

Análisis, caracterización y actualización del potencial solar para la implementación de sistemas de generación fotovoltaica en las instalaciones del Campus central de la UIS

Carlos Javier Chanagá Rodríguez, Johan Manuel Pineda Soriano y Juan Sebastián Crispín

Guerra

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

Gabriel Ordóñez Plata

Doctor en Ingeniería Industrial

Codirector

Manuel José Ortiz Rangel

Magíster en Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

Quiero dedicarle este nuevo logro a Lisney y Margarita, mi madre y abuela, quienes han sido motor y razón del logro de este y todos mis objetivos. Gracias infinitas por su amor presente, su apoyo incondicional y el constante aliento que han hecho de mí lo que he aprendido con su esfuerzo y sacrificio.

-Sebastian

Le dedico este trabajo principalmente a Dios a mis padres Ana y Alirio, a mis hermanas, quienes han sido la guía y el motor para llegar a este punto de la carrera, ellos que con su ejemplo, apoyo y frases motivacionales incentivaron en mí la fuerza para continuar el camino en los momentos difíciles, gracias por estar siempre pendientes de este proceso de aprendizaje siendo esa mano amiga el soporte de mi proceso de aprendizaje con el pasar del tiempo.

-Johan Pineda

A Dios por llenarme de fortaleza, sabiduría y poner personas en mi camino que han significado mucho para mí en esta etapa tan importante de mi vida. A mis padres que gracias a su sacrificio, esfuerzo y apoyo incondicional hicieron posible este logro y me han dado la motivación para continuar en los momentos difíciles. A mis hermanos que son mi impulso a ser un ejemplo para seguir. A mi tía Claudia que ha estado presente y siempre ha velado por mi bienestar y el de mi familia. A mis familiares que me brindaron su cariño y comprensión en todo momento. A los docentes que por su esfuerzo y dedicación me han guiado y encaminado a lo largo de mi carrera haciendo posible este sueño.

-Carlos Chanagá

Agradecimientos

En primer lugar, queremos extender el agradecimiento a nuestro director, Gabriel Ordoñez, por su orientación experta y paciencia incansable. Su profundo conocimiento en el campo y su dedicación a nuestro crecimiento académico han sido invaluable. Cada conversación, sugerencia y corrección ha sido una guía fundamental en el desarrollo de este trabajo.

También queremos agradecer a nuestro codirector, por su apoyo constante y sus aportes valiosos. Su perspectiva adicional y su disposición para brindar claridad en momentos de incertidumbre han sido cruciales para dar forma a este proyecto.

En un nivel más personal, deseamos expresar nuestra gratitud a familiares. A nuestros padres, y hermanos, por su amor incondicional, comprensión y apoyo emocional a lo largo de todos estos años. Vuestra paciencia y ánimo constante nos han impulsado a alcanzar este logro.

Finalmente, queremos agradecer a nuestros amigos y seres queridos que estuvieron presentes en cada etapa de nuestras vidas académica. Vuestras palabras de aliento, comprensión y momentos de distracción fueron esenciales para mantener un equilibrio entre el estudio y la vida cotidiana.

Este trabajo de grado no hubiera sido posible sin la influencia positiva y el apoyo de todos ustedes. Estamos eternamente agradecidos y honrados de haber tenido la oportunidad de contar con su respaldo en este importante capítulo de nuestras vidas.

Contenido

	Pág.
Introducción	17
1. Caracterización de edificaciones y zonas endurecidas del campus central UIS para potencial fotovoltaico	18
1.1 Edificaciones Universidad Industrial de Santander	18
1.2 Cubiertas de las edificaciones y zonas endurecidas.....	20
1.3 Cubiertas seleccionadas para estudio.....	21
1.4 Criterios de selección de edificios viables	25
1.4.1 Área aprovechable mayor a 110 m ²	25
1.4.2 Criterio estructural de acuerdo con disposición de espacio para instalación paneles solares en las cubiertas.....	27
1.4.3 Facilidad de acceso para el mantenimiento	27
1.4.3.1 Espacios disponibles	28
1.4.3.2 Accesibilidad sin equipos especiales	28
1.4.3.3 Seguridad del personal.....	28
1.4.3.4 Movimiento de equipos.....	28
1.4.4 Sombras por árboles y edificios cercanos	29
1.4.5 Proximidad a un punto de conexión.....	30
1.5 Edificios viables para instalación de paneles fotovoltaicos	31
2. Puntos de conexión para las instalaciones eléctricas fotovoltaicas viables en los edificios del campus central de la universidad	34
2.1 Edificio de Administración I.....	36

3. Ingeniería conceptual de la instalación del sistema eléctrico fotovoltaico en las cubiertas seleccionadas.....	38
3.1 Selección base de datos climatológicos	39
3.1.1 Atlas solar IDEAM	39
3.1.2 NASA Power	39
3.1.3 Estaciones meteorológicas UIS.....	40
3.2 Módulo fotovoltaico.....	41
3.2.1 Selección del módulo fotovoltaico.....	42
3.3 Disposición de paneles.....	44
3.3.1 Altura solar.....	45
3.3.2 Separación entre paneles.....	46
3.3.2.1 Orientación.....	46
3.3.2.2 Acimut e inclinación.....	48
3.3.2.3 Distancia de separación entre paneles.....	49
3.4 Estructura de soporte para los módulos fotovoltaicos	51
3.4.1 Ventajas de una estructura fija.....	52
3.4.2 Descripción de elementos seleccionados según el tipo de estructura	55
3.4.2.1 Estructura para soporte del inversor	56
3.5 Distribución de paneles sobre cubiertas seleccionadas.....	57
3.5.1 Edificio administración 1	58
3.5.2 Edificio bienestar estudiantil.....	58
3.5.3 Edificio ingeniera mecánica.....	58
3.5.4 Edificio biblioteca.....	58

POTENCIAL SOLAR PARA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA...	6
3.5.5 Edificio laboratorios livianos	59
3.5.6 Edificio Camilo torres.....	59
3.5.7 Edificio Federico Mamitza Bayer	59
3.5.8 Edificio eléctrica, electrónica y telecomunicaciones	59
3.5.9 Edificio laboratorio de posgrados	60
3.5.10 Edificio CENTIC	60
3.5.11 Edificio residencias universitarias	60
3.5.12 Edificio bienestar profesoral	60
3.5.13 Edificio Jorge Bautista Vesga.....	61
3.5.14 Edificio ingeniería química.....	61
3.6 Inversores fotovoltaicos	61
3.6.1 Selección de inversores.....	62
3.7 Conductores	63
3.7.1 Dimensionamiento y sección de conductor	64
3.7.2 Conductores para cableado de corriente alterna.	66
3.7.3 Regulación de tensión	70
3.8 Protecciones	72
3.8.1 Protecciones de corriente continua	72
3.8.1.1 DPS Descargadores de tensión DC.....	72
3.8.2 Diodo de paso, Diodo de Bloqueo	74
3.8.2.1 Diodo de Bloqueo	74
3.8.2.2 Diodo de paso	75
3.8.2.3 Fusibles	75

POTENCIAL SOLAR PARA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA...	7
3.8.3 Protecciones de corriente alterna	77
3.8.3.1 Descargadores de tensión en AC	77
3.8.3.2 Protección de Armónicos	78
3.8.4 Breaker	78
3.8.5 Protección anti-isla para grupos electrógenos.....	80
3.8.5.1 Condiciones de operación	81
4. Capacidad de generación fotovoltaica.	82
4.1 Estimación de la energía eléctrica producida por el arreglo fotovoltaico.....	82
4.2 Simulación en PVGIS	83
4.3 Capacidad de ahorro energético	84
4.4 Aproximación del valor de proyecto.....	85
4.5 Retorno de inversión	86
5. Conclusiones	88
6. Recomendaciones	90
6.1 Futuros trabajos.....	91
Referencias.....	92
Apéndices.....	94

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Lista de edificios con sus respectivas áreas de cubierta</i>	22
Tabla 2. <i>Edificios viables para instalación de paneles solares</i>	32
Tabla 3. <i>Tabla cualitativa de los criterios para cada uno de los edificios de la universidad</i>	33
Tabla 4. <i>Tabla de convenciones de color para la Tabla 2</i>	34
Tabla 5. <i>Puntos de conexión para el sistema de instalación fotovoltaico</i>	35
Tabla 6. <i>Criterios definidos de selección para los paneles fotovoltaicos</i>	43
Tabla 7. <i>Referencias módulos fotovoltaicos seleccionados</i>	43
Tabla 8. <i>Lista de elementos estructurales seleccionados para todos los edificios</i>	56
Tabla 9. <i>Criterios de selección para los inversores fotovoltaicos</i>	62
Tabla 10. <i>Inversores seleccionados por cubierta</i>	63
Tabla 11. <i>Conductores en el tramo de corriente continua seleccionados</i>	65
Tabla 12. <i>Conductores en el tramo de corriente alterna seleccionados</i>	69
Tabla 13. <i>Regulación de tensión</i>	71
Tabla 14. <i>Datos técnicos del inversor de potencia</i>	76
Tabla 15. <i>Resultado de los fusibles calculados</i>	77
Tabla 16. <i>Cálculo de protecciones en AC</i>	79
Tabla 17. <i>Rango de operación por tensión de la protección anti-isla</i>	81
Tabla 18. <i>Capacidad de la instalación, rango de frecuencia y tiempo de despeje de falla</i>	81
Tabla 19. <i>Calidad de potencia de acuerdo norma IEEE 1547:2003</i>	81
Tabla 20. <i>Estimado de costos del proyecto</i>	85
Tabla 21. <i>Estimado de costos</i>	86

Tabla 22. *Análisis de retorno de inversión* 87

Tabla 23. *Análisis de Viabilidad del proyecto* 87

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Mapa general de la UIS</i>	19
Figura 2. <i>Fotografía elevada campus central universidad Industrial de Santander</i>	24
Figura 3. <i>Ubicación subestación eléctrica del edificio de administración I</i>	36
Figura 4. <i>Fotografía de subestación eléctrica del edificio de administración</i>	37
Figura 5. <i>Diagrama de flujo para la ingeniería conceptual de diseño</i>	38
Figura 6. <i>Influencia de altura solar en la separación entre filas de módulos</i>	45
Figura 7. <i>Orientación recomendada</i>	46
Figura 8. <i>Declinación magnética</i>	47
Figura 9. <i>Acimut e inclinación de un colector</i>	48
Figura 10. <i>Distancia mínima entre módulos</i>	49
Figura 11. <i>Estructura tipo fija</i>	52
Figura 12. <i>Ubicación de módulos en el edificio de administración</i>	53
Figura 13. <i>Características del módulo, cargas y Factores externos</i>	54
Figura 14. <i>Características de la estructura inclinación de los módulos</i>	54
Figura 15. <i>Factores característicos para selección de estructuras</i>	55
Figura 16. <i>Estructura de protección para inversor solar</i>	57
Figura 17. <i>Esquemático de los tramos en DC y AC</i>	72
Figura 18. <i>Descargador de tensión en continua</i>	73
Figura 19. <i>Características del módulo seleccionado</i>	74
Figura 20. <i>Esquema de la protección frente a sobre tensiones en una instalación fotovoltaica en AC</i>	78

POTENCIAL SOLAR PARA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA...	11
Figura 21. <i>Entorno de simulación PVGIS</i>	83
Figura 22. <i>Tarifa octubre OR ESSA</i>	84

Apéndices

Apéndice A. Nomenclatura de edificios de la Universidad Industrial de Santander.

Apéndice B. Registro fotográfico cubiertas de edificios de la Universidad Industrial de Santander.

Apéndice C. Tabla de áreas aprovechables de las cubiertas de los edificios.

Apéndice D. Planos arquitectónicos de cubiertas existentes.

Apéndice E. Ejemplo documentado de aplicación implícita de los 5 criterios de selección para la instalación de paneles.

