referencia los procedimientos aplicados por los autores para recolectar información acerca de las condiciones y parámetros para determinar la viabilidad de un sistema solar fotovoltaico, se puede obtener una guía clara y antecedentes de pesos para dar inicio al trabajo y generar resultados y discusiones que lleven a una conclusión sobre dicha viabilidad de implementación en la Universidad de América.

### **3. JUSTIFICACION**

En 2018 las fuentes de energía renovable representaron el 58% de la generación total de electricidad en América Latina y el Caribe [10], esto representa un crecimiento significativo ya que es la respuesta para combatir el cambio climático, llevando a distintas empresas y personas a inclinarse por este tipo de energías, entre ellas los sistemas de energía solar, los cuales se han posicionado fuertemente por su bajo costo y alta producción de energía. Gracias a la ubicación geográfica de la universidad y sus áreas disponibles, se evidencia la oportunidad de generación mediante un sistema fotovoltaico sobre cubierta.

Con la llegada de una nueva reestructuración en la Universidad América, la implementación de nuevos laboratorios y el retorno de todos los alumnos y docentes, se presenta un aumento significativo del consumo actual de energía y considerando que el precio de la energía eléctrica indica un alza, este servicio cada vez será más costoso, por tanto, es necesario desarrollar una estrategia para la generación de energía que reduzca costos a mediano plazo y que permita tener un consumo amigable con el medio ambiente, cumpliendo con los ODS enfocándose en el objetivo número 7 “energía asequible y no contaminante” y buscando aprovechar el espacio ya existente sobre los techos de la universidad.

Finalmente, uno de los grandes beneficios en el desarrollo de sistemas solares fotovoltaicos es la ley 1715 de 2014 de la UPME, la cual tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía renovable a cambio de beneficios tributarios y la excepción del IVA en los materiales y servicios que se requieran para su diseño, construcción y energización [11].

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Evaluar la viabilidad de un sistema solar fotovoltaico sobre los techos de la Universidad de América sede Eco Campus, utilizando los softwares PVsyst y AutoCAD.

### **4.2 Objetivos específicos**

1. Determinar los parámetros iniciales para el diseño del sistema solar fotovoltaico en los techos del Eco campus.
2. Realizar la selección de paneles, inversores, adecuados para el correcto funcionamiento del sistema solar fotovoltaico FUA.
3. Desarrollar un Layout general del sistema solar fotovoltaico con la ubicación de los paneles solares sobre los techos del edificio de arquitectura y biblioteca.

## 5. MARCO TEORICO

### 5.1 Energías Renovables

Las energías renovables se refieren a aquellas formas de energía obtenidas de fuentes naturales que tienen la capacidad de regenerarse a una velocidad superior a su consumo, un ejemplo de estas fuentes incluye la radiación solar y la fuerza del viento, las cuales se renuevan constantemente [12] Cabe aclarar que estas fuentes de energía generan menos emisiones de gases contaminantes en comparación con las fuentes de energía convencionales como lo pueden llegar a ser la quema de combustibles fósiles, esto logrando obtener una transición energética en pro de la sostenibilidad.

#### 5.1.1 *Energía Solar*

La energía solar es la fuente energética más abundante de todas y puede aprovecharse incluso cuando el cielo está nublado. La cantidad de energía solar que llega a la tierra es aproximadamente 10000 veces mayor que el consumo de energía humano volviéndola así unas de las principales fuentes de energía renovable [12].

Sus distintas maneras de aprovechamiento han venido evolucionando con el pasar de los años, con mayor desarrollo tecnológico se ha logrado sacar el máximo provecho a este recurso, un claro ejemplo de esta evolución son las celdas solares que cada vez se optimizan más para lograr generar la mayor cantidad de kilovatios (kW) en una misma área [12]. Es por esto que, durante los últimos diez años ha habido una dramática reducción en el precio de producción de los paneles solares, lo cual los convierte en una opción económica y accesible para generar electricidad. Estos paneles tienen una vida útil aproximada de 30 años y están disponibles en una amplia gama de colores, dependiendo del material utilizado en su fabricación [12].

#### 5.1.2 *Energía Eólica*

La energía eólica aprovecha la fuerza del aire en movimiento para generar electricidad utilizando grandes turbinas ubicadas en tierra, en el mar o sobre cuerpos de agua dulce. A lo largo de los milenios, se ha utilizado la energía eólica, pero en las últimas décadas las tecnologías terrestres y marinas han evolucionado significativamente, permitiendo una generación de electricidad más potente mediante turbinas más altas y rotores de mayor tamaño [12].

Aunque las velocidades del viento varían considerablemente según la ubicación, el potencial técnico global de la energía eólica supera la producción mundial de electricidad. La mayoría de las regiones del planeta tienen el potencial necesario para implementar de manera significativa esta forma de energía renovable basada en el viento [12].

### **5.1.3 Energía Hidroeléctrica**

La energía hidroeléctrica utiliza la fuerza generada por el movimiento del agua que gracias a las pendientes naturales o las represas pueden llegar a ser favorables en la implementación de este tipo de generación de energía, los cuerpos de agua con más afluencia fluvial son el caso de los ríos que abastecen de agua las hidroeléctricas para su producción energética. Las plantas hidroeléctricas en embalses aprovechan el agua almacenada y quieta, mientras que las plantas hidroeléctricas fluviales utilizan la energía generada por el flujo de agua en un río [12].

## **5.2 Elementos básicos de un sistema solar fotovoltaico**

Cuando se menciona un sistema solar fotovoltaico, nos referimos a un conjunto de componentes diseñados específicamente para aprovechar la radiación solar y generar energía renovable. Esta energía puede utilizarse en diversas actividades diarias, los sistemas solares fotovoltaicos están principalmente compuestos por los siguientes elementos:

- Paneles o módulos solares
- Inversor
- Baterías
- Estructuras de fijación
- Tableros agrupadores
- Cables fotovoltaicos

Estos componentes pueden llegar a varias según su configuración o implementación para la cual es destinado el sistema solar fotovoltaico, a continuación, se explican los compones principales, que son el panel solar y el inversor.

### **5.2.1 Panel Solar**

En un sistema solar fotovoltaico, el panel solar cumple con la tarea más importante la cual es lograr captar la radiación solar y lograr convertirla en energía útil, esto se da gracias a las celdas fotovoltaicas que lo componen a lo largo de su área, estas celdas solares están compuestas por células individuales hechas de materiales semiconductores como lo es el silicio (cristalino y amorfo) el cual lograr transformar la luz solar (fotones) en energía eléctrica (electrones). Cuando los paneles solares están expuestos a la luz solar, una célula solar actúa de manera similar a una batería. La radiación solar provoca la separación de electrones, creando una capa de carga positiva y otra de carga negativa dentro de la célula, esta disparidad de potencial produce una corriente eléctrica [13].

Entre la evolución de los paneles solares se han desarrollado varias tecnologías para lograr obtener su máximo potencial según su uso y aplicación, es por esto que actualmente en el mercado se encuentran dos tipos de paneles solares los cuales son:

- **Monofocal:** Estos paneles son los más usados en las diferentes instalaciones solares residenciales y a pequeña escala, su principal característica radica en la recepción de luz solar por una sola cara del panel, su producción de energía en cuanto a vatios es convencional, se logran encontrar con una capacidad máxima actual de 600 Vatios. Estos cuentan con película opaca en la otra cara impidiendo la recepción solar en la parte posterior del panel [13], este tipo de panel se muestra en la figura 2.
- **Bifacial:** Los paneles solares bifaciales como su palabra lo dice, son aquellos que nos permiten captar la luz solar por ambas caras del panel, estos son la última tendencia en tecnología fotovoltaica ya que permiten tener un mayor rendimiento y una eficiencia mayor con respecto a los monofocales, son utilizados en proyectos donde se tenga un reflejo solar, esto quiere decir techos blancos, arenas, gravas entre otros, logrando obtener una mayor eficiencia entre el 10 % y 15 % con relación a los paneles monofocales, su sinergia permite que la exposición sea mayor y por ende la radiación sea más aprovechada [14] , este tipo de panel se muestra en la figura 3.

## **Figura 2**

### *Panel solar monofocal*



*Nota. La ilustración muestra un panel Monofocal 540 W. Tomado de: <https://www.jetion.com.cn/en/Products/1.html>*

### **Figura 3**

*Sistema solar con paneles bifaciales.*



*Nota. Se evidencia un sistema solar el cual cuenta con paneles bifaciales.*

*Tomado de: <https://www.trace-software.com/es/paneles-solares-bifaciales-caracteristicas-y-ventajas/>*

#### **5.2.2 Inversor**

El inversor se podría denominar como el equipo que le da vida al sistema solar fotovoltaico, ya que logra captar la corriente directa (DC) entregada por los paneles solares y convertirla en corriente alterna (AC) ya sea a niveles de frecuencia de 50 o 60 Hz, estos equipos han venido revolucionando el mundo de la energía solar, a lo largo del tiempo se han ido perfeccionando e incorporando distintos elementos eléctricos, que garantizan un mejor funcionamiento y protección del sistema, como lo son reguladores, medidores, dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) y elementos de comunicación.

En las instalaciones de auto generación a pequeña escala, se puede encontrar inversores desde los 10 kW hasta los 200 kW de producción. Esto permite obtener la mayor cantidad de energía en el sistema solar fotovoltaico cuando el equipo está instalado en un arreglo conectado a la red (On Grid), ésta toma los valores del nivel de tensión y voltaje de la red, para así lograr tener una parametrización clara y poder realizar la transición entre corriente DC y AC, en el momento que los inversores no captan estas señales no generan energía AC, protegiendo así el sistema donde se inyecta la energía [15] Cuentan con entradas en su parte inferior llamadas MPPT donde irán conectados los String o cadenas de paneles en positivo y negativo, cada MPPT viene configurado para recibir cierta cantidad de voltaje, por eso es muy importante la configuración de las cadenas

para no dañar su funcionamiento. En las figuras 4 y 5 se muestra una imagen del inversor y otra un esquema del panel de conexiones del inversor, en la tabla 1 se muestra las convenciones del esquema de la figura 5.

**Figura 4**

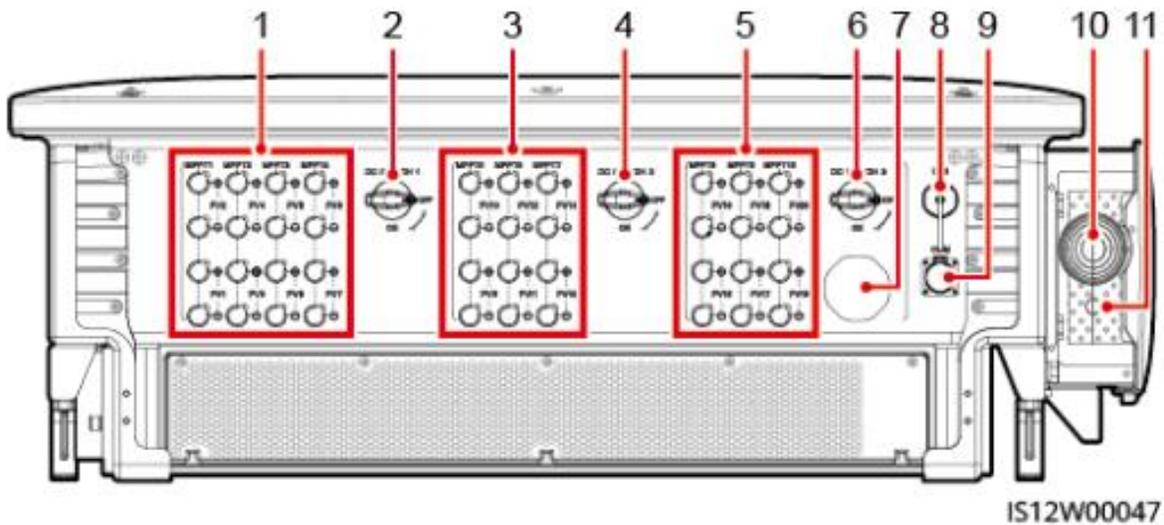
*Inversor Huawei de 100 kW*



*Nota.* Inversor Huawei SUN 2000-100 kW

**Figura 5**

*Vista inferior de inversor Huawei Sun 2000*



*Nota.* Vista inferior de inversor Huawei donde se muestran las entradas MPPT que lo componen. tomada de: Manual de usuario SUN 2000 100 KTL.

**Tabla 1***Tabla de convenciones figura 5*

(1) Grupo de bornes de entrada CC 1	(7) Válvula de ventilación
(2) Interruptor de CC 1	(8) Puerto USB
(3) Grupo de bornes de entrada CC 2	(9) Puerto de comunicaciones COM
(4) Interruptor de CC 2	(10) Orificio para el cable de alimentación AC
(5) Grupo de Bornes de entrada CC 3	(11) Orificio para el cable de alimentación del sistema de seguimiento
(6) Interruptor de CC 3	-

*Nota.* Tabla de convenciones figura 5, tomada de: Manual de usuario SUN 2000 100 KTL

### **5.3 Tipos de sistemas solares Fotovoltaicos**

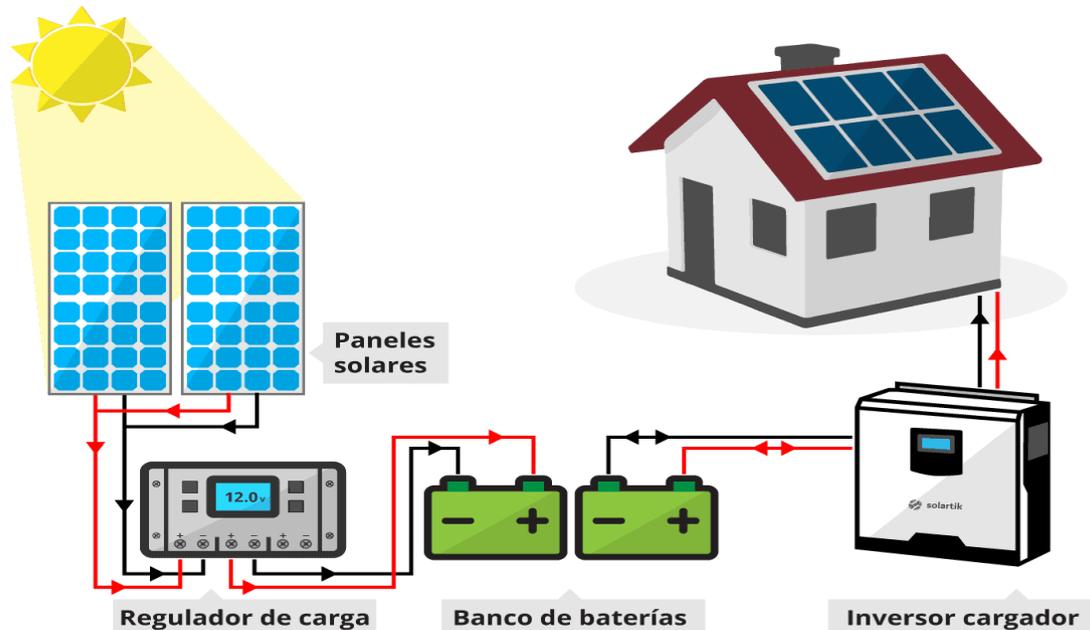
Actualmente existen varias aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos, así como también existen diferentes tipos de generación, esto para poder suplir las diferentes necesidades que se presentan a nivel global, uno de ellos son los sistemas *on grid* o conectados a la red usados en la industrial y plantas a pequeña y gran escala, por otro lado, están los sistemas *off grid* sin conexión a red, su principal uso se da en zonas no interconectadas o con gran dificultad de acceso para sistemas de transmisión eléctrica [16].

#### **5.3.1 Sistema Off Grid**

El sistema *off grid* o no conectado a la red (figura 6), es un sistema aislado, este sistema se encarga de generar energía sin ser dependiente de la red local de energía, esto gracias a unos parámetros de configuración en su inversor, como también al uso de baterías en su instalación, los podemos ver en zonas no interconectadas del país siendo esta una solución óptima y económica para lograr la generación de energía renovable [16].