Apéndice F. Descripción detalla de los puntos de conexión de cubiertas seleccionadas.

Apéndice G. Selección de equipos y cálculos generales de separación entre paneles.

Apéndice H. Data Sheets de los paneles e inversores seleccionados.

Apéndice I. Diseños de distribución de paneles sobre las cubiertas seleccionadas.

Apéndice J. Resultados simulación PVGIS.

Apéndice K. Resultados de simulación estructural K2 SYSTEMS y vistas laterales de edificios.

Apéndice L. Descripción de elementos estructurales.

Apéndice M. Cálculo de regulaciones, protecciones y conductores eléctricos en DC y AC.

Apéndice N. Análisis financiero del proyecto.

Apéndice O. Matrices y gráficas de consumo en fronteras comerciales de la Universidad Industrial de Santander.

Glosario

Energía Solar Fotovoltaica: la conversión de la radiación solar en electricidad a través de celdas fotovoltaicas.

Paneles Solares: dispositivos que contienen celdas fotovoltaicas para capturar la energía solar y convertirla en electricidad.

Instalación Fotovoltaica: el conjunto de paneles solares, inversores y otros componentes necesarios para generar electricidad a partir de la energía solar.

Inversor Solar: un dispositivo que convierte la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA) utilizada en los edificios.

Cubierta: la parte superior o tejado de un edificio, donde se instalan los paneles solares.

Sistema en Red: un sistema de energía solar que está conectado a la red eléctrica de la universidad.

Sistema Aislado: un sistema de energía solar que no está conectado a la red eléctrica y almacena la energía en baterías.

Inclinación: el ángulo de inclinación de los paneles solares con respecto a la horizontal.

Radiación Solar: la cantidad de energía solar incidente en una ubicación específica.

Factor de Capacidad: la relación entre la energía generada por un sistema de paneles solares y la energía máxima que podría generar en condiciones ideales.

Costo por Vatio: el costo de instalación de un sistema de paneles solares por cada vatio de capacidad instalada.

Análisis de Viabilidad: la evaluación de si un proyecto de energía solar en la universidad es económicamente viable.

Mantenimiento Preventivo: las actividades regulares para asegurar que el sistema solar funcione eficazmente.

Punto de Conexión: El lugar donde se conecta el sistema solar a la red eléctrica de la universidad.

Resumen

Título: Análisis, caracterización y actualización del potencial solar para la implementación de sistemas de generación fotovoltaica en las instalaciones del campus central de la UIS

Autor: Carlos Javier Chanagá Rodríguez, Johan Manuel Pineda Soriano y Juan Sebastián Crispín Guerra

Palabras Clave: Ahorro energético, Sistemas fotovoltaicos, Desarrollo sostenible, Fuentes no convencionales de energía renovable

Descripción:

La Universidad Industrial de Santander como entidad comprometida con el desarrollo sostenible, promueve el desarrollo y la incorporación de tecnologías amigables con el medio ambiente. Identificada esta necesidad se plantea la posibilidad de adicionar otro sistema de suministro de energía a la instalación eléctrica aprovechando el recurso solar. En concordancia a lo planteado anteriormente, este documento pretende explorar el potencial solar que se puede llegar desarrollar dentro del Campus principal de la Universidad Industrial de Santander mediante un estudio de ingeniería conceptual que comprende el análisis y selección de cubiertas y zonas endurecidas de interés, bajo criterios que comparan cuán despejadas son las zonas de estudio para la instalación de paneles fotovoltaicos y conexión a la red interna distribuida de la universidad. Para finalizar con la conclusión definitiva para decidir la viabilidad del proyecto.

Abstract

Title: Power solar analysis, characterization and actualization to the implementation of photovoltaic generation systems inside UIS central campus

Author(s): Carlos Javier Chanagá Rodríguez, Johan Manuel Pineda Soriano y Juan Sebastian Crispín Guerra

Key Words: Energy saving, Photovoltaic systems, Sustainable development, Unconventional sources of renewable energy

Description:

The Industrial University of Santander, as an entity committed to sustainable development, promotes the development and incorporation of environmentally friendly technologies. Once this need has been identified, the possibility of adding another energy supply system to the electrical installation is raised, taking advantage of the solar resource. In accordance with what was stated above, this document aims to explore the solar potential that can be developed within the main Campus of the Industrial University of Santander through a conceptual engineering study that includes the analysis and selection of roofs and hardened areas of interest, under Criteria that compare how clear are the study areas for the installation of photovoltaic panels and connection to the internal distributed network of the university. To end with the final conclusion to decide the feasibility of the project.

Introducción

En la actualidad la conciencia ambiental ha cobrado importancia con una mirada hacia nuevas alternativas energéticas sostenibles, el aprovechamiento del potencial solar se presenta como una oportunidad viable para reducir la huella de carbono y promover la eficiencia energética, contribuyendo en la disminución de contaminación ambiental. Las universidades, como centros de conocimiento e innovación, juegan un papel clave en esta transición hacia un futuro más limpio y sustentable. Por tanto, este trabajo de grado surge como respuesta de la Universidad Industrial de Santander a esta consigna, explorando el potencial energético renovable dentro de sus instalaciones, como muestra del compromiso misional de la institución y representando el rol que debe asumir toda organización de gestionar y hacer parte de alternativas que garanticen su desarrollo sostenible. La utilización de energía solar no solo representa una oportunidad para reducir los costos de consumo eléctrico, sino que también permite generar energía limpia y renovable que contribuye activamente a la mitigación del cambio climático.

En esta investigación, se llevó a cabo un estudio exhaustivo del entorno y características de las zonas endurecidas dentro del campus universitario, considerando factores como la proximidad a un punto de conexión, sombreado, superficie disponible, y facilidad para el mantenimiento.

El resultado de esta investigación no solo proporciona un diagnóstico aproximado del potencial solar dentro las instalaciones de la universidad, si no que porpone la base para toma de decisiones informadas sobre la implementación de proyectos fotovoltaicos futuros. Asimismo, se espera que los hallazgos de este estudio puedan inspirar y motivar a otras instituciones educativas a emprender acciones similares, impulsando un cambio positivo hacia la adopción masiva de energías limpias.

En última instancia, este trabajo fomenta una cultura de innovación sostenible en nuestra universidad, donde la investigación y el compromiso con el medio ambiente se fusionen para construir un futuro más brillante, eficiente y comprometido con el desarrollo sostenible.

1. Caracterización de edificaciones y zonas endurecidas del campus central UIS para potencial fotovoltaico.

En el presente capítulo introductorio se expondrá en detalle la metodología empleada para llevar a cabo la caracterización de cada una de las edificaciones que componen el campus central de la Universidad Industrial de Santander. El propósito de esta caracterización radica en el análisis del potencial solar inherente, con miras a determinar la viabilidad intrínseca para la implantación de sistemas fotovoltaicos en las variadas tipologías de cubiertas y áreas pavimentadas presentes en la institución.

1.1 Edificaciones Universidad Industrial de Santander

La Universidad Industrial de Santander ubicada en el municipio de Bucaramanga en el departamento de Santander en la carrera 27 con calle 9 Ciudad Universitaria, cuenta con más de 50 edificaciones en todo su campus central como se puede detallar en el plano general en la Figura 1.

Figura 1.

Mapa general de la UIS



Nota. Mapa del campus central de la Universidad Industrial de Santander con los diferentes edificios y espacios dentro de la institución académica. Tomado de la página web de la universidad se puede encontrar en el siguiente link: <https://uis.edu.co/mapa/>.

Cada estructura dentro de la institución académica ha sido meticulosamente identificada y georreferenciada en el plano general, asignándoles un número único que va desde el numeral 1, que corresponde a la portería de acceso ubicada en la carrera 27, hasta el número 52, que hace referencia a la tienda universitaria. Para una referencia detallada de los nombres y la numeración específica de cada edificación, se proporciona el Apéndice A, donde se presenta una lista completa de las denominaciones correspondientes a cada estructura junto con su respectiva numeración asignada en el plano. Esta práctica facilita la identificación precisa y eficiente de cada edificio dentro del complejo, lo que es esencial para la gestión, orientación y localización de recursos y servicios en el entorno edificado.

1.2 Cubiertas de las edificaciones y zonas endurecidas

Para efectuar la implementación de sistemas fotovoltaicos, es imperativo considerar la disposición de los paneles solares en ubicaciones que aseguren la incidencia solar directa, a fin de capitalizar plenamente este objetivo que hace parte de muchos componentes para un buen rendimiento de generación fotovoltaica. Por lo tanto, se establece como primordial la ejecución de una caracterización meticulosa de las superficies de techado en las edificaciones pertinentes y de las áreas pavimentadas, como estacionamientos y otros espacios propicios para una eventual instalación fotovoltaica.

En el marco de la presente indagación dirigida a la evaluación de diversas cubiertas y superficies pavimentadas en el entorno universitario, se ha establecido un umbral que excluye aquellos sectores y edificaciones cuya área se sitúe por debajo de los 165 m² para la eventual implantación de sistemas fotovoltaicos. Esta determinación deriva de un minucioso análisis que abarca todas las áreas edificadas dentro del recinto universitario.

Cuando se hizo la medición de las áreas de los edificios que están en el plano general de la UIS, se encontraron edificios o estructuras como cafeterías, porterías, etc, donde mayoría de estas estructuras son de una sola planta donde la exposición solar no es la adecuada para una buena generación solar, ya que algunos edificios más altos o vegetación los cubre, se decidió hacer un umbral con respecto al área máxima de estos lugares y así poder descartarlos del estudio, por tal motivo se ha llegado a la conclusión de que, en las estructuras cuya superficie se ubica por debajo de esta magnitud, la disposición de cubiertas adecuadas resulta insuficiente, lo que conlleva a una exposición solar limitada en términos significativos.

En lo que concierne a la evaluación de las áreas pavimentadas de la institución universitaria, se procedió a efectuar registros detallados de los estacionamientos y estructuras de

casetas, con un enfoque específico en la viabilidad de instalar sistemas de generación de energía fotovoltaica. Tras un profundo análisis, se ha llegado a la conclusión de que dichas áreas carecen de las condiciones propicias para la instalación de paneles solares, fundamentalmente debido a la presencia significativa de vegetación en las proximidades de los parqueaderos. Esta densa arboleda representaría un impedimento sustancial para la captación solar, lo que, a su vez, comprometería de manera significativa la eficacia de la generación eléctrica, limitando la capacidad de aprovechamiento de la recepción de la luz solar en estos lugares.

1.3 Cubiertas seleccionadas para estudio

Con el primer filtro aplicado de cubiertas por encima de 165 metros cuadrados se seleccionaron 33 edificaciones las cuales se podrán caracterizar en cuanto a su potencial solar y viabilidad de la instalación de paneles solares en las cubiertas, estas mediciones se plantearon a partir de planos de cubiertas facilitados por planta física y planeación de la universidad, algunos calculados por la herramienta AutoCAD con medidas a escala real.

A continuación, se ilustra una tabla con todos los edificios de la UIS con sus respectivas áreas de cubierta y la identificación de los edificios que no superan los 165 m².

Tabla 1.

Lista de edificios con sus respectivas áreas de cubierta.