**Figura 6**

*Sistema Solar Fotovoltaico Off Grid*



*Nota.* Representación gráfica de los componentes de un sistema Off Grid, Tomada de: <https://icarusdesarrollosolar.com/proyectos-off-grid/>

Este sistema cuenta con la capacidad de abastecer diversas cargas con distintas necesidades de potencia y consumo energético. Al aumentar la potencia requerida y el tiempo de uso de los dispositivos a alimentar, se incrementa el consumo energético, lo que demandará un sistema fotovoltaico fuera de la red de mayor tamaño para satisfacer dichas necesidades. A medida que se busca implementar un sistema más potente fuera de la red, la inversión necesaria para su instalación también se incrementa. Por lo tanto, es más común utilizar estos sistemas para alimentar cargas más pequeñas, como la iluminación, las telecomunicaciones y otros usos domésticos de menor escala [16]

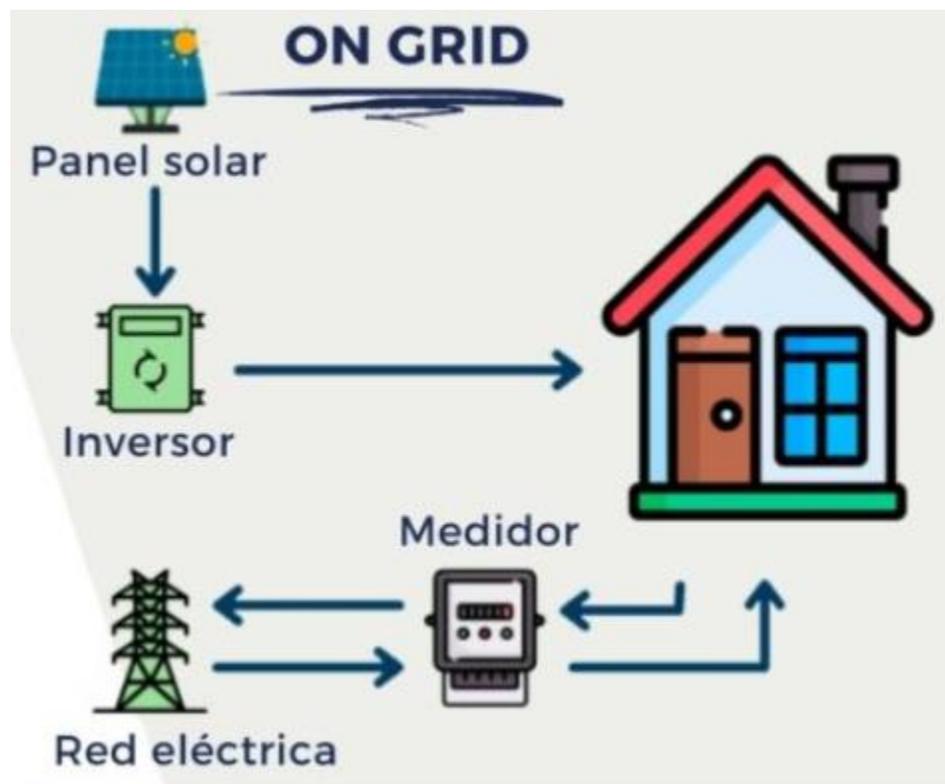
### **5.3.2 Sistema On Grid**

Los sistemas *on grid* o conectados a la red de distribución, son aquellos que generan energía eléctrica como un complemento a la obtenida de la red. Esto resulta en ahorros en la cuenta de electricidad. Si se produce más energía de la necesaria, existe la posibilidad de vender el excedente al operador de red. No obstante, es importante destacar que este sistema no funciona como un respaldo en caso de fallos eléctricos en el sistema eléctrico [17]

La configuración de un sistema *on grid*, es el más usado en Colombia, que permite obtener excedentes de la red para aprovechar toda la generación posible de energía, ya que el sistema está conectado, este dependerá de ella para su funcionamiento, esto quiere decir que el inversor toma las señales de tensión y voltaje que proporciona la red de energía local, para poder realizar la transición de corriente directa a corriente alterna, es por este motivo que el inversor debe manejar los mismos niveles de tensión y corriente que la red, de no ser este el caso, el sistema requerirá un transformador de baja a baja, para poder regular las cargas de voltaje y tensión, logrando así inyectar la energía generada, la figura 7 presenta un esquema del sistema *on grid*.

**Figura 7**

*Sistema solar fotovoltaico On Grid*



*Nota.* Representación gráfica de los componentes de un sistema *on grid*. Tomada de: <https://dynamicenergy.com.ar/noticias/glosario-fotovoltaico-tipos-de-sistemas-y-componentes/>

## 6. PARAMETROS INICIALES

La identificación de los parámetros iniciales son el primer paso para llegar a un resultado conciso y coherente, el cual satisfaga parcialmente las necesidades energéticas de las instalaciones del Eco Campus, donde será utilizado el sistema de energía solar de autogeneración. Por lo cual se deben establecer cuidadosamente los parámetros a considerar y así mismo obtener una simulación cercana a la realidad, con el fin de evaluar la viabilidad de su implementación.

La ubicación geográfica, el área disponible para la instalación y la radiación solar que impacta sobre la Universidad de América, son el inicio de los parámetros básicos para la toma de decisiones en un sistema solar fotovoltaico, como lo son cantidad de paneles a instalar, pérdidas por sombras, ubicación de equipos, distribución de paneles sobre los techos y rutas de cableado.

### 6.1 Ubicación geográfica

La ubicación geográfica exacta del Eco Campus de la Universidad de América se determina haciendo uso del software en línea Google Earth. Este parámetro se establece con el objetivo de determinar la cantidad de radiación solar disponible, ya que esta varía según la ubicación y afecta la cantidad de energía que se puede generar en el sistema. En la tabla 2 se evidencia la compilación de los datos obtenidos por medio de dicho software.

**Tabla 2**

*Datos geográficos*

País	Colombia
Ciudad	Bogotá
Coordenadas	4°36'06" N 74°03'42"
Altitud	2680 m

*Nota.* En esta tabla se muestran los datos geográficos correspondientes a la ubicación del Eco Campus.

Con la información de la tabla anterior, se puede conocer la ubicación a nivel general y específica de donde será ubicado el sistema solar fotovoltaico, presentando datos como lo son país, ciudad, coordenadas y altitud, estos datos son relevantes en el levantamiento de parámetros iniciales para la ejecución del sistema solar fotovoltaico. En este apartado se da a conocer la ubicación física por medio de una imagen satelital, la cual se puede observar en la figura 8.

## Figura 8

### Ubicación geográfica del Eco Campus



*Nota:* Se muestra la ubicación geográfica del Eco Campus por medio de una foto satelital Tomado del Software en línea Google Earth

## 6.2 Identificación de Áreas

Se da continuidad a la recopilación de parámetros iniciales, siendo este apartado dedicado a la identificación de las áreas disponibles para la posible instalación del sistema solar fotovoltaico. El sistema de autogeneración planteado va a ser trabajado sobre cubierta, con el fin de hacer uso de los espacios disponibles en el techo de los bloques que constituyen la sede del Eco Campus de la Universidad de América.

Para obtener datos precisos se hace uso de los planos de las cubiertas de los distintos bloques de la Universidad, donde se analiza el área total a utilizar, teniendo en cuenta rutas de mantenimiento y zonas no aptas para la instalación, esto mediante la transposición de los mismos en el software AutoCAD. Según el análisis, las áreas con mayor capacidad para la instalación de paneles solares son la cubierta del edificio de arquitectura, administración y biblioteca nombradas respectivamente área 1, área 2 y área 3. Las áreas de cada uno de estos edificios se pueden ver en la tabla 3

**Tabla 3**

*Disposición de áreas del Eco Campus*

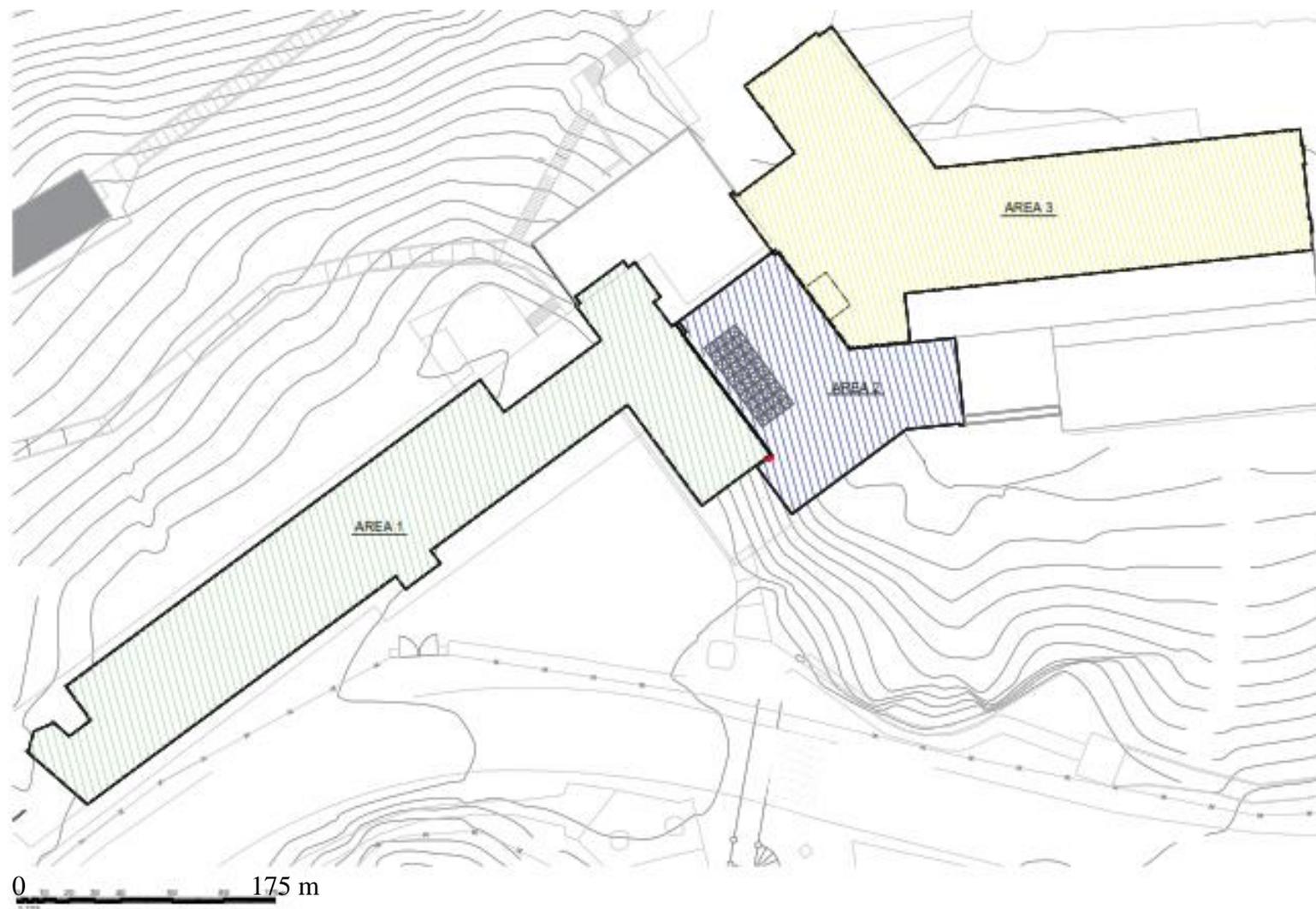
<b>Ítem</b>	<b>Edificio</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
1	Arquitectura	898
2	Biblioteca	875
3	Administración	366

*Nota.* Se presentan las áreas correspondientes a la distribución de los edificios del Eco Campus.

En la tabla 3 se presentan las áreas de los diferentes edificios, las cuales se obtuvieron gracias a los planos de arquitectura obtenidos de la Universidad de América, con fines investigativos, así mismo por medio del software Auto CAD se determinan las áreas de cada cubierta, concluyendo que el edificio que tiene más área disponible para la instalación de los paneles solares es el edificio arquitectura, no obstante seguido a éste se encuentra el edificio de la biblioteca y por último el edificio de administración, es importante resaltar que el tener la mayor área disponible no significa que se pueda instalar la mayor cantidad de paneles, esto se da por factores ajenos, un ejemplo de estos son las sombras ocasionadas por los objetos a su alrededor, otro factor es la geometría que tiene la cubierta. Con base en esta información se procede a identificar las áreas desde el ámbito geométrico utilizando los planos iniciales, y nombrando cada una de estas áreas como se muestra en la figura 9, este plano se puede ver a detalle en los anexos del presente documento.

## Figura 9

*Selección de áreas disponibles*



*Nota.* Se presentan las 3 áreas seleccionadas para la implementación del sistema solar fotovoltaico.

### **6.3 Inclinación y orientación**

La orientación y la inclinación adecuadas de los paneles solares son esenciales para maximizar la producción de energía y la eficiencia de un sistema fotovoltaico. Un diseño cuidadoso que tenga en cuenta la ubicación geográfica y las condiciones climáticas locales puede marcar la diferencia en la cantidad de energía generada y en la rentabilidad a largo plazo del sistema, determinando criterios importantes como lo son, captación de energía solar, maximización de producción energética y la correcta eficiencia del sistema.

#### **6.3.1 Orientación**

Se sabe que la trayectoria del sol da inicio en el este y culmina en el oeste a lo largo del planeta tierra, basados en este concepto de trayectoria se recomienda que los paneles sean orientados en dirección a la línea del ecuador, para el caso de Colombia, significa que los módulos solares tendrán una orientación hacia el sur, garantizando así una recepción de radiación solar completa, ubicarlos hacia el este u oeste, significaría que solo recibirán radiación solar ya sea en la mañana o en la tarde, perdiendo así generación de energía, cabe aclarar que en el caso de los sistemas solares fotovoltaicos que cuentan con seguidores solares no aplica dicha orientación, ya que gracias al seguidor solar se podrá aprovechar más del 90% de su radiación sin importar su orientación [18]

#### **6.3.2 Inclinación**

La inclinación del panel solar juega un papel fundamental en diversos aspectos, especialmente en el rendimiento solar a lo largo del día, lo que determina la cantidad máxima de radiación captada según el propósito del Sistema de Generación de Energía Fotovoltaica (SSFV). Por otro lado, esta inclinación también es relevante en términos del mantenimiento de los paneles, ya que, durante episodios de lluvia, la adecuada inclinación permite que el agua fluya y no se acumule en la superficie de los paneles. Este aspecto es crucial para evitar daños a largo plazo y pérdidas de eficiencia energética en el módulo solar. En este contexto, entender la relación entre la inclinación óptima de los paneles solares y su rendimiento es de vital importancia para maximizar la producción de energía y garantizar la durabilidad del sistema fotovoltaico en general.

En el caso de la ciudad de Bogotá, no se presentan estaciones climáticas ya que la ciudad se encuentra geográficamente cerca de la línea del ecuador, es por esto que la inclinación óptima para los módulos solares sería entre  $7^\circ$  y  $15^\circ$  (por ejemplo, alrededor de  $10^\circ$ ). Sin embargo, esto presenta un casi atípico dadas las condiciones climáticas, se garantizará con esta inclinación el

aprovechamiento de la radiación solar y el no estancamiento del agua en los meses de lluvia [19]. En otros países donde se cuenta con estaciones climáticas el único requerimiento es obtener energía durante los meses de verano, contando con una inclinación de los módulos solares en el rango de  $17^\circ$  a  $28.5^\circ$  (por ejemplo, unos  $23^\circ$ ) [18] Es por esto que para el sistema solar fotovoltaico del Eco Campus de la Universidad América se maneja una inclinación de  $10^\circ$  los cuales son acordes a las condiciones geográficas, proporcionando así un mayor aprovechamiento de la radiación solar y de la capacidad de generación, con una orientación hacia el sur, referentemente apuntando hacia la línea del ecuador, en la figura 10, se puede identificar la representación gráfica de la inclinación y orientación en un sistema solar fotovoltaico.

### Figura 10

*Representación gráfica inclinación y orientación*



*Nota.* Representación gráfica de la inclinación y orientación de un sistema solar fotovoltaico ubicado en el hemisferio norte. Tomado de: <http://www.solesco.com.co/index.php/component/%20content/article/12-destacados/52-que-es-fotovoltaica-2>

## 6.4 Radiación solar

La Radiación solar es el parámetro más importante que se puede obtener en una primera instancia, ya que gracias a esta radiación solar se podrá generar la energía necesaria por parte del sistema solar fotovoltaico, para dar inicio a este apartado, se procede a recopilar la información desde el

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), consultando su atlas interactivo, y observando los datos de la ciudad de Bogotá, se da un primer análisis de datos generales, los cuales arrojan los resultados mostrados en la tabla 4, donde se presenta la radiación solar en promedio de exposición solar de 4 a 5 horas.

**Tabla 4**

*Datos de radiación solar*

<b>Descripción</b>	<b>Valores</b>
Radiación solar diaria	4.0 /4.5 kWh/m <sup>2</sup> /día
Horas de sol al día	4 – 5 horas
Días sin brillo solar al mes	3 – 5 días
Índice ultra violeta Máximo	10-11 IUV

*Nota.* Se evidencia los valores de radiación diaria y mensual con Respecto a la ciudad de Bogotá. Tomado de: mapa interactivo IDEAM

Con el fin de recopilar información más precisa y específica con respecto a la radiación solar en la ciudad de Bogotá, se realiza la búsqueda de valores exactos con respecto a la radiación solar presente por cada mes y hora del día que se registró en el año 2022 [20].. Los valores presentes en la tabla 5 fueron suministrados y reportados por el IDEAM para el año 2022, estos datos hacen referencia a valores mensuales para la ciudad de Bogotá.

En la tabla 5 se evidencia que aunque no se presenta una radiación alta durante todo el día como es el caso de otras ciudades, se cuenta con un promedio muy constante, permitiendo así una generación de energía óptima, evitando picos y pérdidas por factores externos, una ventaja que se obtiene en estas condiciones es lograr la mayor eficiencia del panel ya que se cuenta con una radiación alta y una temperatura ambiente baja, siendo esto un gran indicador para la implementación de un sistema solar fotovoltaico en el Eco Campus. Adicional a esto se aclara que la tabla 5 mostrada a continuación nos proporciona los datos hora a hora, y hace el promedio del valor por día en cada mes del año, obteniendo una acumulación de radiación diaria, comparando con la tabla 4 se puede decir que el mayor pico se presenta en enero con una mayor radiación solar.

**Tabla 5**

*Datos de radiación por horas*

HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3
1-2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,4	0,2	0,4	0,4
2-3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3
3-4	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3
4-5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,4	0,3
5-6	0,2	0,1	0,3	1,3	2,5	1,9	1,2	1,2	2,0	3,0	2,7	0,7
6-7	31,8	28,1	39,5	52,9	66,3	62,0	55,2	50,6	60,2	71,0	61,4	50,2
7-8	184,9	162,3	149,3	177,2	188,3	188,0	191,0	172,9	180,6	205,6	198,3	208,9
8-9	351,3	342,2	264,3	309,3	294,4	291,3	313,7	290,8	284,5	346,4	356,3	378,8
9-10	507,6	455,8	366,7	388,1	391,4	389,5	399,7	387,8	399,5	457,6	458,6	504,3
10-11	589,9	543,7	469,8	425,6	431,5	447,8	476,8	467,0	460,2	501,8	519,1	545,5
11-12	607,4	544,1	483,3	433,2	455,7	497,2	520,6	491,4	489,4	458,0	488,2	533,5
12-13	560,1	503,8	433,2	412,9	464,7	490,0	544,6	494,3	481,1	442,4	414,1	491,1
13-14	475,7	465,6	389,8	365,9	404,2	476,3	499,4	457,5	432,5	393,3	355,3	423,4
14-15	375,9	357,0	313,5	307,7	334,2	391,8	404,2	392,0	398,2	315,9	274,7	348,9
15-16	304,4	275,2	231,1	225,1	245,4	275,5	292,9	305,2	298,4	209,9	188,3	254,7
16-17	171,2	145,7	145,0	135,4	143,1	158,6	177,2	168,1	168,4	111,0	90,2	124,9
17-18	46,4	48,7	47,7	35,6	35,7	46,3	59,4	48,9	34,5	16,7	13,0	26,0
18-19	0,5	0,9	0,7	0,2	0,3	0,5	1,1	0,9	0,4	0,3	0,4	0,4
19-20	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
20-21	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3
21-22	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2
22-23	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3
23-0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,5	0,2	0,3	0,2
<b>Acumulada diaria</b>	<b>4207,3</b>	<b>3873,1</b>	<b>3334,2</b>	<b>3270,4</b>	<b>3457,9</b>	<b>3716,7</b>	<b>3937,1</b>	<b>3728,5</b>	<b>3690,0</b>	<b>3533,0</b>	<b>3420,7</b>	<b>3891,2</b>



*Nota.* Se presenta los valores de radiación hora a hora para la ciudad de Bogotá, así mismo la acumulación diaria de radiación en kWh/m<sup>2</sup>. Tomado del IDEAM 2022.

## 6.5 Datos técnicos de la red

Es de gran importancia conocer los datos técnicos con los cuenta la red de la Universidad de América, ya que en estos datos se presentan niveles de tensión, voltaje y consumo energético, los datos recopilados en este apartados serán utilizados para una correcta selección de equipos, como lo puede ser el inversor, el cual como se indicó anteriormente utiliza los parámetros de la red para poder convertir la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC), es por esto que si los niveles de tensión de la red no son compatibles con los del inversor se tendrá que llegar a utilizar un equipo adicional, que para este caso llegará a ser un transformador de baja a baja y así igualar dichos niveles de tensión y voltaje, es por esto que se recopilan los siguientes datos suministrados por la Universidad de América mostrados en la tabla 6. La recopilación de estos datos se obtiene de un recibo de energía suministrado por parte de la Universidad, ver figura 11.

**Tabla 6**

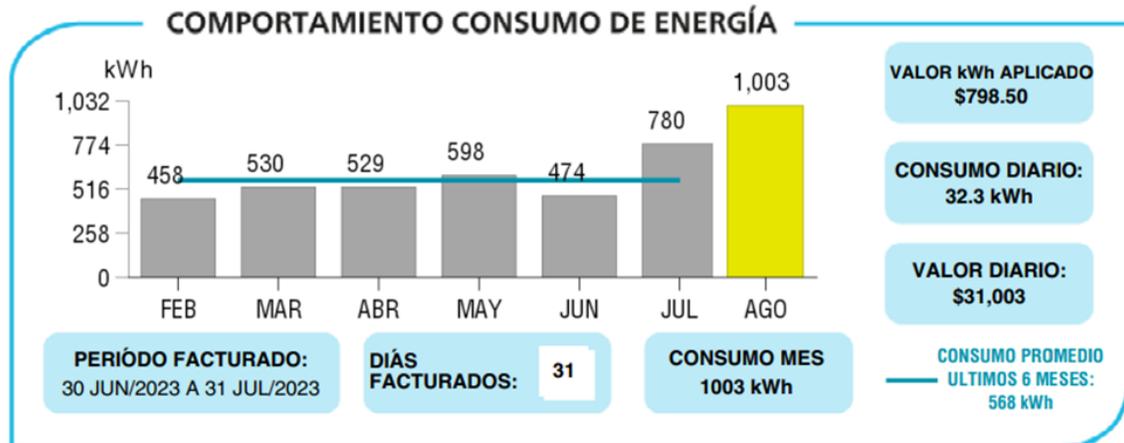
*Datos técnicos de la red*

<b>Descripción</b>	<b>Valores</b>
Consumo promedio de los últimos 6 meses	658 kWh
Consumo Diario	32.3 kWh
Consumo del último mes (Julio 2023)	1003 kWh
Nivel de voltaje	208 V

*Nota.* se presentan los datos técnicos de la red perteneciente al eco campus Tomado de: Recibo de energía proporcionado por la universidad.

**Figura 11**

*Comportamiento del consumo de energía*



*Nota.* Se presenta el consumo energético en el Eco Campus. Tomado De: recibo de energía del mes de Julio de 2022 proporcionado por la Universidad.

Como se evidencia en la figura 11, el consumo energético de la universidad corresponde a 568 kWh en promedio de los últimos 6 meses, con esta información, es más claro y conciso plantear un sistema solar fotovoltaico, que supla parte de esta energía, para este caso, se propone un sistema el cual proporcionara 150 kWh al mes en un promedio anual. Supliendo parte de este consumo energético y obteniendo una disminución en la energía proveniente del operador de red.

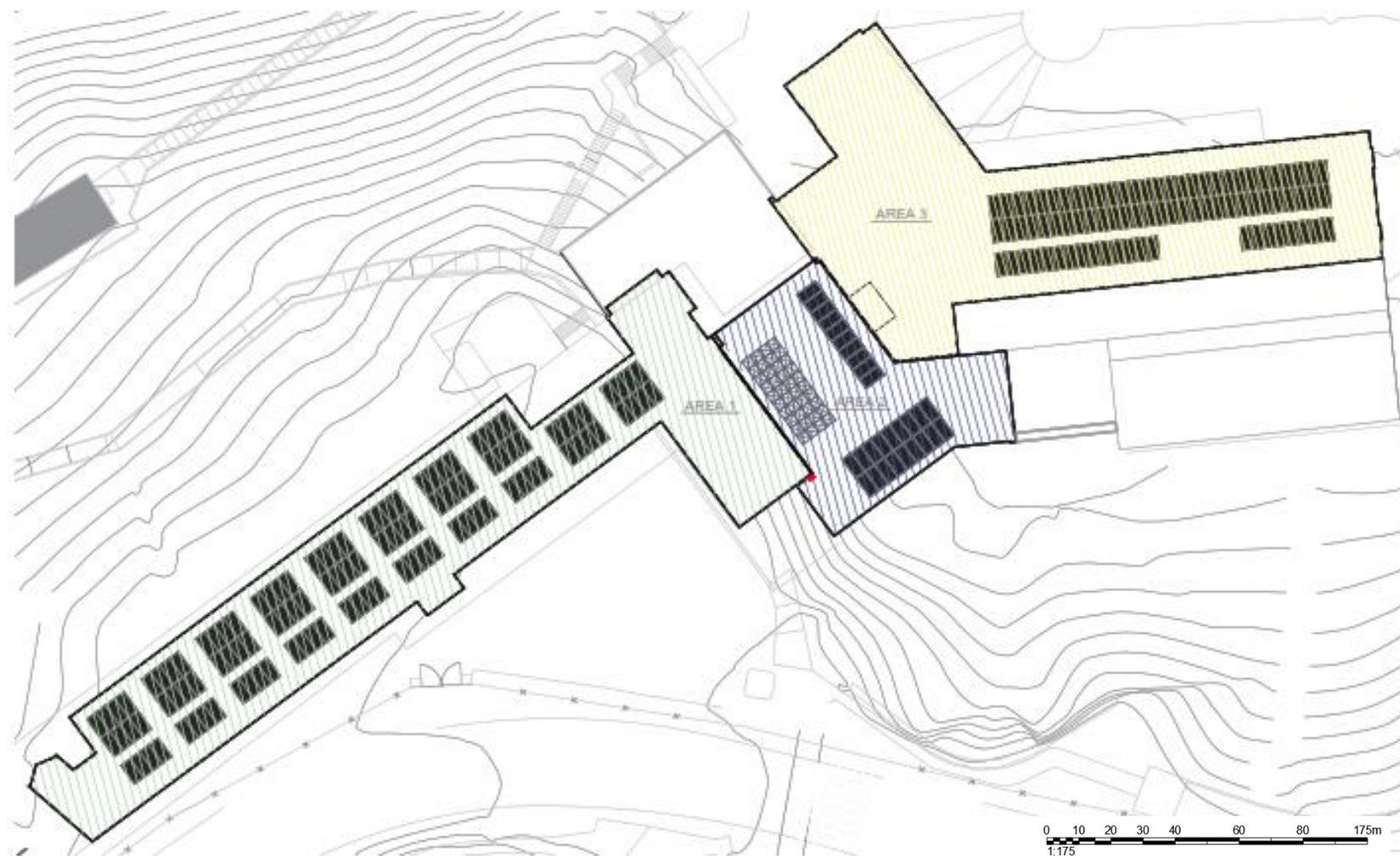
## **7. LAYOUT PREVIO GENERAL**

Contando con los parámetros iniciales definidos anteriormente se proyecta una disposición general del sistema solar fotovoltaico (Layout), para conocer la posible ubicación y la cantidad de los paneles solares, esto para realizar una selección de equipos y simulación correcta, se tendrá un análisis de cada área desde la vista superior de ellas por medio de AUTOCAD, la distribución de los módulos se realizará por cada cubierta (techo), se plantea distribuir 220 módulos solares en las 3 cubiertas seleccionadas para la implementación de dicho sistema. Esta distribución se hará previamente sin tener en cuenta el tipo de conexión.

El tamaño para de panel será de 1m x 2m que es una medida estándar con un espacio entre paneles de 5 cm teniendo en cuenta una estructura rígida. Su separación con el borde de la cubierta presentara un espacio de 1 a 2 metros para mantenimientos y acceso a los paneles en caso de que sea necesaria una verificación técnica. Con estos parámetros de distribución se procede a diseñar el Layout que se puede ver en la figura 12.

**Figura 12**

*Layout previo general*



*Nota.* Layout previo general de la disposición en cubierta de los paneles solares.

## 8. SELECCIÓN DE EQUIPOS

Un sistema solar fotovoltaico se compone de equipos tanto específicos, como los módulos solares, inversores y baterías, así como elementos más generales como bandejas porta cables, tableros de agrupación, tubería y materiales eléctricos. Cada uno de estos materiales y equipos cumple una función específica dentro del sistema solar fotovoltaico, por tanto, la selección de cada uno de ellos se debe realizar bajo parámetros técnicos, para determinar las mejores opciones, en cuanto a costos y características.

A continuación, se realiza la selección de equipos principales como lo son paneles e inversores, complementando este apartado con una lista de materiales generales para dicha instalación solar garantizando los insumos necesarios para su correcto funcionamiento.

### 8.1 Panel solar

Habiendo determinado el área donde es posible instalar los paneles según los planos, se calculó el área total ocupada por estos módulos, teniendo en cuenta una separación de 5 cm entre los paneles. El área total disponible para el sistema solar fotovoltaico es de 2139 m<sup>2</sup>. Con este valor y el área de cada referencia fue posible determinar cuántos paneles es posible instalar en el área asignada como se evidencia en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Cantidad de paneles por edificio*

<b>Edificio</b>	<b>Cantidad de paneles</b>
Arquitectura	112
Administración	28
Biblioteca	80
<b>Total</b>	<b>220</b>

*Nota.* se presentan la cantidad de paneles a ubicar por cada edificio del eco campus así mismo el total general.

### 8.1.1 Características técnicas

Para abordar las características técnicas del panel, se da inicio a determinar su tipo, como bien se sabe el mercado nos ofrece dos tipos de paneles, monofocal y bifocal, para este caso y teniendo en cuenta que la cubierta donde será instalado el SSFV es de color negro, se opta por la selección de paneles monofocales.

Posteriormente, se tendrá en cuenta dos aspectos, el área que ocupan y la potencia que generan, buscando así aprovechar la mayor cantidad de área posible con una generación alta, en la tabla 8 se pueden observar varias referencias con las características principales entre ellas se encuentran: cantidad y potencia total a entregar. Cabe aclarar que la duración promedio que ofrecen todos los fabricantes es para un periodo de 20 a 25 años con una pérdida de eficiencia gradual en condiciones óptimas [21].

**Tabla 8**

*Características de paneles solares en el mercado*

Fabricante	Referencia	Potencia Panel (W)	Área Panel (m <sup>2</sup> )	Cantidad Paneles	Potencia total (kWp)	Tiempo estimado de entrega
Longi	LR5-72HPH-545	545	2,624	220	119	5 meses
Longi	LR5-72HPH-540	540	2,624	220	118	Inmediata
JA SOLAR	JAM72S30 545/MR	545	2,660	220	119	Inmediata
TRINA SOLAR	DE17M 455W	455	2,154	220	100	2 meses
JINKO	JKM450M-72HLM	450	2,368	220	99	2 meses

*Nota.* Se presentan los datos técnicos y relevantes de los paneles solares más comunes en el mercado

### 8.1.2 Valor del panel solar

El costo de los paneles puede llegar a ser el rubro más alto para un proyecto solar ya que es el insumo básico para la construcción de los sistemas solares fotovoltaicos, es por esto que se precisa realizar un análisis de costos entre las diferentes referencias seleccionadas para la implementación del SSFV - FUA, para esto se presenta la tabla 9 donde se evidencia los diferentes precios que oscilan entre los \$520.000 y \$680.000 COP por unidad.

**Tabla 9***Costo del panel solar*

Fabricante	Referencia	Potencia Panel (W)	Cantidad Paneles	Costo por unidad (COP)	Costo total (COP)
Longi	LR5-72HPH-545	545	220	\$600.000	\$132.000.000
Longi	LR5-72HPH-540	540	220	\$580.000	\$127.600.000
JA SOLAR	JAM72S30 545/MR	545	220	\$520.000	\$114.400.000
TRINA SOLAR	DE17M 455W	455	220	\$520.000	\$114.400.000
JINKO	JKM450M-72HLM	450	220	\$680.000	\$149.600.000

*Nota.* Costo de las diferentes referencias de paneles solares, así como su consolidado global para el proyecto.

### 8.1.3 Evaluación de referencias

Se realizó la comparación de las referencias de panel solares asignándole un puntaje de 1 a 3 siendo 1 el más bajo y 3 el más alto, bajo este criterio se logran obtener los siguientes resultados. En la tabla 10 se muestran los valores asignados y su pu8ntaje total.

**Tabla 10***Puntaje para la selección del panel solar*

Referencia	Valor	Energía anual (kWh)	Tiempo de entrega	Puntaje
LR5-72HPH-545	2	2	1	5
LR5-72HPH-540	2	2	2	6
JAM72S30 545/MR	3	3	3	9
DE17M 455W	3	3	1	7
JKM450M- 72HLM	2	1	3	6

*Nota.* Se presenta el análisis por medio de puntajes para la selección del panel solar

Con los resultados obtenidos se observa que la referencia con las mejores características eléctricas es el JAM72S30 545/MR (fila resaltada en la tabla 10), obteniendo una mayor generación energética con un precio bastante asequible con respecto a las otras referencias del mercado. Se

concluye que la referencia óptima para el proyecto es el panel JAM72S30 545/MR, con el LR5-72HPH-540 como segunda opción.

## **8.2 Inversor**

Para este apartado se realizará la selección del inversor a utilizar, como se mencionaba anteriormente este dispositivo nos va a permitir realizar la transición entre energía DC a energía AC, siendo la parte fundamental del sistema solar fotovoltaico, las marcas utilizadas para el análisis y la propuesta cumplen con todos los requerimientos mínimos para un correcto funcionamiento y para la capacidad de la planta, para este caso se tendrá una capacidad de 100 kWp y su característica será que cuente con un IP 66, esto debido a que el inversor se encontrará a la intemperie donde tendrá que soportar el agua y la radiación solar.