Nomenclatura UIS	Edificio	Área total(m ²)
01	Portería CRA 27	62.35
02	Luis A calvo	1200
03	Administración	888.65
04	Administración III	790
06	Administración II	362.47
07	Bienestar Estudiantil	1079.1281
08	La Perla	154
10	Ingeniería mecánica	1887.16
11	Aula máxima ing. mecánica	298.93
12	Biblioteca	887.04
13	Planta telefónica	149,62
14	Instituto de lenguas	945.65
15	Ingeniería Industrial	942
16	Laboratorio biología vegetal	138.92
17	Laboratorios livianos	1572.051
18	Camilo Torres	1230.58
19	CENTIC	1256.11
20	UISALUD	597.29
21	Federico Mamitza Bayer	1233
22	E3T	454.98
23	Laboratorio de posgrado	793.27
24	Ingeniería química	2286.1
25	Aula máxima de ciencias	354.6
26	Bienestar Profesoral	1153.65
27	Alta tensión	512.99
28	Hidráulica	426.73
29	Taller de diseño industrial	642.89
30	Planta de Aceros	696.34
31	Jorge Bautista Vega	1861.62
32	Físicomecánicas	2107.84
33	Daniel Casas	633.52
34	Residencias Universitarias	258.98
35	EDIC	919.93
36	Kiosco residencias	118,34
37	Ciencias Humanas	764
38	Jardinería	131,51
43	Coliseo UIS	1853.36
45	CENIVAN	159,3
46	Cafetería (Don cafeto)	29.49
47	Portería CRA 25	35.44
48	Caracterización de materiales	1118.41
49	Logística	822.41
52	Librería UIS	110.21
53	Cuarto de basuras	20.37
54	Planta de reciclaje	156.43
58	Modulo Bosque	34.19
60	Portería CRA 30	16.24
62	Cafetería Camilo Torres	114.65
63	Auditorio Jorge Zalamea	102.25

Nota. En la tabla se pueden observar las edificaciones de la universidad con sus respectivas áreas y en otro color se resalta los edificios que quedan fuera del estudio porque no superan los 165 m² que se mencionaron previamente. Autoría propia.

Una vez realizada la selección de los 33 edificios objeto de estudio, se procedió a la ejecución de un registro fotográfico correspondiente a las distintas tipologías de cubierta presentes en cada estructura. Este registro se efectuó con la finalidad de facilitar la observación detallada y la posterior aplicación de algunos criterios de selección predefinidos, como la observación de obstáculos que impidan la debida colocación de los paneles, vías de acceso, los cuales constituyen los parámetros determinantes para la evaluación de la idoneidad de dichas cubiertas en términos de viabilidad para la implantación de sistemas fotovoltaicos. En aras de llevar a cabo esta labor, se hizo uso de un vehículo aéreo no tripulado (dron) como herramienta instrumental, permitiendo así una captura de imágenes desde perspectivas aéreas que garantizan una apreciación integral y precisa de las características geométricas de las superficies en cuestión. Este registro fotográfico fue acompañado de visitas técnicas a las cubiertas con el acompañamiento de funcionarios del área de Planta Física de la universidad.

Los drones proporcionan una perspectiva única y versátil al permitir la captura de imágenes aéreas de alta resolución y la obtención de datos geospaciales precisos. Estos datos son fundamentales para calcular la capacidad de generación de energía solar de un edificio, teniendo en cuenta factores como la orientación, inclinación y sombras proyectadas (Smith et al., 2020).

Cabe mencionar que con las fotografías se pueden identificar los diferentes datos geospaciales, pero para la determinación exacta de estos parámetros es indispensable el estudio de estos mismos de modo más visual y con datos técnicos.

Figura 2.

Fotografía elevada campus central universidad Industrial de Santander



Nota. La fotografía fue tomada desde un dron desde una vista idónea para capturar la vista completa de cada cubierta del campus central de la universidad industrial de Santander. Autoría propia

En el Apéndice B de este documento se pueden encontrar las fotografías tomadas por el dron de las 33 edificaciones y zonas endurecidas que se incluyeron en el estudio del potencial fotovoltaico.

1.4 Criterios de selección de edificios viables.

Con el propósito de mejorar la eficiencia en la identificación de las estructuras más propicias para la implementación de paneles solares, se han concebido y articulado cinco criterios de selección rigurosos. Estos criterios serán aplicados de manera sistemática a cada edificación, basándose en referencias visuales proporcionadas por recursos fotográficos de las cubiertas, así como análisis de mediciones de área y evaluación de factores cruciales para el montaje adecuado de los paneles solares. A continuación, se presenta una concisa descripción de cada uno de estos criterios y como se evaluaron:

1.4.1 Área aprovechable mayor a 110 m².

En este criterio se procedió a la evaluación de la superficie total de cada estructura edificatoria propuesta para estudio, con el propósito de determinar la extensión adecuada para la implementación de sistemas fotovoltaicos en sus respectivas cubiertas. Se estableció como viable únicamente aquellos edificios cuya área aprovechable de cubierta superase los 110 m², esta medida se debe a la priorización de algunos edificios importantes para fomentar la instalación de paneles solares, como biblioteca que es uno de los lugares importantes de la universidad, el CENTIC entre otros. Se tomo un punto de partida en el área aprovechable de estos edificios para incluirlos, ya que es un área pequeña, por la cantidad de otros equipos y obstáculos que se encuentran en ellos. La realización de este escrutinio se ejecutó empleando los planos de cubierta suministrados por el departamento de Planta Física de la institución académica, herramientas como AutoCAD y Google Earth, garantizando así una medición mucho más aproximada para el proceso de cálculo.

En la planificación y diseño de edificios, uno de los aspectos cruciales es la gestión eficiente del espacio de la cubierta. Esta área, aunque a menudo pasada por alto, desempeña un

papel fundamental en la protección y funcionalidad de la estructura. En este contexto, las cubiertas de los edificios se dividen comúnmente en dos categorías principales: zonas transitables y zonas técnicas (Smith, 2018).

A causa de las consideraciones previas expuestas, la instalación de paneles solares se limitará a la designación de áreas aprovechables exclusivamente a aquellas zonas que han sido expresamente designadas como "no transitables" o técnicas en el diseño de la cubierta del edificio. La selección de estas áreas no transitables se fundamenta en la premisa de que su uso se encuentra restringido para fines de acceso y tránsito humano, lo que garantiza la integridad y estabilidad de la instalación del sistema solar fotovoltaico. Esta medida contribuye a la disposición y utilización del espacio de la cubierta, asegurando al mismo tiempo la seguridad y durabilidad del sistema fotovoltaico y su correcto funcionamiento en términos eléctricos y energéticos.

En el Apéndice C de este documento, se presenta una tabla detallada que exhibe las áreas individuales de las cubiertas de cada edificio, así como las áreas disponibles aptas para la implementación de sistemas fotovoltaicos, donde se evidencio que no hubiera ningún obstáculo que impidiera la instalación de paneles solares, dicha áreas se determinaron a partir de planos de cubiertas facilitados por el área de la planeación de la universidad, plano general de la UIS en escala real y la herramienta Google Earth.

Así también en el Apéndice D se incluyen los planos de las cubiertas existentes, proporcionados de manera oportuna por el departamento de Planta Física de la universidad, aportando una base de referencia precisa y completa para el análisis de medidas, los cuales también se pretenden actualizar en el desarrollo de este proyecto en el capítulo de ingeniería conceptual, tomando como referencias las evidencias fotográficas donde se detalla la disposición de nuevos equipos o nuevas áreas de aprovechamiento ya sean técnicas o verdes.

1.4.2 Criterio estructural de acuerdo con disposición de espacio para instalación paneles solares en las cubiertas.

El criterio de selección referente a la disposición de la cubierta para la instalación de paneles solares se basa en una cuidadosa evaluación de las áreas disponibles en la parte superior de los edificios. Para asegurar un aprovechamiento adecuado, se prioriza la identificación de zonas que presenten un espacio suficiente para acomodar los paneles solares sin restricciones significativas de espacio. Estos espacios deben ser técnicamente adecuados, lo que implica que deben estar libres de obstáculos que puedan interferir con su adecuada orientación y deben permitir una distribución eficiente de las filas de paneles para una eficiencia de generación de energía solar.

Además, es crucial que estas áreas sean designadas como "no transitables", lo que significa que no deben utilizarse para actividades humanas regulares o circulación. Esto garantiza la seguridad de las personas al evitar el acceso a zonas potencialmente peligrosas y protege la integridad de los sistemas fotovoltaicos al reducir el riesgo de daños accidentales.

En conjunto, este criterio busca identificar ubicaciones estratégicas en las cubiertas de los edificios que sean técnicamente aptas y seguras para la instalación de paneles solares.

1.4.3 Facilidad de acceso para el mantenimiento

Este criterio de selección se refiere a la evaluación de la conveniencia de las ubicaciones potenciales en las cubiertas de los edificios para la instalación de un sistema solar fotovoltaico desde la perspectiva de su futura operación y mantenimiento. Lo que implica la identificación de áreas en la cubierta que permitan un acceso sencillo y seguro para el personal encargado del mantenimiento de los paneles solares. A continuación, se describen los factores claves que se tuvieron en cuenta en este criterio.

1.4.3.1 Espacios disponibles. Un espacio adecuado en la cubierta es esencial para que los técnicos tengan suficiente espacio para llevar a cabo el mantenimiento de los paneles solares de manera segura y efectiva. Esto incluye actividades como la limpieza, inspección y reparación.

1.4.3.2 Accesibilidad sin equipos especiales. La ubicación seleccionada debe permitir que el personal de mantenimiento acceda fácilmente sin la necesidad de equipos o maquinaria especializada, lo que simplifica las operaciones y reduce los costos asociados.

1.4.3.3 Seguridad del personal.

Se deben considerar medidas de seguridad para proteger al personal de mantenimiento. Esto puede incluir barandillas, pasarelas seguras y sistemas de seguridad contra caídas o las llamadas líneas de vida.

1.4.3.4 Movimiento de equipos. Si se necesitan equipos para el mantenimiento, es importante que la zona permita su fácil movimiento. Esto puede incluir la capacidad de mover escaleras de manera efectiva.

Con el fin de llevar a cabo el mantenimiento de manera adecuada y efectiva en el sistema de paneles, se ha establecido una asignación espacial equivalente al 10% adicional del área total que los paneles ocupan (Rangel M. J., 2023). Esta asignación espacial se ha concebido estratégicamente para garantizar que se cuente con el espacio suficiente y adecuado para llevar a cabo las tareas de mantenimiento requeridas de manera eficiente y segura.

Dicho espacio del 10% del área total se considera esencial para permitir la movilidad de los equipos de mantenimiento, el almacenamiento de herramientas y materiales, así como la

implementación de procedimientos de inspección, reparación y mantenimiento preventivo. Esta asignación precisa del espacio no solo facilita la ejecución de las actividades de mantenimiento, sino que también contribuye a evitar posibles interrupciones en la operación normal del sistema de paneles, al garantizar que los técnicos tengan un entorno de trabajo adecuado y seguro para llevar a cabo sus labores de manera efectiva.

1.4.4 Sombras por árboles y edificios cercanos

Un criterio muy importante en la selección para la instalación de paneles solares implica una evaluación técnica minuciosa de la sombra proyectada en la cubierta de los edificios, teniendo en cuenta la presencia de árboles y edificios circundantes. Este análisis se realizó con la ayuda de las fotografías obtenidas con el dron ya que se pudo detallar las cantidades de árboles que podría haber alrededor del edificio y generar sombra, como también si a la cubierta en estudio era sombreada por un edificio alrededor. La incidencia de las sombras varía de acuerdo con la época del año, sin embargo, este tipo de cambios no fueron considerados en el estudio debido a la complejidad y tiempo que implica un estudio de sombras a detalle en un área extensa como lo es el campus central UIS. Este criterio fue analizado para dar como viables aquellos edificios en donde la altura de los arboles no alcance a llegar a la cubierta lo que no pueda generar una sombra de ninguna índole en el año, y se revisó la presencia de edificios más altos o cercanos, donde se excluyeron aquellos que en alguna época del año pudieran generar sombra desde cualquier ángulo.

Los lugares con una exposición solar considerable se priorizan para la instalación de paneles solares, lo que garantiza un rendimiento adecuado de los sistemas fotovoltaicos y la eficiencia en la generación de energía renovable. Este enfoque técnico respalda la toma de

decisiones informadas y el buen manejo de los recursos para lograr una generación sostenible de energía solar en el entorno considerado.

Esto implicó la identificación y registro de los patrones de sombra por árboles y edificios cercanos. Como resultado, se detectaron ciertos edificios que no cumplían con los estándares de exposición solar requeridos para la eficiencia de los paneles solares y la investigación de este proyecto, en la Tabla 3 en el criterio número 4 marcados con una X en NC (no cumple), por lo tanto, se excluyeron de la selección final de cubiertas para la instalación de los sistemas fotovoltaicos. Este enfoque técnico de exclusión garantiza que solo se elijan los sitios que garanticen la generación de energía solar y cumplan con los objetivos de eficiencia energética del proyecto.

1.4.5 Proximidad a un punto de conexión

Otro criterio que es muy importante y necesario para tener en cuenta al momento de la instalación de paneles es la proximidad a un punto de conexión, en todos los diferentes edificios se llevó a cabo una indagación de las subestaciones que alimentan cada estructura en estudio.

Es fundamental tener el punto de conexión lo más cercano posible a la instalación de paneles solares por varias razones:

Eficiencia Energética: cuanto más corta sea la distancia entre los paneles solares y el punto de conexión, menor será la pérdida de energía en el cableado. Esto asegura que la mayor cantidad posible de la energía solar generada se entregue al sistema eléctrico sin disiparse en forma de calor en los cables.

Reducción de Costos: un cableado más corto implica menos material eléctrico necesario, lo que reduce los costos de instalación. Además, al disminuir las pérdidas de energía, se ahorra dinero a lo largo del tiempo en la eficiencia de la generación solar.

Optimización del Diseño: la proximidad del punto de conexión permite una planificación más eficiente del diseño eléctrico, teniendo en cuenta los requisitos específicos de la carga y asegurando una distribución de energía adecuada.

Aprovechamiento del espacio técnico de cada edificio: poseer el punto de conexión del sistema solar fotovoltaico en el mismo edificio, permite abastecer la necesidad energética de manera inmediata y en caso de excedentes entregarlos a otras edificaciones cercanas y en última instancia al Operador de Red.

1.5 Edificios viables para instalación de paneles fotovoltaicos

Luego de aplicar los cinco criterios de selección a cada una de las 33 cubiertas que corresponden a un área aprovechable de 11.104,54 m² previamente identificadas en el contexto de este estudio, se ha llevado a cabo una evaluación exhaustiva con el objetivo de determinar las cubiertas óptimas para la implementación de sistemas fotovoltaicos. Este proceso de selección se ha basado en criterios fundamentales que garantizan la eficiencia y la viabilidad de dichas instalaciones.

Con base a los 5 criterios mencionados anteriormente se excluyeron 23 cubiertas y se han identificado un total de 13 que corresponden a un área aprovechable de 6.195,38 m² reduciéndose en un 55,79% el área aprovechable. Estas cubiertas cumplen de manera sobresaliente con los requisitos establecidos y que se consideran idóneas para la implementación de sistemas fotovoltaicos en el marco de este proyecto. Estas cubiertas no solo satisfacen los aspectos técnicos

y de rendimiento, sino que también ofrecen una sólida base para la gestión eficiente de la energía solar generada y el mantenimiento 2 o 3 veces al año.

Tabla 2.

Edificios viables para instalación de paneles solares.

Nomenclatura UIS	Edificio
3	Administración
7	Bienestar estudiantil
10	Ingeniería Mecánica
12	Biblioteca
17	Laboratorio de livianos
18	Camilo Torres
19	CENTIC
21	Federico Mamitza Bayer
22	E3T
23	Laboratorio de posgrado
24	Ingeniería química
23	Bienestar PRO
31	Jorge Bautista Vesga
34	Residencias Universitarias

Nota. La tabla anterior indica los edificios que fueron seleccionados como viables para la instalación de un sistema solar fotovoltaicos en sus cubiertas, el edificio de la E3T subrayado en azul no hace parte del estudio que se realizó para edificios viables, pero hace parte de la actualización de la instalación fotovoltaica que se va a realizar en dicho edificio. Autoría propia.

La investigación y determinación de estos 5 criterios se catalogaron de una forma cualitativa donde se expresó la idea de si cumplía o no con lo ya mencionado. A continuación, se ilustra una tabla con el registro del escrutinio de cada edificio en estudio donde se demarco con una X si el edificio cumple o no con el criterio indicado.

En el Apéndice E de este proyecto se encuentra un ejemplo de la forma implícita en la cual fueron evaluados los edificios en estudio, para este Apéndice se documentó el edificio de

ingeniería mecánica, los resultados de dicho estudio implícito se encuentran en la Tabla 3 de forma cualitativa.

Tabla 3.

Tabla cualitativa de los criterios para cada uno de los edificios de la universidad

Nomenclatura UIS	NOMBRE DEL EDIFICIO	NUMERO DE CRITERIOS DE SELECCIÓN									
		1		2		3		4		5	
		C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC
1	PORTERIA CRA 27										
2	AUDITORIO LUIS A. CALVO	X		X			X	X		X	
3	ADMINISTRACIÓN	X		X		X		X		X	
4	ADMINISTRACIÓN III		X	X			X	X		X	
6	ADMINISTRACIÓN II	X		X			X	X		X	
7	BIENESTAR UNIVERSITARIO	X		X		X		X		X	
8	LA PERLA										
9	CIENCIAS HUMANAS II										
10	INGENIERÍA MECÁNICA	X		X		X		X		X	
11	AULA MAX. INGENIERÍA MECÁNICA										
12	BIBLIOTECA	X		X		X		X		X	
13	PLANTA TELEFONICA (CAFE. CENTRAL)										
14	INSTITUTO DE LENGUAS	X			X		X		X		X
15	INGENIERÍA INDUSTRIAL		X	X		X		X		X	
16	LAB. DE BIOLOGIA (BIOL. VEGETAL)										
17	LABORATORIOS LIVIANOS	X		X		X		X		X	
18	CAMILO TORRES	X		X		X		X		X	
19	CENTIC	X		X		X		X		X	
20	CAPRUIS Y FAVUIS	X		X			X		X		X
21	FEDERICO MAMITZA BAYER	X		X		X		X		X	
22	INGENIERÍA ELÉCTRICA										
23	LABORATORIO DE POSTGRADO	X		X		X		X		X	
24	INGENIERÍA QUÍMICA	X		X		X		X		X	
25	AULA MÁXIMA DE FÍSICA	X		X		X		X		X	
26	CDIHR, CICELPA, CEIAM	X		X		X		X		X	
27	LABORATORIO DE ALTA TENSIÓN										
28	LABORATORIO DE HIDRÁULICA										
29	TALLER DE DISEÑO INDUSTRIAL										
30	PLANTA DE ACEROS		X		X		X		X		X
31	JORGE BAUTISTA VESGA	X		X		X		X		X	
32	FÍSICO MECÁNICAS	X			X		X	X			X
33	DANIEL CASAS		X		X		X	X		X	
34	RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS	X		X		X		X		X	
35	EDIC										
36	KIOSKO RESIDENCIAS										
37	CIENCIAS HUMANAS		X	X		X		X		X	
38	JARDINERÍA										
43	COLISEO		X		X		X	X		X	
45	CENIVAM										
46	KIOSKO CAFETERÍA										
48	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	X			X	X			X		X
49	LOGÍSTICA	X			X		X		X		X
52	LIBRERÍA UIS										
53	CUARTO DE BASURAS										
54	PLANTA DE RECICLAGE										
58	MODULO BOSQUE										
60	PORTERIA CRA 30										
62	CAFATERIA CAMILO TORRES										
63	AUDITORIO SALA JORGE ZALAMEA										

Nota. En la tabla 3 se puede observar un registro cualitativo donde se marca con una X, indicando si cumple (C) o no cumple (NC) el criterio de selección para cada uno de los edificios de la universidad. Autoría propia.

Tabla 4.

Tabla de convenciones de color para la Tabla 2

MENORES A 165 m ²	Gray
NO VIABLES	Red
VIABLES	Green
REMODELACIÓN O EN CONSTRUCCIÓN	Purple
ACTUALIZACIÓN	Blue

Nota. En la Tabla 3 se cataloga el significa de cada color en la Tabla 2 para hacer un escrutinio cualitativo de cada edificio.

2. Puntos de conexión para las instalaciones eléctricas fotovoltaicas viables en los edificios del campus central de la universidad.

En este capítulo se especificarán las características de cada punto de conexión que se identificó para cada edificio seleccionado como viable para instalaciones de paneles solares, se describirá su ubicación, y la capacidad de cada transformador.

Los puntos de conexión internos de la universidad son desconocidos para el operador de red (ESSA). Dicho operador posee la información del primer proyecto de instalación eléctrica en la universidad (los primeros puntos de conexión) que en su mayoría se encuentran desactualizados, por lo que la información de los puntos de conexión internos actualizados se obtuvieron por parte área de planta física de la universidad.

En cuanto a las 4 fronteras comerciales del operador de red con la universidad (alta tensión, CENIVAM, Humanas y coliseo) se obtuvieron sus matrices de consumo que se pueden encontrar en el Apéndice O, sin embargo, debido a la poca información disponible no llegó a ser relevante para el estudio.

Como se ha mencionado un criterio importante es que las instalaciones deberían estar lo más cerca posible al punto de conexión por rendimiento en la generación eléctrica de los paneles. Cabe aclarar que un edificio sea determinado como viable no implica que posea un punto de conexión propio. Estos edificios sin subestación propia pueden estar alimentados por la subestación de otro edificio cercano. Estos edificios que alimentan varios edificios alrededor y disponen de espacio para nuevas conexiones son los puntos considerados en este estudio como puntos de conexión. Por lo que hay una cierta cantidad de edificios cuyas subestaciones distribuyen la energía en los edificios de a su alrededor.

En la Tabla 5 se detalla cada uno de los puntos de conexión que se tomaron en cuenta para la instalación del sistema solar fotovoltaico, donde se describe la capacidad de cada transformador.

Tabla 5.

Puntos de conexión para el sistema de instalación fotovoltaico.

Punto de conexión	Edificios que alimenta	Capacidad Transformador (kVA)
Administración I	Administración I	150
Administración II	Bienestar universitario	300
Laboratorio de Livianos	Laboratorio de livianos	500
	Laboratorios de Posgrados	
Ingeniería química	Camilo Torres	225
	Ingeniería química	
E3T	E3T	630
Biblioteca	Biblioteca	315
	Mamitza Bayer	
Coliseo	Residencias estudiantiles	400
Bienestar profesoral	Bienestar pro	400
Ingeniería mecánica	Mecánica	800
Jorge Bautista Vesga	Jorge Bautista Vesga	630
CENTIC	CENTIC	500

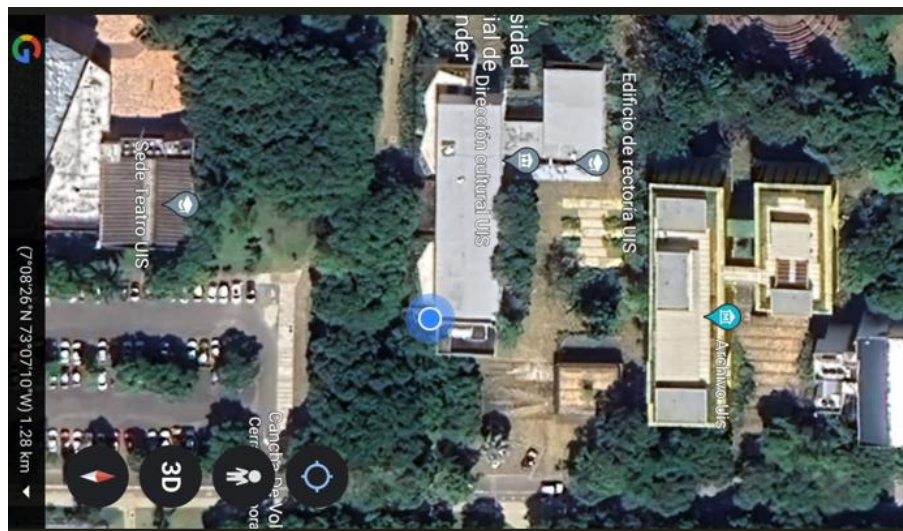
Nota. En la Tabla 5 se catalogan cada uno de los puntos de conexión que se indagaron para la viabilidad del sistema de generación solar en donde se tabula la capacidad. Autoría propia.