En la selección del inversor se puede encontrar a lo largo del mercado diferentes opciones, desde la parte de ingeniería y haciendo referencia a este sistema solar fotovoltaico para determinar una viabilidad, se contempla la posibilidad de cubrir la demanda de los 100 kWp de dos maneras, la primera optando por 5 inversores con capacidad de 20 kWp y la segunda optando solo con un inversor de 100 kWp.

Se toma la decisión de hacer la elección de un solo equipo que cuente con una capacidad de 100 kWp, así logramos optimizar el espacio en cubierta y el valor será menor, cabe aclarar que si lo miramos desde el ámbito de mantenimiento es más factible realizar el mantenimiento preventivo a un solo equipo en comparación de 5, es por esto que para tener un viabilidad se manejara un solo inversor, teniendo lo anteriormente expuesto en cuenta se presenta la tabla 11 donde se analizan diferentes opciones.

**Tabla 11***Características de inversores en el mercado*

Marca	Referencia	Eficiencia máxima mínima: entre 96-98%.	Normativa: UL 1741-2015, IEEE 1547-2003, EN-IEC 62109-1 o equivalente.	Ratio DC/AC entre 1 y 1,2.	Grado de protección IP66 o NEMA 4X.	Frecuencia de operación: 60 Hz.	Capacidad de monitoreo remoto.	Factor de potencia ajustable.	Garantía mínima: 5 años.
FIMER	PVS-100/120-TL (480V)	SI	SI	SI	IP66	SI	SI	±100%	SI
FIMER	PVS-20/30/33-TL (480V)	SI	SI	SI	IP65	SI	SI	±100%	SI
FIMER	PVS-50/60-TL (480V)	SI	SI	SI	IP65	SI	SI	±100%	SI
FRONIUS	TAURO ECO 100-3-D (400V)	SI	SI	SI	IP65	SI	SI	±100%	SI
FRONIUS	TAURO ECO 50-3-D (400V)	SI	SI	SI	IP65	SI	SI	±100%	SI
HUAWEI	SUN2000-100 KTL (208 V)	SI	SI	SI	IP66	SI	SI	±80%	SI
HUAWEI	SUN2000-20 KTL (208V)	SI	SI	SI	IP65	SI	SI	±80%	SI

*Nota.* Se presentan los datos técnicos y relevantes de los inversores del mercado, según las características del sistema.

### **8.2.1 Niveles de protección IP**

La configuración de inversores teniendo en cuenta espacios y potencias definidas no se puede lograr con referencias de las mismas marcas que cumplan con el grado de protección especificado (IP66). En su lugar los equipos están garantizados para nivel de protección IP65 la cual cumple con las características para las condiciones climáticas y locativas de la instalación, por cual, no es posible encontrar una solución óptima con equipos IP66.

Teniendo en cuenta esto y dado que IP65 equivale a protección total contra el polvo y otras partículas probado contra el flujo de aire continuo y protección contra chorros de baja presión (6,3 mm) de agua dirigida desde cualquier ángulo y que este nivel de protección es suficiente para inversores instalados a la intemperie en zonas de acceso restringido, se considera que este nivel es adecuado para las condiciones de instalación de los equipos del SSFV.

### **8.2.2 Evaluación de inversores**

Los parámetros evaluados para escoger la configuración óptima fueron los siguientes:

- Minimizar la cantidad de inversores: Se logra tener la configuración donde se use un solo inversor de 100 kWp y no 5 unidades de 20 kWp.
- Minimizar el uso de transformadores: Lo ideal de este SSFV es no utilizar un transformador para esto en inversor de 100kWp entrega la energía con un voltaje de 208 V.
- Mantener la razón DC/AC promedio de cada sistema lo más cercano posible a 1,1.
- Evitar inversores con relación DC/AC mayor a 1,2 .

Bajo estos parámetros y con la información de la tabla 11 podemos encontrar el mejor inversor, para este SSFV. Se obtiene como conclusión el uso del siguiente inversor SUN2000-100 KTL (208 V) de la marca Huawei, para la implementación del SSFV FUA.

## 9. SOFTWARE PVSYST 7.3

El software PVsyst está diseñado para ser utilizado por arquitectos, ingenieros e investigadores, también es una herramienta educativa muy útil. Incluye un menú de ayuda contextual detallado que explica los procedimientos y modelos que se utilizan y ofrece un enfoque fácil de usar con una guía para desarrollar un proyecto. PVsyst puede importar datos meteorológicos o si es de preferencia ingresarlos por parte del usuario [22]

En este caso en particular será la herramienta que se utilizara para la simulación del sistema solar fotovoltaico de la Universidad de América sede Eco Campus, utilizando su versión demo la cual se puede descargar de forma gratuita desde el enlace <https://www.pvsyst.com/download-pvsyst/>, este software nos permite crear un SSFV no mayor a 1 MWp en su versión demo, logrando así proporcionar datos puntales y de gran importancia en una viabilidad para dicho sistema, se podrá simular la energía a producir, el cálculo de perdidas, posición solar con datos meteorológicos reales y actualizados, permitiendo introducir datos puntales y generales, en los cuales se puede encontrar gran variedad de módulos solares, inversores, diferentes modos de conexión y el tipo de arreglo solar a utilizar, este último haciendo referencia a sistemas *off grid* y *on grid*.

Una vez suministrados los datos al software, este proporciona un informe detallado, donde se pueden encontrar aspectos de carácter global y técnico, como lo son:

- Resumen del proyecto
- Resumen del Sistema
- Resumen de resultados
- Parámetros generales
- Características del conjunto FV
- Perdidas Generales
- Recorrido solar
- Herramientas graficas
- Datos meteorológicos
- Balance financiero

### 9.1 Simulación en PVsyst

Una vez obtenidos los parámetros iniciales y los equipos seleccionados, se da inicio a la simulación del sistema solar fotovoltaico para la Universidad de América, garantizando resultados precisos y acordes a la instalación.

Una vez se ejecuta el simulador, se procede a seleccionar el tipo de instalación a usar, en este caso *on grid*, ya que será un sistema de autogeneración conectado a la red con entrega de excedentes como se ve en la figura 13.

**Figura 13**

*Selección tipo de sistema fotovoltaico*

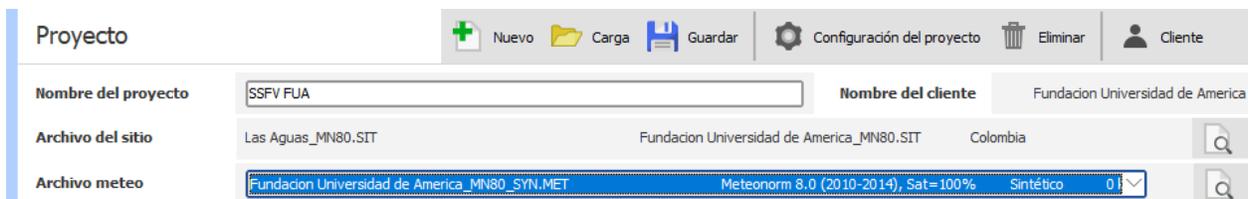


*Nota.* Se muestra el panel de utilidades y el tipo de sistema fotovoltaico a seleccionar. Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo.

Posteriormente se organizan los datos iniciales del proyecto, en esta pestaña se encontrará nombre del proyecto, ubicación, cliente y datos geográficos para determinar sus condiciones, el simulador toma como base de datos estaciones meteorológicas cercas para que lograr un valor muy real, esto gracias a la base de datos Neteo Data como se observa en la figura 14.

**Figura 14**

*Panel datos iniciales del sistema*

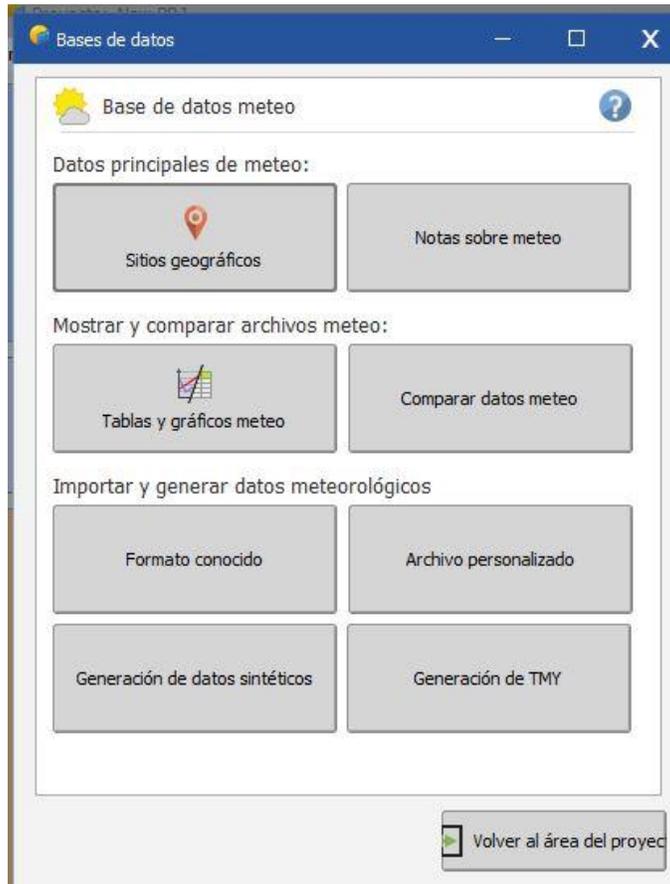


*Nota.* Panel de datos iniciales para el sistema. Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo

Para la selección de los datos meteorológicos, PVsyst ofrece un catálogo predeterminado de diferentes ubicaciones para seleccionar, sin embargo, Bogotá no se encuentra en ella, es por esto que se recurre a ubicar por medio de sitios geográficos.

**Figura 15**

*Base de datos meteorológica*



*Nota.* Se presenta la base de datos de Metodata, Incorporada en PVsyst. . Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo

Una vez se abre dicha pestaña, se procede a ubicar la localización mediante las coordenadas geográficas, como se muestra en la figura16, Meteo Data genera los valores de latitud y altitud. En la siguiente pestaña, se muestran los valores de irradiación y de temperatura, dichos valores son modificables, sin embargo, se recomienda trabajar con los valores del sistema, en la figura 17, se observan los valores establecidos para localización del sistema, una vez son revisados se procede a guardar e importar los datos.

**Figura 16**

*Localización geográfica del sistema*

Coordenadas geográficas | Meteo mensual | Mapa interactivo

**Ubicación**

Nombre del sitio:

País:  Región:

**Coordenadas geográficas**

Latitud: Decimal  [°] Grad. Min. Seg.    (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)

Longitud:  [°]    (+ = Este, - = Oeste de Greenwich)

Altitud:  M por encima del nivel del mar

Zona horaria:    Corresponde a una diferencia promedio  
Hora Legal - Hora Solar = 0h -3m

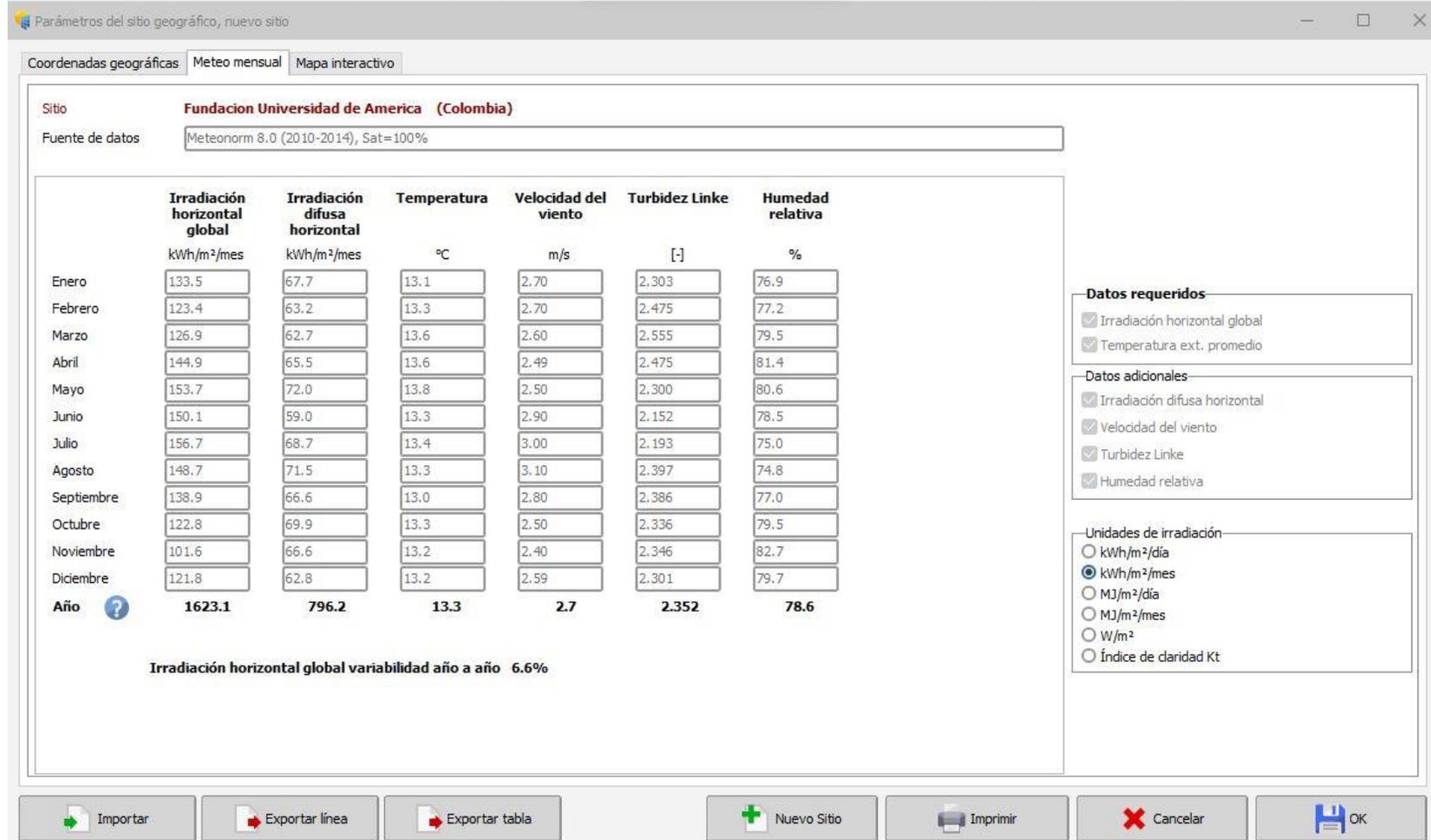
**Importación de datos meteo**

Meteonorm 8.0  
 NASA-SSE  
 PVGIS TMY  
 NREL / NSRDB TMY  
 Solcast TMY

*Nota.* Se ubica en punto geográfico por medio de coordenadas. Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo

**Figura 17**

*Valores meteorológicos mensuales*



*Nota.* Se presentan los valores mensuales del punto geográfico a simular. Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo

Seguidamente, se procede a establecer las variables en el Software, para la simulación se puede contar con dos variables básicas la cual es orientación y datos del sistema, sin embargo, el software permite ingresar más variables predeterminadas según los datos que se conozcan y crear variables según la necesidad del proyecto. En la figura 18, se pueden observar las variables que PVsyst solicita para llevar a cabo la simulación, las cuales están resaltadas en color rojo.

**Figura 18**

*Parámetros principales del sistema*



**Nota.** Se presenta el panel de variables a modificar para obtener una simulación.

Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo

En los parámetros de configuración asociados a la variable de orientación, se encuentra el tipo de plano a utilizar, ya que este sistema se planea sea un sistema fijo sin seguidor solar será un plano inclinado fijo, como se determinó anteriormente en los parámetros iniciales se manejarán 10 ° de inclinación y una orientación del azimut de 0.