2.1 Edificio de Administración I

Este punto de conexión se destinará para la instalación fotovoltaica ubicada en la cubierta del edificio de administración, está ubicado en este mismo edificio a un costado de la parte de atrás de la infraestructura en la planta baja, cuenta con un transformador de 150 kVA.

Figura 3.

Ubicación subestación eléctrica del edificio de administración I.



Nota. Imagen de la ubicación en Google Earth de la subestación eléctrica del edificio de administración. Tomado de Google Earth.

La conexión se desplegará desde este cuarto a la cubierta del edificio de administración para la respectiva instalación de los paneles solares.

Cabe destacar que esta subestación también cuenta con un grupo electrógeno de emergencia de 125 kW, es importante ya que se deberá tomar en cuenta para la instalación del sistema solar fotovoltaico en este edificio, ya que se debe tomar en cuenta la instalación de una

protección anti- isla ya que el sistema debe funcionar de manera adecuada con halla un corto de suministro eléctrico de la red.

Figura 4.

Fotografía de subestación eléctrica del edificio de administración.



Nota. Fotografía de la subestación eléctrica de administración donde se pueden apreciar el transformador y gabinete con tableros de distribución del edificio. Autoría propia.

En el Apéndice F de este documento se detallan los demás puntos de conexión que aparecen en la tabla 5, en donde se podrá encontrar la misma información que se describió en el punto de conexión del edificio de administración I.

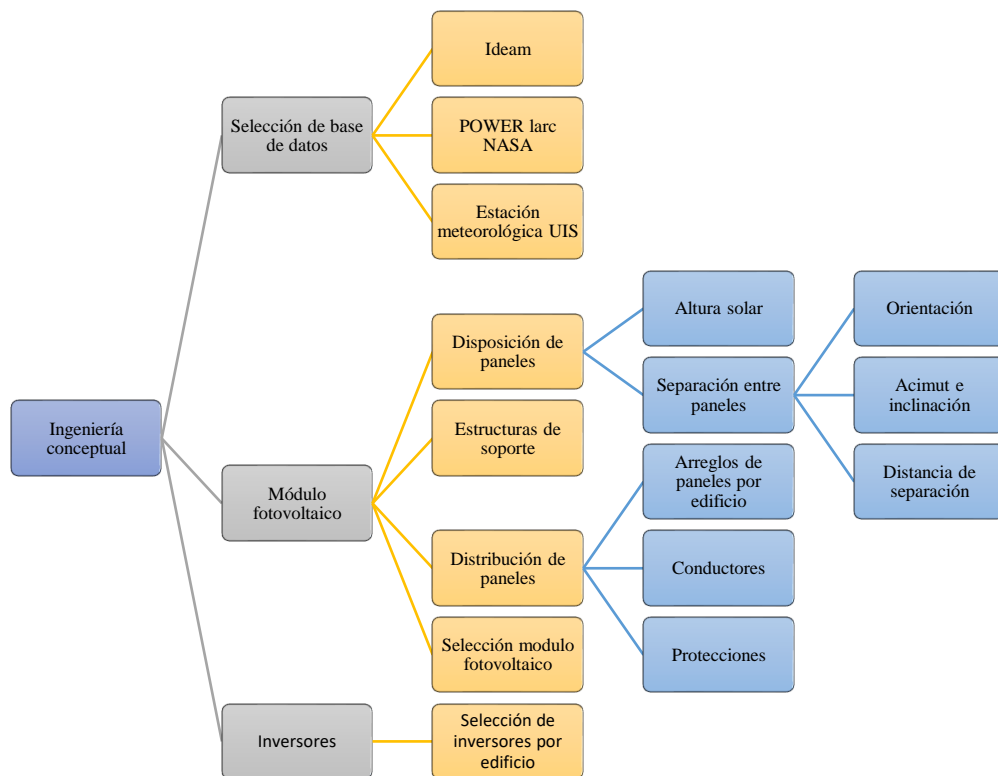
3. Ingeniería conceptual de la instalación del sistema eléctrico fotovoltaico en las cubiertas seleccionadas

La ingeniería conceptual es un paso fundamental en el diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos, ya que establece las bases y los principios esenciales para llevar a cabo y garantizar que la instalación de sistemas fotovoltaicos sea exitosa y cumpla con los objetivos del proyecto. Esta etapa principal se centra en la concepción general del proyecto considerando aspectos técnicos y económicos, entre otros.

La presentación general del proceso de ingeniería conceptual de diseño aplicada para el desarrollo del proyecto está descrita por la Figura 5. .

Figura 5.

Diagrama de flujo para la ingeniería conceptual de diseño



3.1 Selección base de datos climatológicos.

Como un primer paso para evaluar el potencial fotovoltaico de una zona de interés se debe definir la fuente de información climatológica en la que se basará el estudio, o preferiblemente realizar medición de dichos parámetros en sitio. Por lo que se propone usar fuentes de información WEB además de la información proporcionada por las estaciones meteorológicas al interior de la universidad.

3.1.1 Atlas solar IDEAM

El IDEAM dentro del atlas de radiación solar ofrece datos de la Irradiación solar Global Horizontal (G_{H_d}) obtenidas con la ayuda de 110 piranómetros del IDEAM calibrados en terreno. Con los sensores de radiación instalados en las EMAS y calibrados se mejoraron los resultados de la modelación. La cuantificación del brillo solar se valida con información de 607 heliógrafos del IDEAM. Cuenta con información que va desde 1981 hasta el 2010 para la versión disponible del 2018.

3.1.2 NASA Power

La NASA, a través de su programa de investigación en Ciencias de la Tierra, ha brindado durante mucho tiempo apoyo a sistemas de satélites e investigaciones que proporcionan datos importantes para el estudio del clima y los procesos climáticos. Estos datos incluyen estimaciones climatológicas a largo plazo de cantidades meteorológicas y flujos de energía solar en la superficie. Además, se proporcionan valores diarios promedio de los datos meteorológicos básicos y solares en formato de series temporales. Estos productos, basados en satélites y modelos, se ha demostrado que son lo suficientemente precisos como para ofrecer datos fiables sobre recursos solares y

meteorológicos en regiones donde las mediciones en la superficie son escasas o inexistentes (NASA POWER Docs, 2023).

El proyecto POWER se inició en 2003 como una extensión del proyecto SSE. El proyecto POWER inicial abarcaba el componente SSE y agregó dos nuevos conjuntos de datos con aplicabilidad en las industrias arquitectónicas (por ejemplo, Edificios Sostenibles) y agrícolas (por ejemplo, Agro climatología), con el objetivo continuo de mejorar y ampliar los parámetros específicos incluidos en cada sección de POWER (NASA POWER Docs, 2023).

La resolución horizontal de la fuente principal de datos solares es una cuadrícula global de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitud/longitud, mientras que las fuentes de datos meteorológicos son de $\frac{1}{2}^\circ \times \frac{5}{8}^\circ$ de latitud/longitud. En esta versión actual, los datos ya no se mapean a una cuadrícula común. Una vez que los datos se procesan y archivan, se ponen a disposición a través del Conjunto de Servicios de POWER.

3.1.3 Estaciones meteorológicas UIS

Dentro del campus universitario se cuenta con una estación meteorológica en el edificio de la escuela de ingeniería eléctrica electrónica y telecomunicaciones, de la cual se puede obtener datos medidos desde el 01/09/2022 hasta el 14/09/2023, sin embargo, la medición ha sido poco regular pues se ha visto interrumpida por periodos debido a factores como cortes en el flujo eléctrico.

La base de datos del IDEAM a pesar de ser una de la que entrega datos medidos en sitio no es una fuente con datos muy recientes. NASA POWER presenta ventajas frente a las demás respecto a la cantidad de parámetros que modela (parámetros que las demás no ofrecen). En cuanto a la exactitud de las mediciones realizadas por la NASA, se han contrastado resultados con

mediciones en tierra y se estima que el error RMS sobre los valores mensuales es de alrededor del 13% - 16% (Galvis Pacheco & Morales Ardila, 2017). Por otro lado, la estación meteorológica presenta inconvenientes debido a la limitación de los parámetros captados, ya que, de entre los 36 parámetros que capta, debido al alcance del proyecto solo 3 de estos son relevantes para el estudio. Por estas razones se deduce que la base de datos más recomendable entre las consideradas y que se usará para este estudio es NASA POWER.

3.2 Módulo fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos, también conocidos como paneles solares, son dispositivos que convierten la energía solar en electricidad utilizando un proceso llamado efecto fotovoltaico. Estos dispositivos son fundamentales en la generación de energía renovable y desempeñan un papel crucial en la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. El proceso del efecto fotovoltaico implica la absorción de fotones por parte de un material semiconductor, lo que provoca la generación de pares de electrones y huecos (vacantes de electrones) en el material. Estos pares electron-hueco se separan debido a un gradiente de potencial eléctrico en el material, lo que resulta en la creación de una corriente eléctrica si existe un circuito cerrado.

La tecnología de los paneles fotovoltaicos ha avanzado significativamente en las últimas décadas, lo que ha permitido una mayor eficiencia y una reducción de costos. Las tecnologías comercialmente más conocidas son las monocristalina, policristalina y amorfa. Siendo la primera la que alcanza eficiencias más altas y a precios competitivos por su uso generalizado.

La energía solar generada mediante paneles fotovoltaicos es una fuente de energía limpia y renovable, sin embargo, en su fabricación se generan emisiones de CO₂, pero son compensadas con creces durante su operación, además algunas compañías de fabricación obtienen su energía de

fuentes renovables, de modo que las emisiones son mínimas. Dada la ubicación preferencial de Colombia con respecto a la línea del Ecuador, presenta trayectorias solares casi lineales durante el año garantizando una producción casi constante, pero con ligeros cambios estacionales entre invierno (lluvias) y verano (soleado), teniendo en cuenta variaciones excéntricas en casos de fenómeno niño y niña. Según SER Colombia, el gran potencial de energía eólica y solar del país se estima en 30 GW y 32 GW, respectivamente, lo que supera la capacidad instalada actual de Colombia de 18,8 GW. Sin embargo, este potencial ha permanecido en gran medida sin explotar: la capacidad instalada operativa del país en la energía solar en 2022 fue de 290 MW y para la eólica de 18,4 MW, lo que representa el 1,5% y el 0,1% de la capacidad eléctrica, respectivamente (Vega Araújo & Muñoz Cabré, 2023).

3.2.1 Selección del módulo fotovoltaico

En este estudio no se tuvieron en cuenta los coeficientes de temperatura debido a que este proyecto contempla la ingeniería conceptual previa a un diseño final. Para la selección del módulo fotovoltaico a utilizar en el desarrollo de este trabajo de grado se planteó definir parámetros en base a un sondeo de las ofertas en el mercado web colombiano. Los parámetros definidos se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6.

Criterios definidos de selección para los paneles fotovoltaicos

Criterio	Valor definido	Observación
Tipo de módulo	Silicio monocristalino	Tecnología que presenta las eficiencias más altas a precios competitivos
Potencia de salida	≥ 400 WP	Potencia pico mínima entregada por panel fotovoltaico
Eficiencia	≥ 20%	Eficiencia mínima considerada para la selección de paneles solares
Precio unitario	≤ 1.200.000	Costo unitario máximo de los paneles solares
Voltaje de potencia máxima (Vmp)	38 V	Tensión de funcionamiento en condiciones de potencia máxima
Corriente de potencia máxima (Imp)	13 A	Corriente de funcionamiento en condiciones de potencia máxima
Tensión en circuito abierto (Voc)	≥ 42 V	Tensión máxima a la salida del panel en condiciones sin carga
Corriente en corto circuito (Isc)	≥ 13,5 A	Corriente máxima a la salida del panel en condiciones sin carga

Considerando los criterios establecidos y variedad de páginas de distribuidores en el mercado nacional, se seleccionaron una diversidad de módulos que garantizan el cumplimiento de los parámetros de selección señalados. Además, se consultaron los costos, las referencias y fichas técnicas, que se encuentran en el Apéndice G. En la Tabla 7. se listan los módulos seleccionados.

Tabla 7.

Referencias módulos fotovoltaicos seleccionados

Paneles	Referencia	Fabricante	Potencia nominal [Wp]	Costo unitario [COP]	Relación costo/potencia [COP/Wp]
Panel Solar 545W JA Solar Mono PERC	JAM72S30-545/MR	JA Solar	545	\$ 1.038.665	\$ 1.906
Panel solar 500W Deep Blue 3.0 JA Solar	JAM66S30-500/MR	JA Solar	500	\$ 717.647	\$ 1.435
Panel Solar 550W 24V Monocristalino PERC EcoGreen	-	EcoGreen	550	\$ 1.152.002	\$ 2.095
Panel Solar 450W 24V Monocristalino PERC EcoGreen	-	EcoGreen	450	\$ 889.963	\$ 1.978
Panel Solar 540W 24V Monocristalino EcoGreen	-	EcoGreen	540	\$ 1.061.669	\$ 1.966
Panel Solar 445W 24V Monocristalino PERC Canadian Solar	CS3W-445	Canadian Solar	445	\$ 1.164.574	\$ 2.617
Panel Solar 550 Watts Monocristalino JA SOLAR	JAM72S30-550/MR	JA Solar	550	\$ 998.000	\$ 1.815

Paneles	Referencia	Fabricante	Potencia nominal [Wp]	Costo unitario [COP]	Relación costo/potencia [COP/Wp]
Panel Solar 550 Watts Monocristalino Trina Solar	Vertex 550W	Trina Solar	550	\$ 1.046.000	\$ 1.902
Panel Solar 590 Watts Mono Luxen	LNVH-590M	Luxen	590	\$ 1.062.000	\$ 1.800

Las referencias ‘Panel solar 500W Deep Blue 3.0 JA Solar’ y ‘Panel Solar 590 Watts Mono Luxen’ mostradas en la Tabla 7. son las más adecuadas para el estudio considerando que son las dos opciones con la relación costo potencia más baja, sin embargo, su mayor diferencia radica en la potencia pico por módulo, siendo la del panel de JA Solar de 500Wp y la de Luxen de 590Wp. Hay un panel ideal si se desea que la potencia instalada sea mayor, no obstante, es de mayor tamaño. Por ende, para el diseño se seleccionó el panel de JA Solar por su mejor relación costo potencia. En el Apéndice H paneles, se muestran las datasheets de las dos referencias mencionadas.

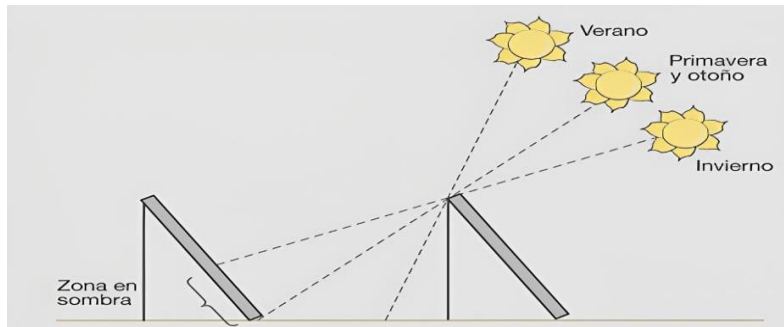
3.3 Disposición de paneles

Normalmente el espacio disponible (por ejemplo, la cubierta o la azotea del edificio) para distribuir el campo solar suele ser limitado. Por ello, los módulos deben situarse en filas, unos detrás de otros, con el riesgo de que los situados delante proyecten sombras sobre los de atrás (Ortega Lisón & Cañadas Beltrán, 2015, pág. 172)

Por lo que la separación de módulos se hará de forma que el día más desfavorable (altura solar mínima h_0), la sombra de la arista superior de una fila se proyecte (como límite) sobre la arista inferior de la fila siguiente (Ortega Lisón & Cañadas Beltrán, 2015):

Figura 6.

Influencia de altura solar en la separación entre filas de módulos



Nota. La figura representa la incidencia de los rayos solares sobre la arista superior de los paneles de la primera fila y su efecto sobre las anteriores a la misma. Tomado de Energía solar fotovoltaica (pág. 172)

Por tanto, es imprescindible conocer cuál es la altura solar mínima y para ello se debe considerar que la instalación se usará durante todo el año, por ende, se usó la siguiente ecuación para el cálculo de la altura solar mínima:

$$h_0 = (90^\circ - \Phi) - 23,5^\circ$$

En donde Φ se refiere al ángulo horario promedio solar mensual más bajo respecto al horizonte de la ventana solar considerada.

3.3.1 Altura solar

Para el cálculo de la altura solar se usó la herramienta solar de la NASA, el proyecto POWER. El cual provee múltiples parámetros útiles para el estudio. Dentro de esta herramienta se obtuvo la información de los ángulos solares mensuales horarios promedio para todo el intervalo de tiempo disponible, posteriormente se definió la ventana solar considerada de mayor incidencia de radiación diaria, que va desde las 9:00 a.m. hasta las 3:00 p.m. Dentro de esta ventana se buscó

el ángulo mensual horario promedio más bajo (Apéndice G) con un valor de 0,93° para luego evaluarlo en la ecuación para la altura solar mínima:

$$h_0 = (90^\circ - 0,93^\circ) - 23,5^\circ$$

Y obtener como resultado de la ecuación un valor para la altura solar mínima de:

$$h_0 = 66,5^\circ$$

3.3.2 Separación entre paneles

Posterior al cálculo de la altura solar mínima se procedió al cálculo de la distancia de separación de los paneles, sin embargo, antes de poder continuar se deben definir algunos parámetros relacionados a la ubicación.

3.3.2.1 Orientación. El criterio fundamental que debe seguirse para elegir los valores de inclinación y orientación ideal del campo fotovoltaico es lograr la captación más favorable de energía solar durante el periodo de uso de la instalación. Para ello debe seguirse la siguiente recomendación (Ortega Lisón & Cañadas Beltrán, 2015, pág. 158):

Figura 7.

Orientación recomendada

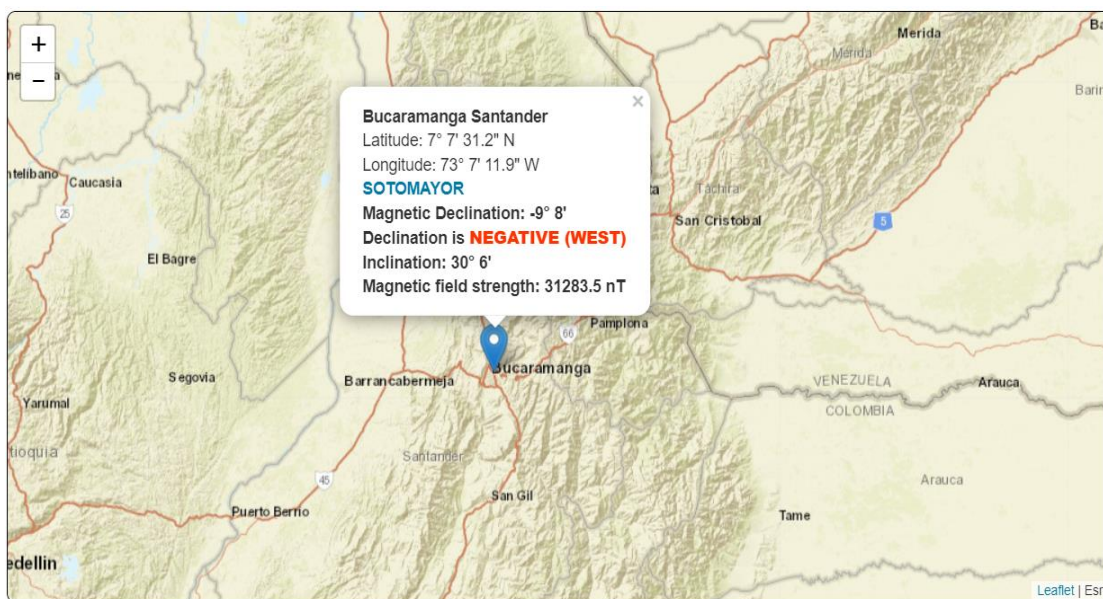
Ubicación de la instalación	Orientación recomendada
Hemisferio norte	Sur geográfico
Hemisferio sur	Norte geográfico

Nota. La figura muestra la orientación hacia la cual debe apuntar el receptor según el hemisferio en el que se ubique. Tomado de Energía solar fotovoltaica (p. 158)

Se resalta que para este caso la ubicación de estudio se encuentra en el hemisferio norte del planeta. Siguiendo la recomendación se ubicarán las caras captadoras de los módulos hacia el sur geográfico. Es necesario mencionar que la declinación magnética es la diferencia entre el norte o sur magnético señalado por una brújula y el verdadero punto cardinal geográfico. Por ende, para que los paneles apunten al sur geográfico se debe hacer una corrección de aproximadamente 9° hacia el este.

Figura 8.

Declinación magnética



Nota. Se muestra la declinación magnética para la ciudad de Bucaramanga con ayuda de la página Magnetic Declination. <https://www.magnetic-declination.com/>

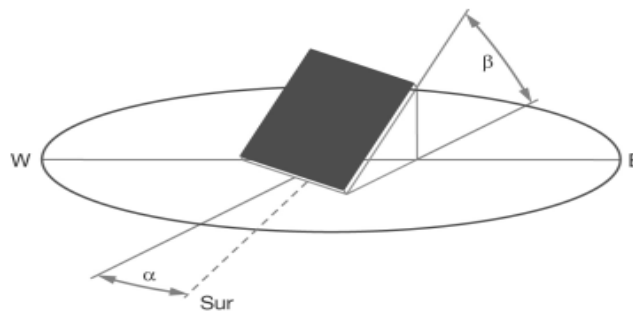
Sin embargo, debido a que no se encuentra comprendido en los alcances de este trabajo y que la aplicación de la declinación magnética se presenta como parte del diseño final, esto no fue considerado por el presente estudio.

3.3.2.2 Acimut e inclinación. El acimut α es el ángulo de la proyección horizontal de la recta normal al plano del vector respecto al sur (en hemisferio norte) o con el norte (en hemisferio sur). Tomando las proyecciones sobre el plano horizontal desde donde se observa, se mide en sentido horario si la ubicación se encuentra en la zona norte y antihorario en caso de que se encuentre en la zona sur. Generalmente por limitaciones en el espacio de instalación de los paneles u orientación de la edificación no se usa el acimut ideal, que es 0° y es el que se consideró en el desarrollo de este proyecto.

La inclinación β del captador es el ángulo que forma el plano horizontal con el plano de la superficie definida por el colector. Los ángulos de inclinación óptimos varían según la latitud del lugar de instalación, para el caso específico de este trabajo de grado es de 7.1408411° , sin embargo, se definió un ángulo de inclinación para los paneles de 15° porque es un ángulo que permite un autolavado en los paneles y evita empozamientos de agua sobre el mismo (Christian Espitia, Asignatura dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, 2023). Esta inclinación produce pérdidas aproximadas de 0,216% calculadas en el Apéndice G. Por ende, no representa una afectación considerable en la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos.