**Figura 19**

*Variable de orientación e inclinación*

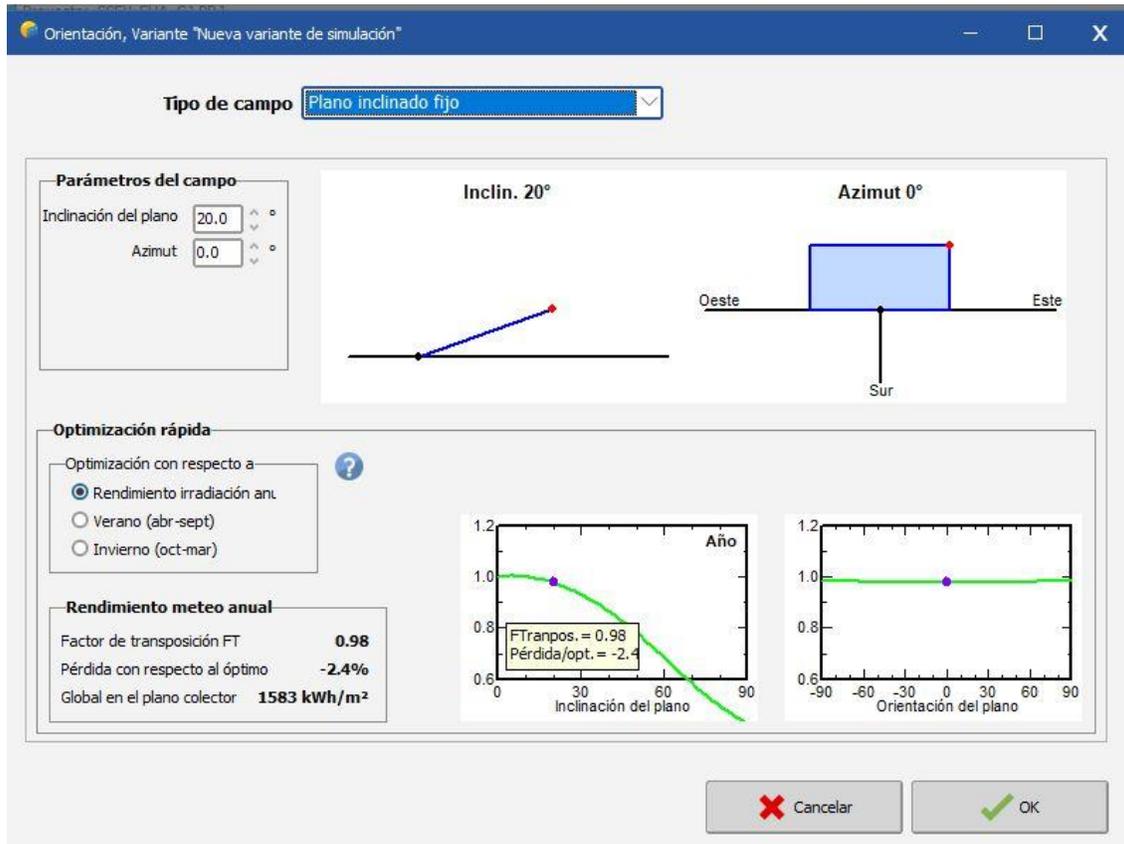


*Nota.* Se presentan los tipos de orientación a utilizar en un SSFV Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo

La Figura 20 indica el tipo de inclinación que se le dará a los paneles, cabe resaltar que la inclinación la dará la estructura a utilizar; el azimut se manejará de manera parcial generando un valor de entre el este y oeste. Esta pestaña indica el rendimiento que tendrá en verano o invierno con este sistema al igual, que sus orientación e inclinación por medio de gráficas anuales. Esto corroborado con los parámetros iniciales tomados y los datos de orientación e inclinación más favorable para un sistema solar fotovoltaico.

**Figura 20**

*Panel de orientación e inclinación*



*Nota.* Se presentan las gráficas de azimut y orientación que tendrá el SSFV Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo

En la siguiente variable de orientación, se puede determinar los parámetros del sistema a configurar, esto se basa en la selección de módulos e inversores, para esto el software cuenta con un amplio catálogo de referencias comerciales, sin embargo, se pueden ingresar los datos de los equipos, en el caso que no se encuentre el módulo, para el SSFV FUA, se encontró tanto el inversor como el módulo solar, seleccionados anteriormente, de acuerdo a la selección previa de equipos para este sistema.

Para esta simulación se cuenta con la cantidad de módulos y el área definida, por ende, no se activa la ayuda de pre- dimensionamiento, esta ayuda se da cuando se presenta cuando no se conoce la cantidad de módulos a emplear, pero si el área disponible.

En la figura 21 se puede observar el panel de selección del módulo fotovoltaico el cual anteriormente se selección bajo los criterios estipulados, el software tiene un catálogo de diferentes marcas comerciales, lo cual nos permite encontrar el panel adecuado y así mismo importar los datos técnico de manera automática.

## Figura 21

### Selección del módulo FV

Selección del módulo FV

Disponible ahora  Filtro: Todos los módulos F

JA Solar  545 Wp 35V Si-mono JAM72S30-545/MR Desde 2020 TÜV SÜD Certificat

Usar optimizador

Voltajes de dimensionamiento : Vmpp (60°C) 36.2 V  
Voc (-10°C) 54.6 V

*Nota.* Se presenta la selección del módulo solar a instalar. Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo  
Seguidamente a la selección del módulo FV, se procede a seleccionar el inversor que se ira a utilizar el sistema solar fotovoltaico, cabe aclarar que anteriormente se realiza la evaluación para la selección de dicho equipo, así como la viabilidad de instalación y características requeridas para este sistema FV. Ver figura 22 y figura 23.

## Figura 22

### Selección del inversor

Selección del inversor

Disponibles ahora  Voltaje de salida 400 V Tri 50Hz  50 Hz  60 Hz

Huawei Technologies  100 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz SUN2000-100KTL-M1-400Vac Desde 2019

Núm. de entradas MPPT   Voltaje de funcionamiento: 200-1000 V Potencia del inversor utilizada 10.0 kWca

Utilizar característica multi-MPPT Voltaje máximo de entrada: 1100 V inversor con 10 MPPT

*Nota.* Se presenta la selección del inversor a utilizar en el sistema. Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo  
En esta sección del Software se procede a calcular el número de paneles que irán conectados en cadena, en otras palabras el número de paneles que contara cada string, luego de esto definimos el número de cadenas o string que se van a tener en la configuración, basados en la selección del inversor este cuenta con 10 MPPT lo cual nos permite poder tener un mayor número de cadenas y de esta manera no aumentar el voltaje de entrada al inversor, evitando perdidas de energía por calentamiento del cableado y así mismo puntos calientes en el sistema.

**Figura 23**

*Diseño del conjunto FV*

Diseño del conjunto	
<b>Núm. de módulos y cadenas</b>	
Mód. en serie	11 <input type="checkbox"/> entre 6 y 20
Núm. de cadenas	20
Perdida sobrecarga	0.3 %
Proporción Pnom	1.20
<b>Núm. de módulos 220    Área 569 m<sup>2</sup></b>	

Condiciones de operación	
Vmpp (60°C)	398 V
Vmpp (20°C)	463 V
Voc (-10°C)	601 V
Irradia. plano	<b>1000 W/m<sup>2</sup></b>
Imp (STC)	265 A
Isc (STC)	279 A
Isc (en STC)	279 A

*Nota.* Se muestra el diseño del conjunto FV. Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo

Finalmente, como se observa en la figura 24, el Software nos presenta el resumen de los parámetros configurador para el sistema, una vez son verificados, damos inicio a la simulación y poder generar un análisis de los resultados.

**Figura 24**

*Parámetros del sistema*

Parámetros de simulación	
<b>Proyecto</b>	<b>SSFV FUA</b>
Sitio	Fundacion Universidad de America
Tipo sistema	Conectado a la red
Simulación	01/01/80 al 31/12/59
<b>Conjunto FV</b>	
Módulos FV	JAM72S30-545/MR
Potencia nominal	120 kWp
Voltaje MPP	41.3 V
Corriente MPP	13.2 A
Inversor	SUN2000-100KTL-M1-400Vac
Inv. unidad de potencia	100.0 kW
Núm. de entradas MPPT	10

*Nota.* Se presenta el resumen de los parámetros configurados en el Software. Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo

## 9.2 Resultados de la Simulación

Luego de realizada la configuración de los parámetros totales en el Software, este entrega un informe completo arrojando resultados concretos y decisivos para el momento de ejecutar el proyecto. Entre los resultados podemos encontrar los siguientes puntos.

- **Configuración del sistema:** Se presenta la configuración del sistema basados en los datos previamente obtenidos, el sistema cuenta con una configuración correcta, así mismo que el nivel de voltaje por MPPT no supera el permitido por el inversor y que su potencia final en AC representa 100 kWp con un voltaje máximo por string de 749 V. Ver figura 25.

**Figura 25**

*Características del sistema FV*

<b>Características del conjunto FV</b>			
<b>Módulo FV</b>		<b>Inversor</b>	
Fabricante	Jinkosolar	Fabricante	Huawei Technologies
Modelo	JKM-545M-72HL4-TV	Modelo	SUN2000-100KTL-M1-400Vac
	(Base de datos PVsyst original)		(Base de datos PVsyst original)
Unidad Nom. Potencia	545 Wp	Unidad Nom. Potencia	100 kWca
Número de módulos FV	220 unidades	Número de inversores	10 * MPPT 10% 1 unidad
Nominal (STC)	120 kWp	Potencia total	100 kWca
Módulos	11 Cadenas x 20 En series	Voltaje de funcionamiento	200-1000 V
<b>En cond. de funcionam. (50°C)</b>		Potencia máx. (=>30°C)	110 kWca
Pmpp	109 kWp	Proporción Pnom (CC:CA)	1.20
U mpp	749 V		
I mpp	146 A		
<b>Potencia FV total</b>		<b>Potencia total del inversor</b>	
Nominal (STC)	120 kWp	Potencia total	100 kWca
Total	220 módulos	Núm. de inversores	1 Unidad
Área del módulo	567 m <sup>2</sup>	Proporción Pnom	1.20

*Nota.* Se evidencian las características generales dadas para la simulación. Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo

- **Perdidas en conjunto:** Las pérdidas que presenta el sistema solar fotovoltaico en conjunto son muy bajas en relación a su tamaño de esto dependen los arreglos solares, pérdidas por temperatura y la pérdida por el módulo, teniendo factores que no superan el 1%, la pérdida por inclinación oscila de la misma manera en un 0.1 % con respecto a la general, siendo esto un dato optimo e indicando que la inclinación seleccionada para dicha zona fue la correcta. Ver figura 26.

**Figura 26**

*Perdidas del sistema FV*

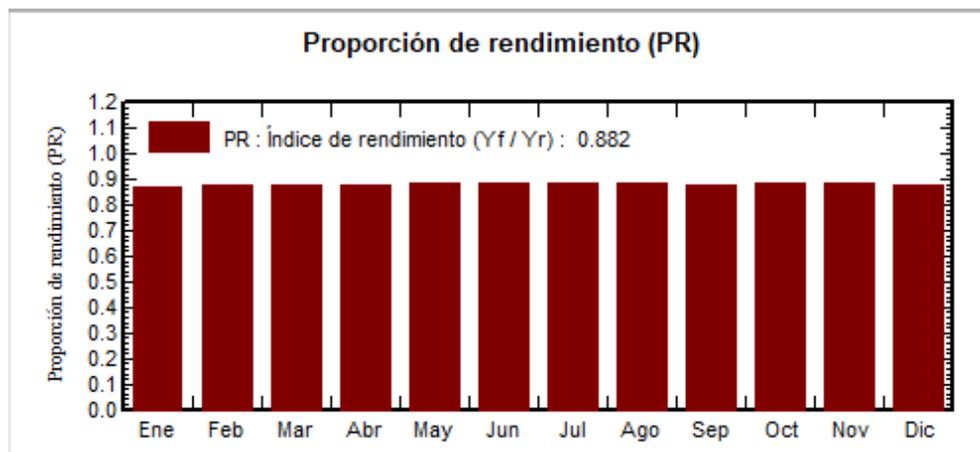
Pérdidas del conjunto								
<b>Factor de pérdida térmica</b>			<b>Pérdidas de cableado CC</b>			<b>Pérdida de calidad módulo</b>		
Temperatura módulo según irradiancia			Res. conjunto global 85 mΩ			Frac. de pérdida -0.8 %		
Uc (const)	20.0 W/m²K		Frac. de pérdida			1.5 % en STC		
Uv (viento)	0.0 W/m²K/m/s							
<b>Pérdidas de desajuste de módulo</b>			<b>Pérdidas de desajuste de cadenas</b>					
Frac. de pérdida 2.0 % en MPP			Frac. de pérdida 0.1 %					
<b>Factor de pérdida IAM</b>								
Efecto de incidencia (IAM): Recubrimiento Fresnel AR, n(vidrio)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

*Nota.* Se presenta los factores de perdida considerados para el SSFV. Tomado de Software PVsyst. 7.3 versión Demo

- **Proporción de rendimiento:** En este ítem se puede analizar la relación de rendimiento que debe tener el sistema solar fotovoltaico en su función normal diaria, este rendimiento, se mantiene optimo entre un 80 % y 100% en condiciones normales, para el caso del SSFV FUA nos arroja un PR del 85% conociendo las condiciones climáticas y geográficas, esto es un resultado muy favorable indicando que su rendimiento estará en el promedio teniendo un aprovechamiento de la irradiación solar.

**Figura 27**

*Proporción de rendimiento*



*Nota.* Grafica de proporción de rendimiento. Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo

- **Resultados de energía:** Los resultados mes a mes de energía que va a producir el SSFV, para esto se observa en la columna de Egrid (energía inyecta a la red) que será la que indique la

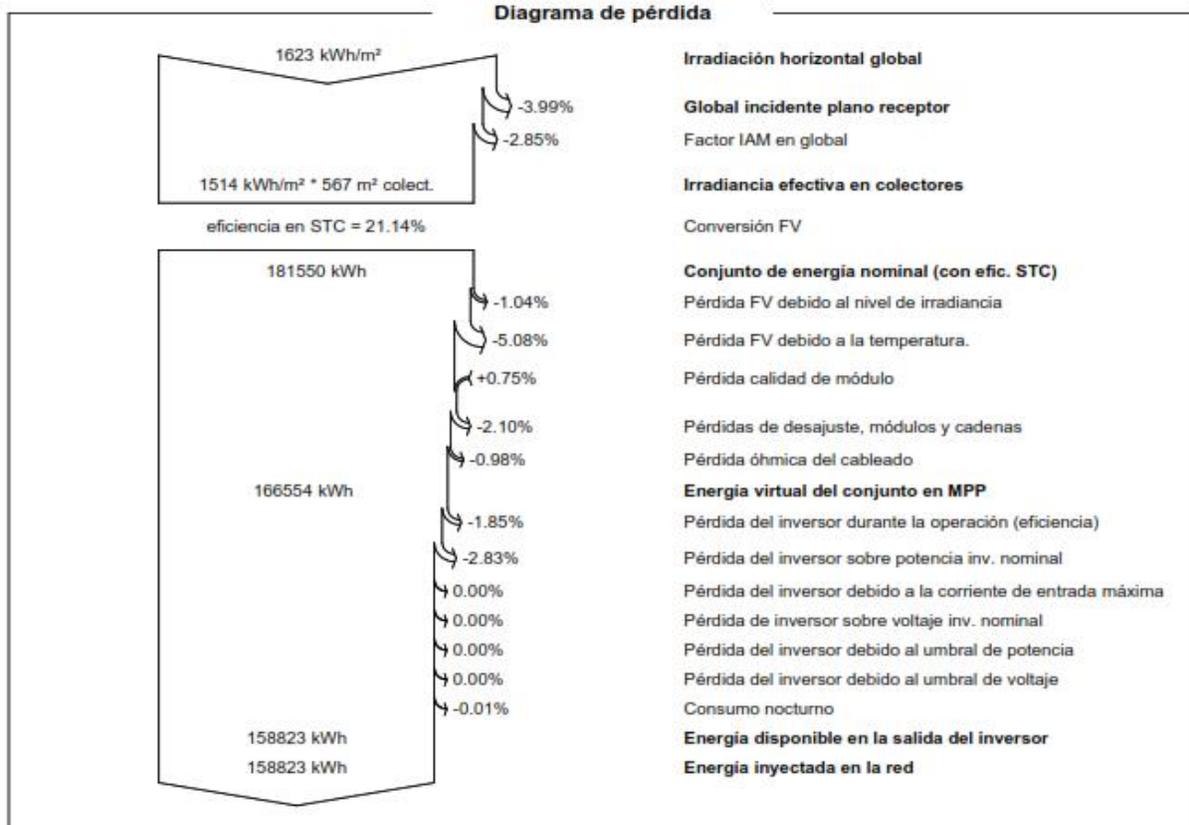
energía real producida incluyendo las pérdidas que para este caso, el mes más favorable será el enero, con una producción de 14598 kWh. Esta será la energía inyectada a la red, para este sistema de auto generación con un PR en el mes de 83%.

- **Diagrama de pérdida:** En el diagrama de pérdidas como su nombre lo indica puede identificar todas las perdidas en el sistema, tanto por componentes como por la ubicación geográfica y condiciones ambientales, estas pérdidas se realizan bajo los parámetros ya antes mencionados y planeados en el momento de la simulación, es por esto que para el caso en particular del SSFV - FUA, la pérdida mayor se presenta en la temperatura que genera el módulo solar al momento de recibir la irradiación con un 5%, como se puede ver en la figura 28, no obstante es menor que el de otras ciudades de clima cálido, donde esta pérdida puede llegar a ser hasta del 10 % presentando unas condiciones óptimas y normales. Ver figura 28.

Con esto se da por finalizada la simulación utilizando el software PVsyst, los datos recopilados serán un insumo en el momento de realizar el diseño y la distribución de los módulos, así como su plano de conexión, esto para lograr obtener un resultado final y concluir con la viabilidad del sistema solar fotovoltaico.

**Figura 28**

*Diagrama de pérdidas*



*Nota.* Representación graficas de las pérdidas de energía que tendrá el sistema durante su funcionamiento.

Tomado de Software PVsyst 7.3 versión Demo

## **10. ELABORACION DE PLANOS DE DETALLE DEL SSFV**

Los datos de la simulación y parámetros antes recopilados darán el inicio de la elaboración de los planos del SSFV, ya que se conoce la generación de energía, cantidad de módulos y equipos, se puede tener un diseño acertado utilizando el área disponible de las cubiertas de la Universidad de América, para esto se elaboraran 3 planos, un Layout general de cada área con la distribución de sus módulos solares, un segundo plano que muestre las fijaciones mecánicas entre los módulos e inversor en cubierta y por último un plano de conexiones en circuito DC permitiendo establecer la mejor ruta para que cada cadena llegue al inversor.

### **10.1 Distribución de paneles solares**

Primero se elabora la distribución de los paneles solares sobre las cubiertas, teniendo en cuenta la distribución inicial que se presentó en el apartado de Layout general, basados en este diseño y observando que la simulación con dicha distribución arroja valores positivos para la generación de energía, esta se decide mantener, sin embargo, al momento de la selección final del panel, el tamaño aumenta, siendo estas mayores, el tamaño seleccionado es de 1134 mm x 2279 mm, partiendo de esto se realiza por medio de AutoCAD un reajuste en el Layout, conservando la distancia entre paneles de 5 centímetros como máximo.

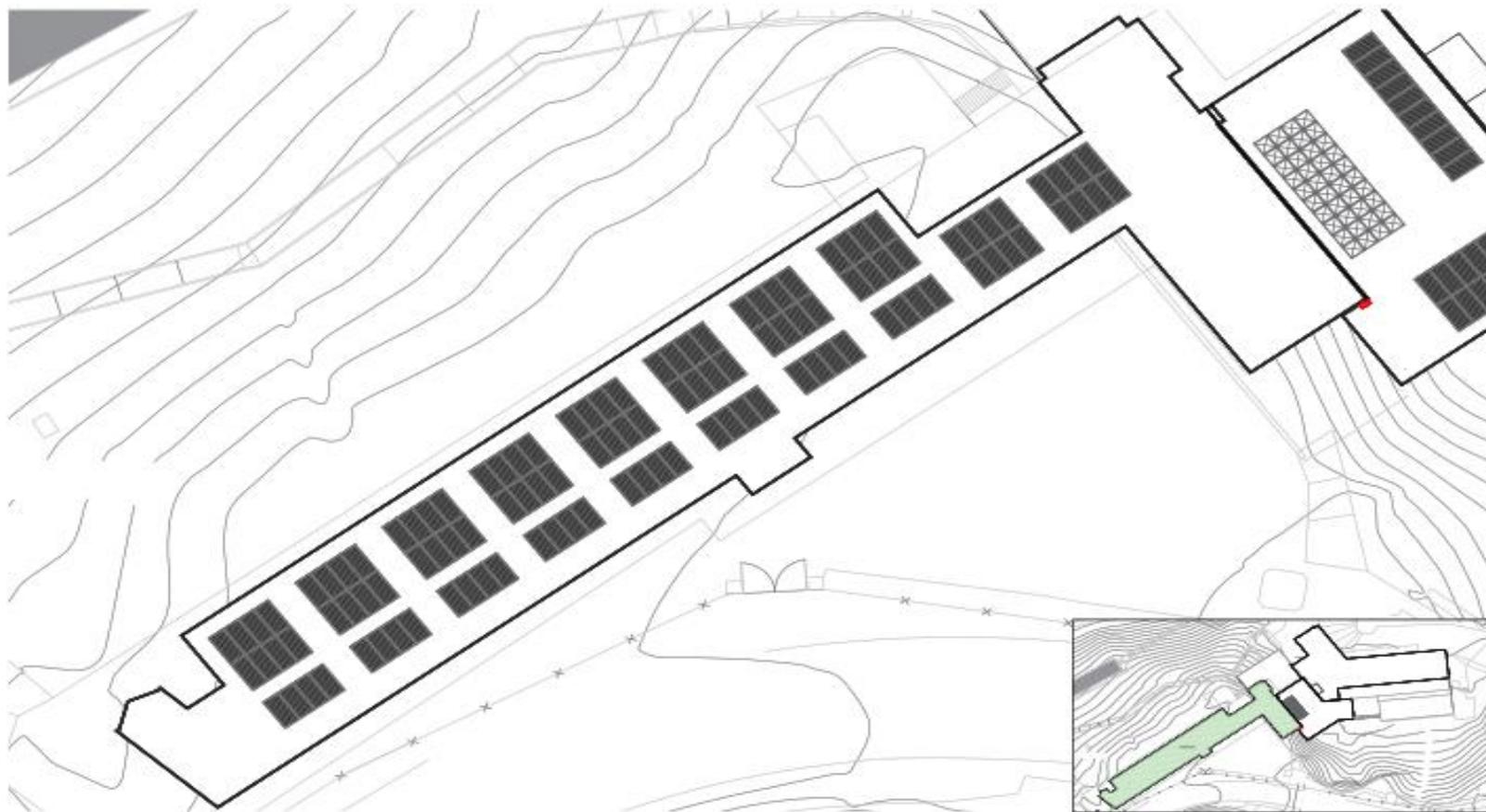
Para el área 1 correspondiente al edificio de arquitectura, se propone la distribución de 112 paneles ubicados en 10 camas diferentes, con el fin de lograr tener un espacio de mantenimiento del sistema solar fotovoltaico. En la figura 29 se puede apreciar la distribución de los elementos con respecto a la cubierta y también se asegura que se mantengan distancias adecuadas entre ellos para evitar sombras que podrían disminuir la producción de energía.

En el área 2 correspondiente al edificio de administración, se distribuyen 28 paneles solares, en esta cubierta se encuentra la peculiaridad, que cuenta con una construcción de gran altura generando así una sombra sobre ella, por este motivo solo se podrá instalar dicha cantidad de paneles, garantizando así la calidad en la producción, es importante resaltar que sobre esta cubierta se propone instalar el inversor que recoge todas las cadenas del circuito DC. Ver figura 30.

Finalmente se realiza la distribución sobre la área 3, correspondiente al edificio de biblioteca instalando un total de 80 módulos, cumpliendo así la demanda total de 220 módulos, cantidad que se tuvo en cuenta para la simulación energética, esta área brinda la posibilidad de poder distribuir los paneles de manera uniforme y resguardando las distancias necesarias para el mantenimiento del SSFV como se observa en la figura 31.

## Figura 29

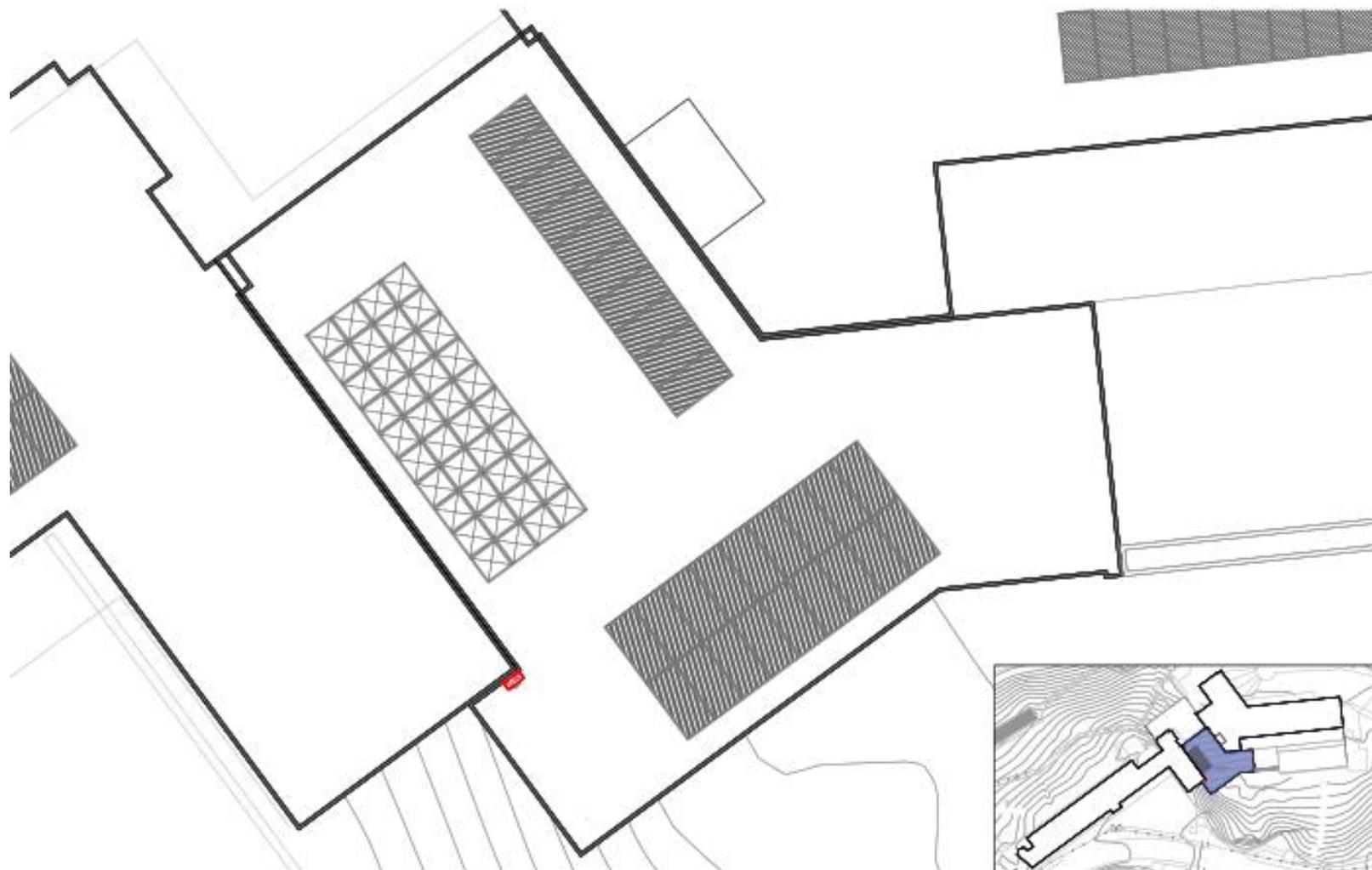
### Layout área 1



*Nota.* Distribución de los módulos solares en la cubierta del edificio de arquitectura.

**Figura 30**

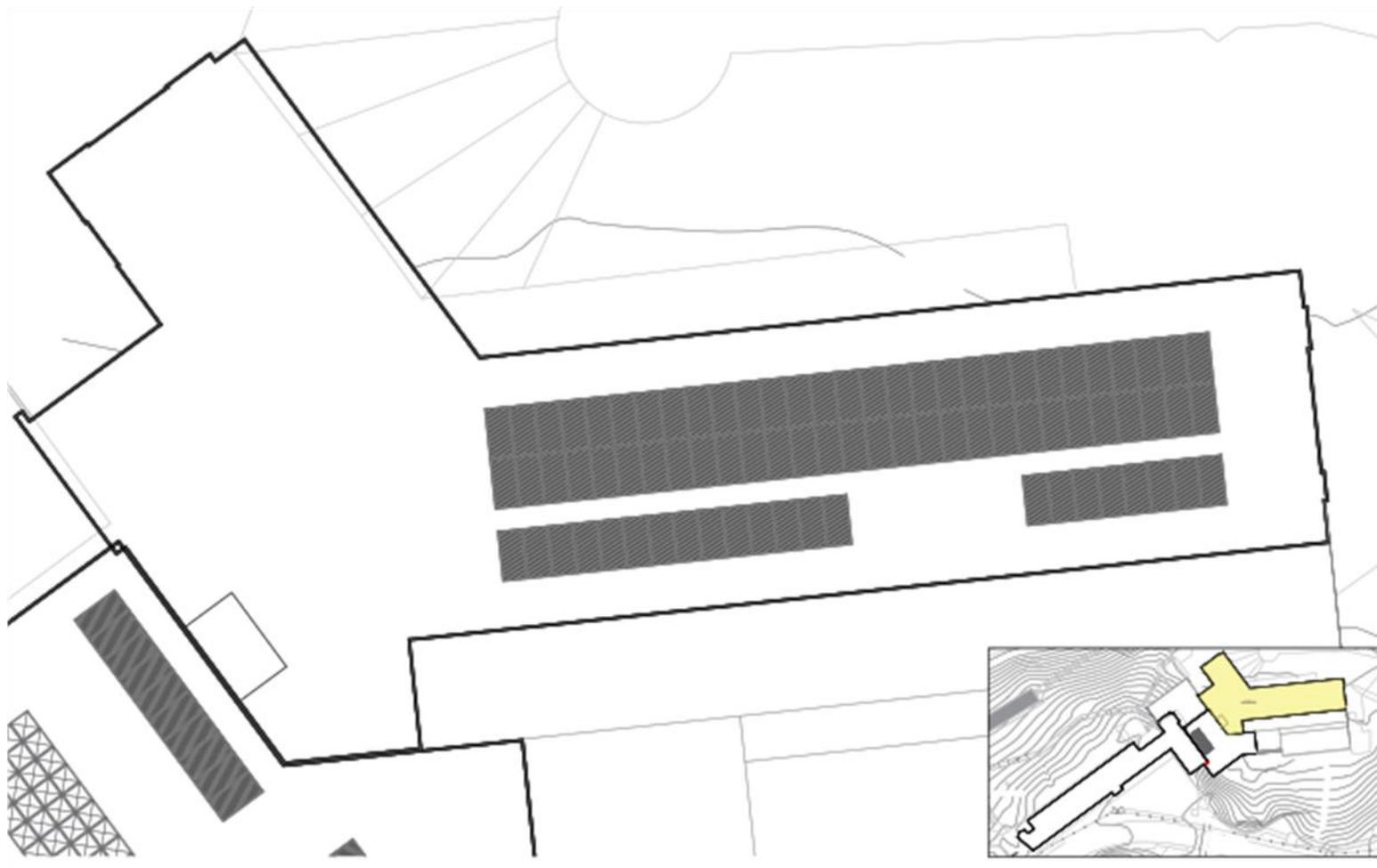
*Layout área 1*



*Nota.* Distribución de los módulos solares en la cubierta del edificio de administración.

**Figura 31**

*Layout área 3*

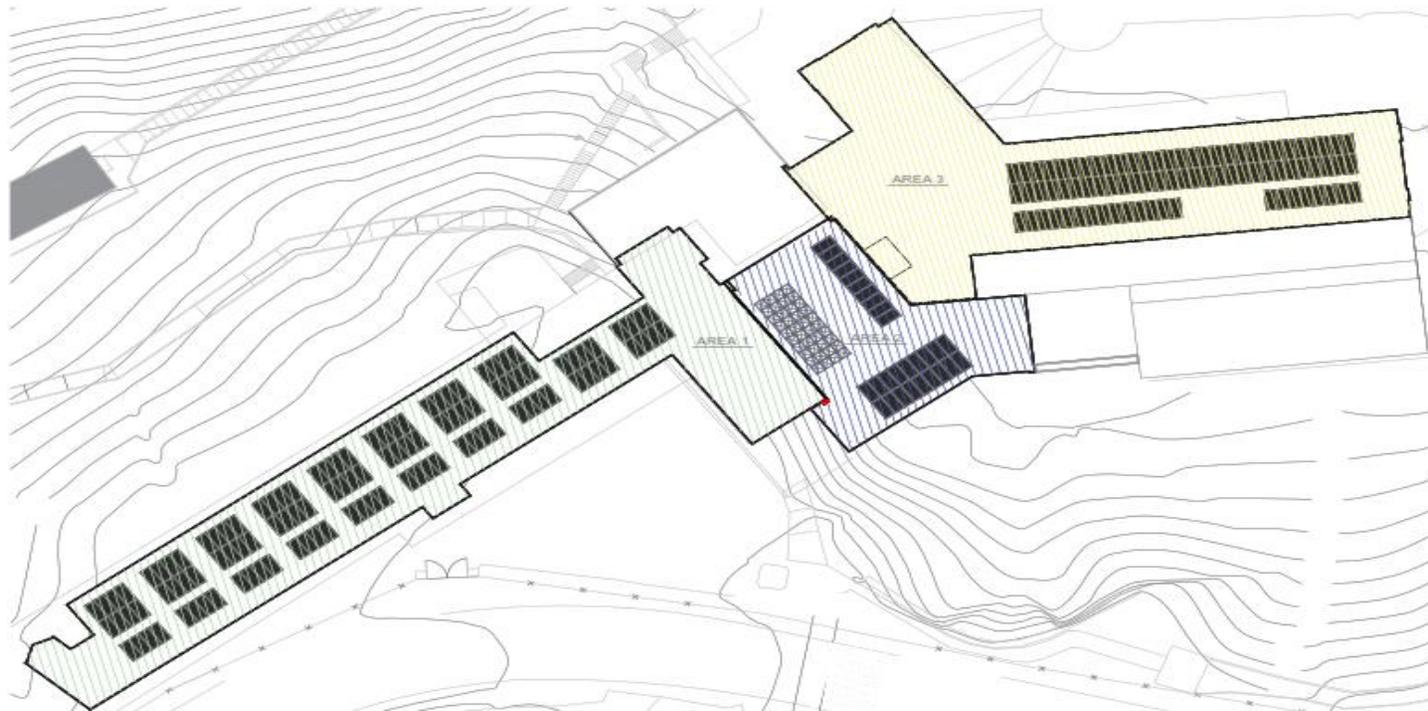


*Nota.* Distribución de los módulos solares en la cubierta del edificio de biblioteca.