Figura 9.

Acimut e inclinación de un colector



Nota. La figura representa la orientación en acimut e inclinación para un panel fotovoltaico.

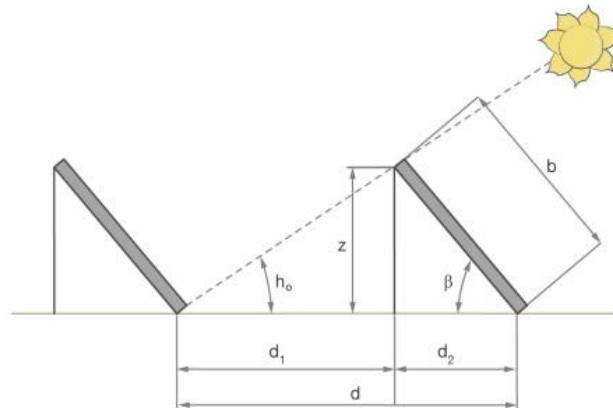
Tomado de Energía solar fotovoltaica (p. 158)

3.3.2.3 Distancia de separación entre paneles. Consecutivamente se usaron las fórmulas derivadas de la

Figura 10. , que muestra la relación entre la distancia mínima entre filas de paneles y otras dimensiones de los módulos:

Figura 10.

Distancia mínima entre módulos



Nota. La imagen muestra las relaciones entre las dimensiones del panel solar y las distancias de separación óptimas dadas por la incidencia de los rayos solares sobre la arista superior del panel. Tomada de Energía solar fotovoltaica (p. 173).

Se define que la fórmula de distancia está dada por:

$$d = b \times \left(\frac{\sin \beta}{\tan h_0} + \cos \beta \right)$$

En donde:

$d \rightarrow$ distancia de separacion de los paneles

$b \rightarrow$ Altura del panel solar

$h_0 \rightarrow$ *Altura solar mínima*

$\beta \rightarrow$ *Ángulo de inclinación del panel*

Considerando las especificaciones de los módulos fotovoltaicos seleccionados dadas por el fabricante y detalladas en el Apéndice H, se precisan las dimensiones de los módulos: 2093 x 1134 x 30mm. Y se define que para este estudio los paneles serán ubicados de forma horizontal para aprovechar de mejor manera el área de ocupación en las cubiertas. Por consiguiente, la altura de los módulos será de 1134mm o 1,134m. Por lo tanto, reemplazando en la ecuación anterior se obtiene la distancia de separación entre las aristas de los módulos fotovoltaicos, es decir, la distancia entre la base de un panel a la del siguiente:

$$d = 1,134 \times \left(\frac{\sin 15}{\tan 66,5} + \cos 15 \right)$$

$$d = 1,2229m$$

A pesar de todo, incluso respetando las distancias mínimas, durante las primeras y últimas horas del día de los meses de diciembre y enero, las sombras proyectadas por las hileras pueden llegar a cubrir parte de los paneles situados detrás. Por ello, si se dispone de espacio suficiente es aconsejable aumentar un 25% la distancia mínima hallada anteriormente (Ortega Lisón & Cañadas Beltrán, 2015, pág. 174). Consecuentemente se obtiene:

$$d = 1,2229 \times 1,25 = 1,5287m$$

Se recomienda aproximar el resultado al valor entero superior más cercano, con la finalidad de hacer más sencillo el diseño. Entonces se cuenta un espaciamiento entre filas de módulos fotovoltaicos de 1,53m. El detalle de los cálculos se encuentra en el Apéndice G

3.4 Estructura de soporte para los módulos fotovoltaicos.

En este capítulo se pretende abordar las diferentes estructuras de soporte para los módulos solares las cuales deben resistir las sobrecargas de viento y altos niveles de temperatura presentadas, en el diseño la estructura es un sistema de fijación de módulos que tiene diferentes dilataciones térmicas con el propósito de sujetar los módulos solares cumpliendo con indicaciones de cada fabricante, los puntos de anclaje y sujeción de los módulos serán los suficientes que garanticen un correcto ajuste de las estructuras, considerando áreas de instalación, la estructura debe ser capaz de sujetar superficialmente los paneles y proteger los módulos contra agentes contaminantes, el tipo de material utilizado para la implementación de este tipo de estructuras debe realizarse con materiales que no sufran alguna degradación al pasar del tiempo como lo es la tornillería, esta debe ser en acero inoxidable en el caso de una estructura galvanizada se pueden desarrollar con tornillos galvanizados, cuando las instalaciones se implementan en terrazas y verificando especificaciones se debe garantizar que las estructuras estén diseñadas para soportar factores climatológicos externos y se debe realizar un mantenimiento periódicamente, garantizando que la estructura no falle y disminuya el porcentaje de pérdida de generación fotovoltaica a causa de una mala implementación en las estructuras de soporte.

Existen dos tipos de estructuras, las fijas y las móviles para el caso de este proyecto se contemplan las estructuras fijas en las diferentes terrazas de los edificios cumpliendo con los ángulos óptimos de inclinación y tipo de anclajes en el mortero de cada cubierta en estudio.

Estructuras fijas: son muy usadas en el sector de los paneles fotovoltaicos planos. Proporcionan a los módulos una inclinación estable, definida por la latitud de la zona geográfica para tener una mayor eficiencia de la instalación.

Figura 11.*Estructura tipo fija*

Nota. La imagen muestra el modelo de una estructura fija, tomada de autosolar.com

3.4.1 Ventajas de una estructura fija

- Este tipo de estructura tiene ciertas ventajas son más económicas que las estructuras móviles.
- Requieren un menor mantenimiento, se caracterizan por ser dispositivos muy seguros y estables.
- No conllevan un gasto de energía eléctrica.
- Su estructura más sencilla deriva habitualmente en un peso más bajo: aproximadamente 60 kg de por cada KWp instalado, en comparación a los 150 kg por KWp en las estructuras móviles con un solo apoyo central o a los 250 kg por KWp en las estructuras horizontales.

Para el diseño de estructura es fundamental revisar las diferentes cargas presentes para este sistema cargas fijas, cargas temporales y cargas ocasionales este tipo de cargas se clasifica según el material y los elementos que influyen en la estructura.

En el análisis estructural de cada edificio se puede evidenciar el tipo de estructura a utilizar para esto se conoce valores previamente calculados como lo son la cantidad de módulos seleccionados el tipo de panel a utilizar con dimensiones especificadas, para conocer un tipo de estructura y materiales adecuados, se indaga en la herramienta de simulación estructural K2

SYSTEMS la cual proporciona una estructura con los lineamientos necesarios para cada soporte, teniendo presente factores importantes.

En primera medida se tiene un análisis detallado del como calcular la estructura de tipo rígida y fija para esto se tiene en cuenta los elementos de estructura a conectar la estructura apta seleccionada para el soporte de paneles ubicados de manera que garantice un soporte resistente contra condiciones externas del ambiente como lo es la velocidad del viento, torsión del viento la nubosidad, el peso total de los módulos, cargas externas de elementos o propias de la estructura de soporte para este tipo de aplicación.

La estructura seleccionada para el primer tipo de soporte es TILTUP SINGLEROW que se describe con ciertas características:

En el presente ejemplo se revisa el diseño estructural en este caso se toma como base el edificio de administración para efectos de presentación y estructuración del documento se muestra solo el análisis para este edificio, las diferentes simulaciones para los edificios en estudio se encuentran condensadas en el Apéndice K.

Figura 12.

Ubicación de módulos en el edificio de administración



Nota. La figura 11 muestra la distribución de los 72 módulos fotovoltaicos seleccionados para el edificio de administración.

Figura 13.

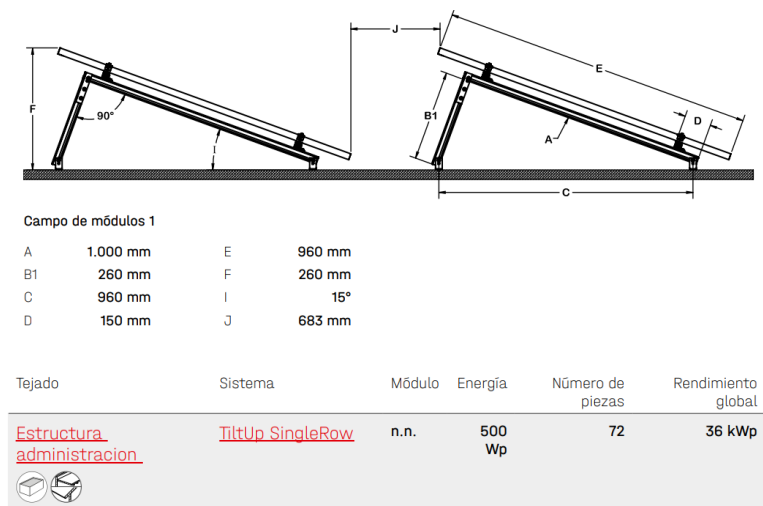
Características del módulo, cargas y Factores externos.

Módulo									
Nombre	n.n.								
Fabricante	n.n.								
Rendimiento	500 Wp								
Dimensiones	1.600×960×35 mm								
Peso	26,0 kg								
Componentes									
Fijación	L-Foot Slotted Set, Mill								
Guías de base	48-X								
Cargas en los módulos (dimensionamiento de módulos)									
Zona	A-TrA [m ²]	Verificación de seguridad estructural [Pa]				Verificación de idoneidad de uso [Pa]			
		Presión ⊥	Presión	Elevación ⊥	Elevación	Presión ⊥	Presión	Elevación ⊥	Elevación
Medio	1,54	320,8	45,4	-496,3	27,3	320,8	45,4	-496,3	27,3
Borde	1,54	320,8	45,4	-756,2	27,3	320,8	45,4	-756,2	27,3

Nota. La imagen muestra como modelar los diferentes factores externos que se presentan en el entorno de aplicación de los paneles donde se contemplan tramos como el borde y el medio de la estructura. (SYSTEMS, 2023).

Figura 14.

Características de la estructura inclinación de los módulos.



Nota. En la presente imagen se muestra las características obtenidas en el sistema como lo es la distancia entre fijaciones, ángulo de inclinación y dimensiones de módulos. (SYSTEMS, 2023).

Figura 15.

Factores característicos para selección de estructuras.

Resultado de la utilización

Zona	Distancia entre fijaciones	Fuerza de descenso	Empuje vertical	Fuerza cortante	Capacidad de sujeción máx. permitida	Voladizo máx. permitido	Fuerza máxima de descenso	Empuje vertical máximo	Fuerza cortante máxima
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]
Medio	1,930	0,60	0,89	0,48	1.930,4	0,643	0,60	0,89	0,48
Borde	1,930	0,60	0,89	0,48	1.930,4	0,643	0,60	0,89	0,48

Nota. En la presente imagen se presenta agentes externos como el empuje vertical, fuerza cortante, capacidad de sujeción, empuje vertical y factores importantes para garantizar la estabilidad de la estructura y aumentar la eficiencia propiamente del sistema. (SYSTEMS, 2023).

3.4.2 Descripción de elementos seleccionados según el tipo de estructura.

En este apartado se pretende describir los diferentes elementos de las estructuras de soporte para los edificios seleccionados donde por medio de la simulación en la herramienta de simulación en k2 SYSTEMS se analizaron parámetros fundamentales para garantizar una correcta selección de la estructura de soporte, de este trabajo se obtuvo el listado de los diferentes elementos a utilizar en la implementación de un sistema fotovoltaico para cada uno de los edificios estos resultados están consignados en el Apéndice K.

Tabla 8.

Lista de elementos estructurales seleccionados para todos los edificios.