Reuniendo la información presentada anteriormente se elabora el plano de la distribución de módulos solares para el SSFV - FUA, contando con 220 módulos de 545 W a lo largo de las cubiertas de la Universidad, se puede ver en la figura 32, el consolidado de todas las cubiertas con la distribución de los módulos solares y la ubicación del inversor Huawei SUN 2000 – 100 kW (marca de color rojo en el plano). Culminando así un Layout general para el sistema.

**Figura 32**

*Layout general*



*Nota.* Distribución de los módulos solares en la cubierta de la Universidad de América.

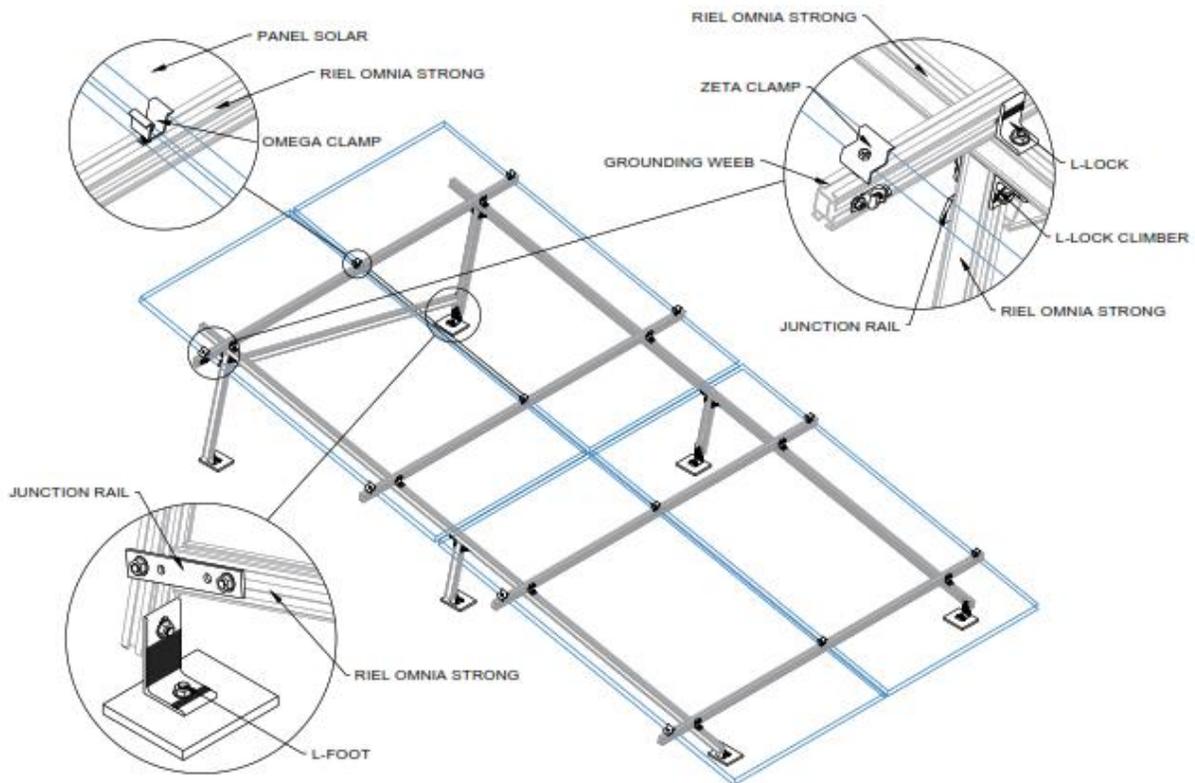
## 10.2 Plano fijaciones mecánicas

Una vez se cuenta con la cantidad de paneles a utilizar y se tiene su distribución, se procede a realizar el plano de fijaciones mecánicas, para este plano se tendrá en cuenta el inversor a utilizar y la distribución de los paneles, se muestra a detalle la estructura, para este caso se escoge una estructura convencional, esta estructura cuenta con la separación necesaria entre paneles según el diseño previo.

Se realiza un isométrico de la misma mostrando a detalle los accesorios que se van a utilizar para la fijación de los paneles en su instalación, así como el detalle de la instalación del inversor al muro, para su correcta implementación se muestra la cantidad de tornillos a utilizar y el ensamble a realizar por medio de un isométrico en explosión, por último, se muestra la fijación que tendrán las bandejas porta cables en su recorrido desde los módulos hasta el inversor. Ver figura 33 y 34.

### Figura 33

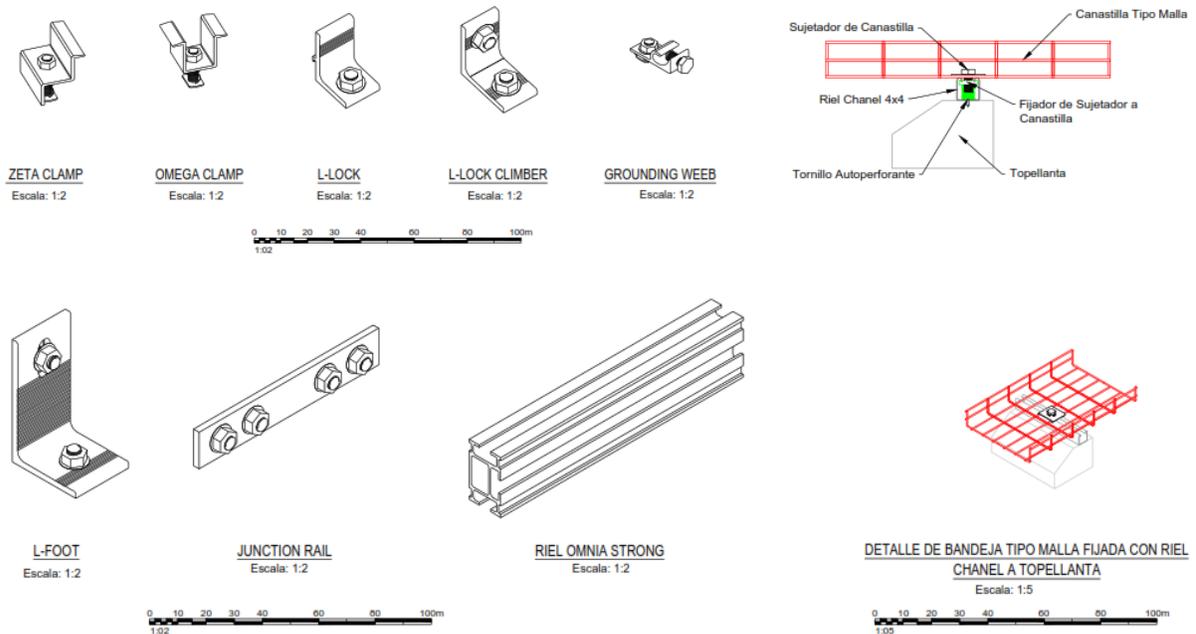
*Isométrico de la estructura*



*Nota.* Se presenta el plano Isométrico de la estructura, así como el detalle de sus accesorios, cada elemento se presenta con mayor detallan la figura 34.

## Figura 34

### Plano detalle de accesorios estructura



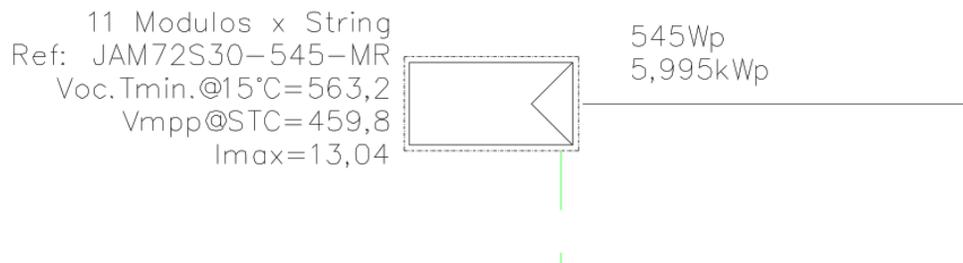
*Nota.* Plano de detalle con elementos y accesorios de fijaciones mecánicas.

### 10.3 Plano unifilar DC

En el plano unifilar, se observan las cadenas a implementar, para el sistema se tendrán 20 cadenas (string), cada una conectada con 11 módulos solares, los cuales se conectarán en serie, produciendo un voltaje máximo de 563,2 V, a una temperatura de 15 ° C, la figura 35 muestra las características técnicas de las cadenas a conectar.

## Figura 35

### Unifilar de las cadenas solares

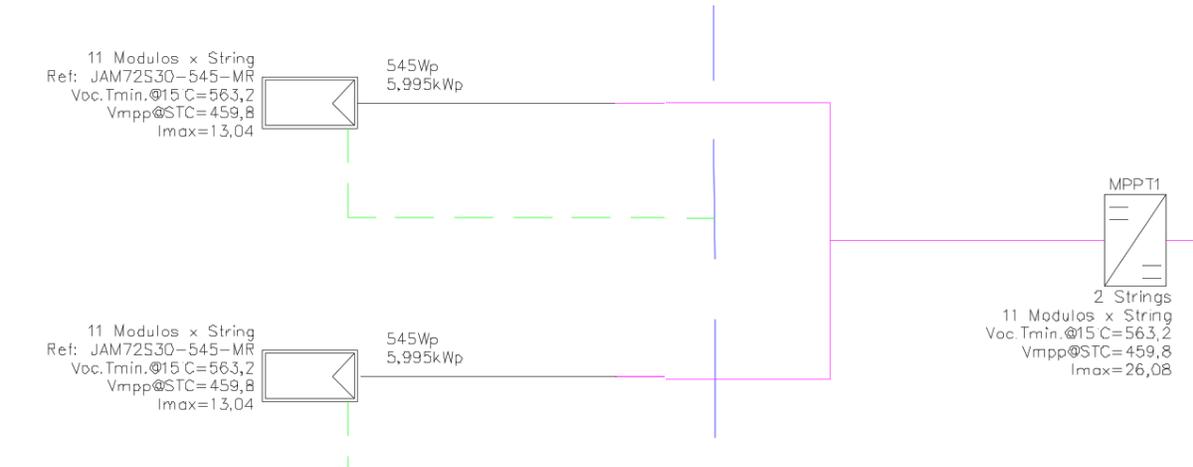


*Nota.* Se presentan los datos técnicos que llevarán las cadenas en los unifilares. A continuación, se presenta el diagrama unifilar y su conexión a las entradas MPPT del sistema, ya que se cuenta con 20 cadenas de 11 paneles todas las entradas manejarán un mismo voltaje y nivel

de corriente para este caso contamos con 10 MPPT que tendrán 2 cadenas y como máximo una corriente de 13.04 A, llegando así al inversor donde se convierte esta corriente en corriente alterna, para así llegar a un tablero agrupado, como se muestra en la figura 36.

**Figura 36**

*Diagrama unifilar conexión MPPT*



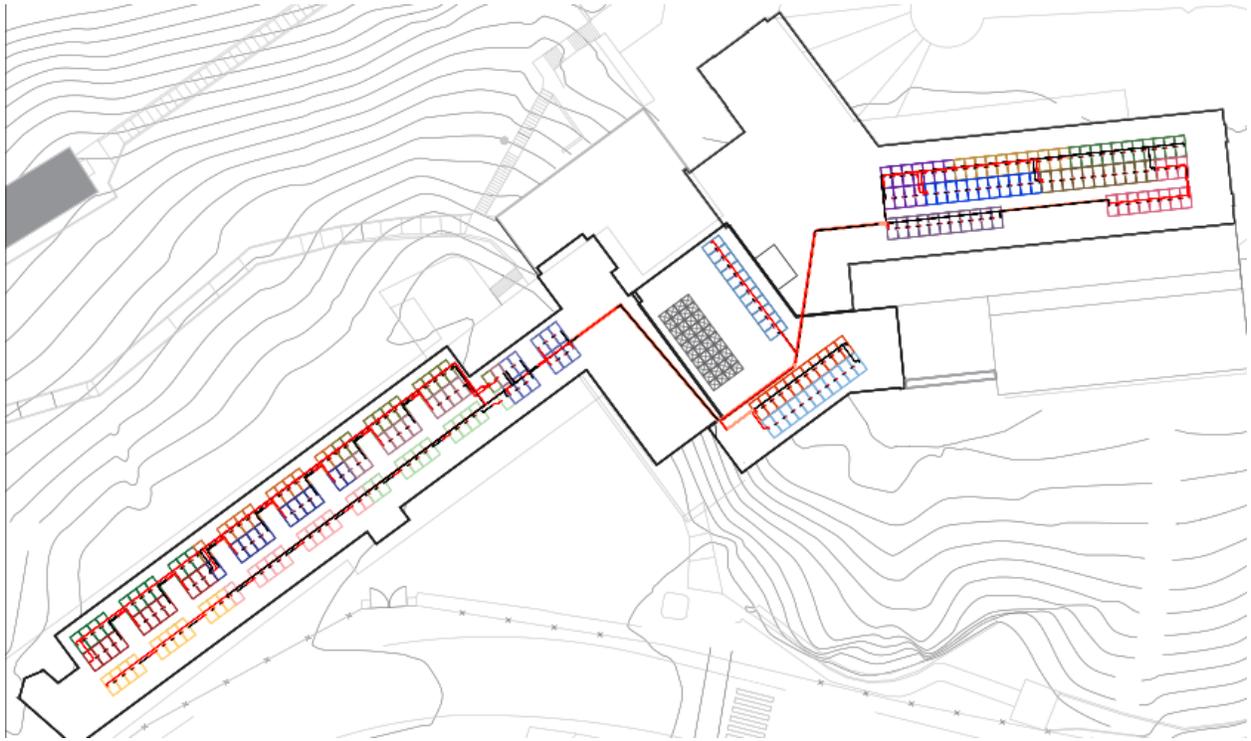
*Nota.* Se presenta la conexión de las cadenas al inversor por medio del MPPT

#### 10.4 Plano conexiones DC

Una vez realizado el unifilar y teniendo la cantidad de módulos por string, se procede a realizar el plano de conexión, en este plano se muestran las cadenas y su recorrido en cubierta hasta llegar al inversor, estas cadenas como se muestra se recogerán por medio de bandejas porta cables. El tipo de conexión entre los paneles será convencional y en serie, garantizando que no se tenga un aumento en la corriente, pero si en el voltaje al momento de llegar al inversor. Ver figura 37.

**Figura 37**

*Diagrama de conexión DC*



*Nota.* Diagrama de conexión en cubierta del cableado DC.

## 11. ANALISIS FINANCIERO

En este apartado se encuentra el análisis financiero del SSFV para su implementación y puesta en marcha, este tendrá dos aspectos el primero será un cálculo promedio global del ahorro en cifras mensuales a lo largo del año y como complemento a esta información en la sección de anexos se presenta un plan de adquisiciones de los componentes del sistema.

Para la elaboración del costo de energía mensual y anual del primer año, se estable un precio por kWh de \$750 COP, que es un precio global del mercado energético, con este valor y conociendo anteriormente la generación producida mensualmente y anualmente gracias a la simulación realizada en el software PVsyst 7.3 versión DEMO, se puede apreciar en la figura 38 la gráfica de ahorro en un año y en la tabla 12 el resumen de costo anual de la energía que se está generando, con una proyección global estimada a 25 años, siendo esta la vida útil prevista del sistema solar fotovoltaico.

**Figura 38**

*Ahorro anual con el sistema FV*



*Nota.* Ahorro anual, presentado mes a mes.

**Tabla 12***Ahorro del costo de energía a 25 años*

	Valor \$ COP					
	Año 1	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20	Año 25
Enero	\$ 11.445.000	\$ 11.069.731	\$ 10.617.900	\$ 10.184.511	\$ 9.768.812	\$ 9.370.080
Febrero	\$ 10.500.000	\$ 10.155.716	\$ 9.741.192	\$ 9.343.588	\$ 8.962.213	\$ 8.596.404
Marzo	\$ 11.325.000	\$ 10.953.665	\$ 10.506.572	\$ 10.077.727	\$ 9.666.387	\$ 9.271.836
Abril	\$ 12.105.000	\$ 11.708.090	\$ 11.230.203	\$ 10.771.822	\$ 10.332.151	\$ 9.910.426
Mayo	\$ 13.575.000	\$ 13.129.890	\$ 12.593.970	\$ 12.079.925	\$ 11.586.861	\$ 11.113.922
Junio	\$ 12.945.000	\$ 12.520.547	\$ 12.009.499	\$ 11.519.309	\$ 11.049.128	\$ 10.598.138
Julio	\$ 14.085.000	\$ 13.623.168	\$ 13.067.114	\$ 12.533.756	\$ 12.022.168	\$ 11.531.462
Agosto	\$ 14.107.500	\$ 13.644.930	\$ 13.087.988	\$ 12.553.778	\$ 12.041.373	\$ 11.549.883
Septiembre	\$ 11.700.000	\$ 11.316.369	\$ 10.854.471	\$ 10.411.427	\$ 9.986.466	\$ 9.578.850
Octubre	\$ 10.987.500	\$ 10.627.231	\$ 10.193.462	\$ 9.777.398	\$ 9.378.316	\$ 8.995.523
Noviembre	\$ 9.142.500	\$ 8.842.727	\$ 8.481.795	\$ 8.135.596	\$ 7.803.527	\$ 7.485.012
Diciembre	\$ 10.702.500	\$ 10.351.576	\$ 9.929.058	\$ 9.523.786	\$ 9.135.055	\$ 8.762.192
<b>Total</b>	<b>\$ 142.620.000</b>	<b>\$ 137.943.641</b>	<b>\$ 132.313.224</b>	<b>\$ 126.912.622</b>	<b>\$ 121.732.456</b>	<b>\$ 116.763.727</b>

*Nota.* Tabla del ahorro energético del sistema proyectado a 25 años y su consolidado.

Teniendo en cuenta la figura 38 y la tabla 12, se observa la rentabilidad del sistema en cuanto se refiere al ahorro de costos, esto representando un ahorro de más de \$ 100 000 000 COP durante un año, contemplando meses donde el ahorro llegara hasta los \$ 14 000 000 COP, permitiendo recuperar la inversión realizada en el SSFV y generando un ahorro al futuro en costos de energía.

## 12. ANALISIS AMBIENTAL

Siguiendo los lineamientos para contemplar la viabilidad del sistema solar fotovoltaico, se realiza un análisis ambiental el cual nos ayudará a comprender mejor el impacto que este tendrá tanto para la universidad como para el medio ambiente, esto se logra gracias a un estudio en cuanto a la reducción del CO<sub>2</sub> a la atmosfera, gracias a los datos de la UPME se establece el número de toneladas por MWh producidos en un sistema solar fotovoltaico. Arrojando resultados positivos como se observa en la Tabla 14.

**Tabla 13**

*Ahorro de emisiones CO<sub>2</sub>*

	Emisiones de Co2 evitadas Toneladas					
	Año 1	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20	Año 25
Enero	10,10	9,77	9,37	8,99	8,62	8,27
Febrero	9,27	8,96	8,60	8,25	7,91	7,59
Marzo	10,00	9,67	9,27	8,90	8,53	8,18
Abril	10,68	10,33	9,91	9,51	9,12	8,75
Mayo	11,98	11,59	11,12	10,66	10,23	9,81
Junio	11,43	11,05	10,60	10,17	9,75	9,35
Julio	12,43	12,02	11,53	11,06	10,61	10,18
Agosto	12,45	12,04	11,55	11,08	10,63	10,19
Septiembre	10,33	9,99	9,58	9,19	8,81	8,45
Octubre	9,70	9,38	9,00	8,63	8,28	7,94
Noviembre	8,07	7,81	7,49	7,18	6,89	6,61
Diciembre	9,45	9,14	8,76	8,41	8,06	7,73
<b>Total</b>	<b>125,89</b>	<b>121,76</b>	<b>116,79</b>	<b>112,02</b>	<b>107,45</b>	<b>103,06</b>

*Nota.* Se presenta el ahorro en CO<sub>2</sub> que traerá el SSFV para el ambiente

Para el cálculo de las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> se procede a consultar el factor de emisión (FE) el cual es proporcionado por la UPME en su último informe técnico del 2020, luego de esto se selecciona el FE de la red para proyectos eólicos y solares el cual es 0.662 (ton CO<sub>2</sub> eq / MWh), este valor se multiplica por la cantidad de MWh generadas al mes y de esta manera podremos obtener el valor de emisiones evitadas mensualmente [23].

Es de gran importancia aclarar que dentro de este análisis no se tiene en cuenta el costo por mantenimiento, sin embargo, se prevé un mantenimiento cada 4 meses por un valor periódico de \$1 200 000 COP el cual incluirá pruebas termográficas, lavado de paneles solares y revisión eléctrica para descartar fugas o pérdidas de energía.

### 13. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Obteniendo los parámetros de simulación energética, selección de equipos y Layout general, se procede a presentar un compilado de resultados para su posterior análisis y llegar a las conclusiones de este trabajo, donde se destinará la viabilidad para la implantación de un SSFV en la Universidad de América.

Para dar inicio con el análisis de resultados obtenidos, se genera en la tabla 14 un compilado de los parámetros iniciales del sistema. En la tabla 14, se presenta un resumen de resultados técnicos del diseño final para SSFV – FUA.

**Tabla 14**

*Datos proyecto solar*

DATOS PROYECTO	
Latitud	4°36'06" °N
Longitud	74°03'42"O
Temperatura ambiente máx. [°C] para cálculo de conductores	26°C
Temperatura ambiente min [°C] para cálculos de voltaje máx. y aislamiento	15°C
Altura Sobre el nivel del mar [m]	2680m

*Nota.* Se presentan los datos geográficos del SSFV

**Tabla 15**

*Especificaciones del SSFV*

Especificaciones SSFV FUA	
DESCRIPCIÓN	NUEVA PLANTA FOTOVOLTAICA DE INYECCIÓN
Cantidad de módulos fotovoltaicos	220
Modelo de panel fotovoltaico	JAM72S30-545-MR
Potencia total DC (pico)	120kWp
Numero de inversores	1
Potencia total ac	100kW
Nivel de tensión del sistema	208 V
Nivel de tensión máxima DC	563,2V
Rendimiento anual esperado	85,70%
Operador de red	ENEL

*Nota.* Se presentan las especificaciones técnicas del SSFV

En la tabla 16 y 17 se compila la información recolectada de los equipos seleccionados para la implementación y ejecución del sistema.

**Tabla 16***Especificaciones del panel FV*

<b>Especificaciones del panel fotovoltaico</b>	
MODELO	JAM72S30-545-MR
MÁXIMA POTENCIA (Pmax)	545Wp
VOLTAJE DE MÁXIMA POTENCIA (VMP)	41,8V
CORRIENTE DE MÁXIMA POTENCIA (IMP)	13,04A
VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO (Voc)	49,75 V
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (Isc)	13,93
EFICIENCIA DEL MODULO STC (%)	21,10%
MÁXIMO VOLTAJE DEL SISTEMA	1000V
CAPACIDAD MÁXIMA DE FUSIBLE	25 A
TOLERANCIA DE POTENCIA	0 ~ + 5W
COEFICIENTE DE TEMPERATURA DE Pmax	-0,35%/°C
COEFICIENTE DE TEMPERATURA DE Voc	- 0,275 % / ° C
COEFICIENTE DE TEMPERATURA DE Isc	+0.045% ° C
DIMENSIONES	2279X1134X35mm

*Nota.* Especificaciones técnicas del Panel FV seleccionado.

**Tabla 17***Especificaciones del inversor*

<b>Especificación de los inversores</b>	
<b>MODELO</b>	SUN2000-100KTL-M1
<b>ENTRADA DC</b>	
MÁXIMO VOLTAJE DE ENTRADA	1100V
RANGO DE TENSIÓN DE ENTRADA	200-1000v
MÁXIMA CORRIENTE DE ENTRADA	26A por MPPT
<b>SALIDA AC</b>	
POTENCIA AC NOMINAL	100kW
VOLTAJE DE SALIDA NOMINAL	208V
TIPO DE CONEXIÓN A LA RED	3F + T
CORRIENTE DE SALIDA	144,4A
FRECUENCIA DE SALIDA	60Hz
<b>DATOS GENERALES</b>	
MÁXIMA EFICIENCIA	98,60%
DIMENSIONES (ANCHO x ALTO x PROFUNDIDAD)	1035 x 700 x 365 mm
GRADO DE PROTECCIÓN	IP66
PESO	90kg

*Nota.* Especificaciones técnicas del inversor seleccionado para el SSFV

Para culminar los resultados obtenidos se muestra en la tabla 18 el cálculo de energía producida por mes, basados en la simulación realizada bajo el software PVsyst

**Tabla 18***Producción energética*

PRODUCCIÓN DE ENERGIA		
Mes	Radiación global horizontal kWh/m <sup>2</sup>	Energía fotovoltaica (CA) menos consumo en modo de espera kWh
Enero	133.5	14598
Febrero	123.4	13027
Marzo	126.9	12629
Abril	144.9	13576
Mayo	153.7	13679
Junio	150.1	12805
Julio	156.7	13698
Agosto	148.7	13762
Septiembre	138.5	13652
Octubre	122.8	12860
Noviembre	101.6	10905
Diciembre	121.8	13636

*Nota.* Producción energética del sistema

A partir del resumen de resultados presentado, se muestra la viabilidad del uso del sistema solar fotovoltaico en las instalaciones de la Universidad de América. El diseño realizado es un sistema de autogeneración, con entrega de excedentes a la red, esto basados en la cantidad de energía que llegara a producir. Con respecto al consumo eléctrico, se considera que el flujo de estudiantes se da de lunes a viernes, teniendo un consumo más alto en este periodo, donde el sistema solar fotovoltaico funciona como apoyo a la red, no obstante necesitara de ella para poder suplir la demanda energética diaria, sin embargo, los sábado, domingo y feriados, la demanda energética disminuye, como consecuencia, la energía producida por el sistema se entrega a la red en forma de excedentes y se produce una reducción mensual en la facturación energética.

Los equipos seleccionados en el diseño presentado, cumplen con toda la normativa RETIE exigida para su funcionamiento, así mismo estos equipos son compatibles entre sí y los fabricantes proporcionan una garantía amplia, teniendo en cuenta la vida útil de un sistema solar fotovoltaico este se proyecta a 25 años, no obstante, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en un periodo de 4 a 6 meses, para poder alcanzar esta vida útil.

## 14. CONCLUSIONES

Los parámetros iniciales necesarios fueron determinados, teniendo en cuenta los aspectos relevantes que influyen en un sistema solar fotovoltaico, dichos parámetros fueron consultados en bases de datos y se les realizó un análisis detallado para lograr obtener datos puntuales y abarcar así, todas las posibles variables necesarias para dar inicio a la evaluación de la viabilidad del SSFV - FUA.

En la selección de paneles e inversores, se encontraron distintas referencias en el mercado, con lo cual se realizó un análisis detallado de las mejores referencias, que cumplieran las características técnicas requeridas para el sistema llegando a seleccionar un inversor Huawei Sun 2000 y el tipo de panel marca JA Solar 545 W.

Por medio del Software PVsyst se simula el SSFV, obteniendo curvas de producción energética, datos sobre la producción en AC del sistema mes a mes, un PR de la planta aproximado y el cálculo de pérdidas general del sistema, a partir de estos datos se sustenta la viabilidad del SSFV - FUA.

Con el diseño propuesto, es decir dimensiones y características de los componentes, fueron elaborados los planos básicos del sistema haciendo referencia a un Layout general de la distribución de los módulos, un plano de fijaciones mecánicas [8] que indica la estructura a utilizar en el sistema y planos eléctricos en los cuales se contemplan los unifilares para el sistema en DC así como el diagrama de conexiones en cubierta para el mismo.

Basados en el diseño del SSFV, la simulación del sistema y análisis financiero, se demuestra la viabilidad para un SSFV en la universidad América, arrojando resultados positivos y favorables para su implementación.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Planeacion, Departamento Nacional de, «ODS & DNP,» DPN, Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos/energia-asequible-y-no-contaminante>. [Último acceso: 12 Julio 2023].
- [2] Unidad de Planeacion Minero Energetica, «Informe de registro de proyectos de generacion,» UPME, Bogotá, 2022.
- [3] Acciona, «Acciona Business as Unusual,» Junio 2021. [En línea]. Available: [https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?\\_adin=02021864894](https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894). [Último acceso: Julio 2023].
- [4] Review Energy, «Review Energy,» 27 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.review-energy.com/solar/demanda-de-energia-solar-domestica-aumento-significativamente>. [Último acceso: Junio 2023 ].
- [5] M. Bayoumi, «Potential of integrating power generation with solar thermal cooling to improve the energy efficiency in a university campus in Saudi Arabia.,» *Sage Journals*, vol. 31, n° 1, pp. 130-154, 2020.
- [6] M. Mikati, «Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar,» *Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 9, n° 1, pp. 267-281, 2012.
- [7] L. Yang, «Optimal configurations of high-rise buildings to maximize solar energy generation efficiency of building-integrated photovoltaic systems,» *Sage Journals*, vol. 28, n° 8, pp. 1104-1125, 2019.
- [8] L. Zhang, «The economic and environmental analysis of solar energy development under climate impacts,» *Sage Journals*, vol. 105, n° 3, pp. 45-53, 2022.
- [9] AbdulRahman, «Evaluating the potential energy savings of residential buildings and utilizing solar energy in the middle region of Saudi Arabia,» *Sage Journals*, vol. 39, n° 5, pp. 101-110, 2020.
- [10] Ministerio de minas y energias, «Transición energética: un legado para el presidente y el futuro de Colombia,» MIn Minas, Bogota D.C, 2021.

- [11] UPME - LEY 1715, «Unidad de planeacion Minero Energetica,» 13 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>. [Último acceso: 21 Junio 2023].
- [12] N. Unidas, «Organizacion de Naciones Unidas,» ONU, 13 Sep 2022. [En línea]. Available: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>. [Último acceso: 17 Julio 2023].
- [13] Celsia - Grupo Argos, «Celsia Blog,» Celsia SAS, 05 05 2018. [En línea]. Available: <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/paneles-solares-como-funcionan-y-que-son/>. [Último acceso: 12 2023 Julio].
- [14] TraceBlog, «Trace Software,» Trace, 22 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.trace-software.com/es/paneles-solares-bifaciales-caracteristicas-y-ventajas/>. [Último acceso: 22 Julio 2023].
- [15] Eco Flow, «ECOFLOW,» 12 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://blog.ecoflow.com/es/inversor-que-es/>. [Último acceso: 11 Agosto 2023].
- [16] ENEL X, «ENEL X Blog,» 11 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://www.enelx.com/cl/es/preguntas-y-respuestas/que-es-un-sistema-fotovoltaico-on-grid-y-off-grid>. [Último acceso: 25 Julio 2023].
- [17] Fondo de proteccion ambiental , «Ficha tecnica sistemas fotovoltaicos ON GRID,» *Iniciativas Sustentables*, pp. 6-10, 20 Agosto 2022.
- [18] AutoSolar, «Energia AutoSolar,» 10 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://autosolar.co/aspectos-tecnicos/como-calcular-la-inclinacion-de-un-panel-solar>. [Último acceso: 14 Julio 2023].
- [19] SOLESCO, «Energia Solar Fotovoltaica,» 19 Marzo 2022. [En línea]. Available: <http://www.solesco.com.co/index.php/component/%20content/article/12-destacados/52-que-es-fotovoltaica-2>. [Último acceso: 12 Junio 2023].
- [20] IDEAM, «IDEAM COLOMBIA,» 12 Junio 2022. [En línea]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/>. [Último acceso: Junio 2023].
- [21] R. Theron, «Protocolo para comunicación inalámbrica en instalaciones de energías renovables,» *ResearchGate Logo*, vol. 2, n° 1, pp. 12-25, 2016.

- [22] PVsyst, «PVsyst Software,» PVsyst, 12 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.pvsyst.com/>. [Último acceso: Junio 2023].
- [23] UPME, «Cálculo de factor de emisiones de la red de energía eléctrica en Colombia para 2020,» *XM S.A.S. E.S.P.* , vol. 1, n° 1, pp. 8-10, 2020.

## **ANEXOS**

**Tabla 19***Plan de adquisiciones*

<b>ADQUISICIONES</b>	
Descripción	Total
HERRAMIENTA CIVIL	\$1.487.000
HERRAMIENTA MECÁNICA	\$7.020.000
HERRAMIENTA ELÉCTRICA	\$10.690.000
HERRAMIENTA ESPECIAL	\$8.512.000
EQUIPOS ESPECIALES	\$0
TECNOLOGÍA, COMUNICACIONES Y OFICINA	\$525.000
<b>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS</b>	<b>\$28.234.000</b>
DOTACIÓN DE PERSONAL	\$29.856.960
EQUIPOS E INSUMOS PARA CAMPAMENTO	\$13.459.000
EQUIPOS ESPECIALES HSE	\$2.460.000
<b>EQUIPOS Y DOTACIONES HSE</b>	<b>\$45.775.960</b>
PANELES Y ACCESORIOS	\$974.524.500
INVERSORES Y ACCESORIOS	\$259.529.223
ESTRUCTURAS Y ACCESORIOS	\$122.400.966
CABLEADO Y ACCESORIOS	\$95.968.229
CANALIZACIONES Y ACCESORIOS	\$70.278.771
TABLEROS Y ACCESORIOS	\$28.540.000
PUESTA A TIERRA Y ACCESORIOS	\$3.862.212
APANTALLAMIENTO Y ACCESORIOS	\$32.460.174
ESTRUCTURA CT Y CERRAMIENTOS	\$8.960.000
MATERIALES OBRAS CIVILES	\$0
MATERIALES MEDIA TENSION	\$0
CONSUMIBLES	\$0
<b>MATERIALES E INSUMOS DE OBRA</b>	<b>\$1.596.524.075</b>
PÓLIZAS	\$25.322.119
CERTIFICACIONES	\$8.000.000
<b>CONTRACTUALES</b>	<b>\$33.322.119</b>
<b>Subtotal ADQUISICIONES</b>	<b>\$1.703.856.155</b>

*Nota.* Se presenta el plan de adquisiciones para el SSFV – FUA.