Cantidad	Unidad	Nombre de producto
746	unidad	Paneles solares monocristalinos de 500Wp Trina Half Cell - Vertex
761	unidad	Cross Rail 48-X, 4.27m Rail, Mill
508	unidad	Rail Conn CR 48-X,48-XL Struct Set, Mill
1294	unidad	L-Foot Slotted Set, Mill
647	unidad	Cross Rail Tilt Connector Set
1294	unidad	Cross Rail Climber w/Hole, 13mm Hex Set
1242	unidad	CR MC Silver, 30-49mm, Shared RL 30-40mm
76	unidad	CR EC Silver, 33-50mm, Shared RL 33-40mm
664	unidad	HEYClip Sun Runner Cable Clip SS, S6404
659	unidad	Wire Management Clip, Omega, Black
1318	unidad	Wire Management Clip, TC
296	unidad	Cross Rail Flat Endcap, CR 48-X,48-XL
186	unidad	CR Sleeves
57	unidad	K2 Ground Lug, 13mm Hex Set
252	unidad	MLPE, Module Frame Mount, Kit
50	unidad	Cross Rail 48-X 166", Mill
24	unidad	RailConn CR 48-X,48-XL Struct Set, Mill
124	unidad	Yeti Hidden EC for CR, Mill

Nota. la tabla 8 lista de elementos estructurales propuestos en las simulaciones estructurales a utilizar en la implementación del sistema, así como también módulos solares seleccionados, estas cantidades son las más adecuadas para el estudio considerando los diferentes elementos de la estructura de soporte obtenidos por medio de la simulación que tiene en cuenta condiciones climatológicas del lugar de instalación y además se presenta el total de módulos solares seleccionados, en la tabla 20 se documentan los demás elementos que conforman en conjunto los elementos a utilizar en la implementación del sistema fotovoltaico.

3.4.2.1 Estructura para soporte del inversor. Dimensiones de inversor 680/508/281mm

Para el caso de la estructura del inversor se escoge una estructura modular en acero inoxidable que garantice una correcta ventilación del inversor y protección contra condiciones climáticas externas con dimensiones ajustables para los diferentes inversores.

Figura 16.

Estructura de protección para inversor solar.



Descripción del producto

Amplias aplicaciones: el recinto eléctrico es ideal para proyectos electrónicos, gabinetes, unidades de fuente de alimentación, caja de controlador de temperatura, etc., ideal para uso en interiores y exteriores.
 Nombre del producto: Caja de conexiones
 Material: acero inoxidable
 Tamaño de caja eléctrica de pie (altura* longitud* ancho cm)
 H30*L25*W15cm
 H40*L30*W20cm
 H50*L40*W20cm
 H60*L50*W20cm
 Dimensiones de la caja eléctrica montada en la pared (H* L* W cm)
 H50*L40*W30cm
 H60*L50*W25cm
 H60*L50*W36cm
 H70*L50*W25cm
 Proceso: proceso de pulido
 Clase de protección: IP67
 Tipo de instalación: Montaje en pared
 Aplicación: Exterior/Interior

Ampliamente utilizado:
 √ Sistema de comunicación inalámbrica para exteriores
 Control de iluminación montado en la pared.
 √ Sistema de seguridad.
 √ Equipo de prueba
 √ Proyectos de bricolaje y más

Caja de conexiones impermeable IP67
 El diseño de la caja de conexiones impermeable puede evitar eficazmente que salpicaduras de agua, lluvia, polvo, nieve y aceite entren en el recinto eléctrico y causen daños.
 Aviso:
 Acerca del color: la imagen del producto se toma en especie, pero debido a la iluminación, la pantalla y otras razones, puede haber una ligera diferencia de color.
 Acerca del tamaño: el tamaño del producto se mide manualmente, puede haber un error de 0.4 a 0.8 pulgadas

Nota. Estructura sólida: la carcasa eléctrica está hecha de acero inoxidable de alta calidad, que es cortado y soldado con precisión. Tiene una excelente resistencia al impacto y propiedades de aislamiento eléctrico, fuerte resistencia al desgaste y mejor protección contra la erosión de la lluvia. Excelente proceso de soldadura que mejora el efecto de compresión de la caja eléctrica. Tomada LIAIXIAO.

3.5 Distribución de paneles sobre cubiertas seleccionadas.

En esta sección se definió a detalle la distribución en serie, strings y cantidad de paneles en el área disponible por cubierta seleccionada en el estudio teniendo en cuenta las tensiones a la

entrada de los inversores. El estudio no abarcó correcciones por límites de temperatura máxima y mínima de los inversores sobre las series de paneles. Los diseños para todas las zonas endurecidas mencionadas a continuación se encuentran detallados en el Apéndice I

3.5.1 Edificio administración 1

Para esta zona los paneles se distribuyeron en 5 filas de 14 paneles cada una para sumar un total de 70 con una potencia instalada de 35000Wp que se inyectan a la subestación del mismo edificio.

3.5.2 Edificio bienestar estudiantil

Esta cubierta se ve limitada por variedad de obstáculos para la instalación de paneles por lo que se proponen arreglos de 7 filas con 8 paneles cada una para sumar 56 paneles y una potencia instalada de 28000Wp que serán inyectados a la subestación de Administración II o a la futura subestación que tendrá Bienestar estudiantil.

3.5.3 Edificio ingeniera mecánica

En esta cubierta se distribuyeron los paneles en 5 filas de 11 paneles en serie para un total de 55 con una potencia instalada de 27500Wp y se inyectan a la subestación propia del edificio

3.5.4 Edificio biblioteca

Esta edificación posee una subestación que surte de energía al edificio Mamitza Bayer entre otros. En esta cubierta existe un espacio aprovechable limitado que nos permite un total de

14000Wp instalados en un arreglo de 28 paneles organizados en 4 filas paralelas de 7 paneles en serie cada una.

3.5.5 Edificio laboratorios livianos

Este edificio tiene su propio punto de conexión además de suplir de energía a los edificios Camilo Torres y laboratorio de posgrados. En la cubierta de este edificio se instaló una capacidad de 50000Wp. Con una distribución de 80 paneles distribuidos en 4 filas de 20 paneles para completar la capacidad del transformador.

3.5.6 Edificio Camilo torres

El diseño para esta cubierta consta de 4 filas de 15 paneles que suman 80 en total y una potencia instalada de 30000Wp. En un principio la generación de esta cubierta llegaría a la subestación de livianos.

3.5.7 Edificio Federico Mamitza Bayer

Los paneles en esta cubierta se disponen en dos arreglos con 5 filas y 11 paneles en serie cada una para sumar en total 110 paneles con una potencia instalada de 55000Wp, la energía generada se inyectará a la subestación del edificio de biblioteca.

3.5.8 Edificio eléctrica, electrónica y telecomunicaciones

Se estudió esta cubierta como una actualización, por ende, la distribución de paneles concuerda con la misma disposición ya existente. Se consideró el cambio de la tecnología de los paneles y la instalación de un inversor central en lugar de los micro inversores que se encuentran

en uso. La potencia pico actualmente instalada en la cubierta ronda alrededor de los 12000W. El nuevo diseño consta de 42 paneles para una potencia total instalada de 21000Wp.

3.5.9 Edificio laboratorio de posgrados

Este edificio como se ha mencionado es alimentado por la subestación de laboratorio de livianos, por ende, la energía suministrada por el sistema fotovoltaico se inyectará allí. La disposición de los paneles consta de 4 filas de 10 paneles en serie para completar 40 y una potencia instalada de 20000Wp

3.5.10 Edificio CENTIC

La subestación de CENTIC es alimentada por biblioteca. El arreglo de paneles es de 5 filas en paralelo con 14 paneles en serie cada fila, para sumar 70 paneles con una potencia instalada de 35000Wp, esta potencia se encuentra dentro de la capacidad del transformador.

3.5.11 Edificio residencias universitarias

Esta edificación dispone de una pequeña área en comparación con los demás, el arreglo de paneles es de dos hileras de 9 paneles cada una, con una potencia instalada en paneles de 9000Wp. La energía generada se inyecta en la subestación del coliseo.

3.5.12 Edificio bienestar profesoral

Para esta cubierta el arreglo de paneles es de 4 filas de 5 paneles es decir 20 en total con una potencia instalada de 10000Wp; la energía generada será inyectada a la subestación del mismo edificio.

3.5.13 Edificio Jorge Bautista Vesga

Este edificio cuenta con una potencia instalada de 17500Wp distribuida en 5 filas de 7 paneles cada una. La potencia generada se inyecta en la subestación propia del edificio. Se resalta que este edificio cuenta con líneas de vida en la cubierta.

3.5.14 Edificio ingeniería química

El arreglo de paneles definido para esta zona consta de 5 filas de 9 paneles en serie para contar con 45 paneles que en total suman una potencia instalada de 22500Wp. La energía generada será inyectada en la subestación propia del edificio.

3.6 Inversores fotovoltaicos

Los inversores fotovoltaicos son el "cerebro" detrás de la operación de un sistema solar, ya que transforman la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad de uso generalizado en hogares y empresas. Además de esta conversión, los inversores también desempeñan un papel en el mejoramiento del rendimiento del sistema y monitorean su funcionamiento.

A medida que la tecnología de inversores fotovoltaicos ha avanzado, han surgido diferentes tipos y configuraciones para satisfacer las necesidades específicas de los sistemas solares residenciales, comerciales e industriales. Estos dispositivos se han vuelto más eficientes, confiables y versátiles, lo que ha contribuido significativamente a la expansión de la energía solar en todo el mundo.

3.6.1 Selección de inversores

En el estudio y selección de los inversores más adecuados para los sistemas fotovoltaicos propuestos se definieron criterios mínimos en base al mercado web colombiano, como se muestran en la Tabla 9. .

Tabla 9.

Criterios de selección para los inversores fotovoltaicos

Criterio	Valor definido	Observación
Tensión nominal AC	110V/220V	Nivel de tensión usado para los tableros de distribución en los puntos de conexión
Potencia nominal	Variable	Potencia máxima entregada por el inversor en condiciones normales de operación
Capacidad de sobrecarga	≥23%	Porcentaje máximo de potencia instalada en panel que soporta el inversor por encima de su valor nominal
Conexión	On grid	Tipo de conexión
Eficiencia	≥98%	Porcentaje mínimo de eficiencia para los inversores considerados

De acuerdo con los criterios descritos se procuró seleccionar inversores de un mismo proveedor y fabricante para tener una mayor integración del sistema fotovoltaico. Los inversores seleccionados según la potencia instalada por cubierta.

Tabla 10.

Inversores seleccionados por cubierta

Edificio	Potencia instalada [Wp]	Inversores	Referencia	Fabricante	Potencia nominal [W]	Máxima potencia FV recomendada [W]	Costo [COP]
03.Administracion	35000	Inversor On Grid Growatt MAC 36KTL3-XL	MAC 36KTL3-XL	GROWATT	36000	46800	\$ 14.395.385
07.Bienestar Estudiantil	28000	Inversor On Grid Growatt MAC 25KTL3-XL	MAC 25KTL3-XL	GROWATT	25000	32500	\$ 16.686.698
10.Ingenieria Mecanica	27500	Inversor On Grid Growatt MAC 25KTL3-XL	MAC 25KTL3-XL	GROWATT	25000	32500	\$ 16.686.698
12. Biblioteca	14000	Inversor On Grid Growatt MAC 10KTL3-XL	MAC 10KTL3-XL	GROWATT	10000	15000	\$ 8.594.893
17. Laboratorios livianos	50000	Inversor On Grid Growatt MAX 50 KTL3-XL	MAX 50 KTL3-XL	GROWATT	50000	75000	\$ 24.932.079
18. Camilo Torres	30000	Inversor On Grid Growatt MAC 25KTL3-XL	MAC 25KTL3-XL	GROWATT	25000	32500	\$ 16.686.698
19. CENTIC	35000	Inversor On Grid Growatt MAC 30KTL3-XL	MAC 30KTL3-XL	GROWATT	30000	39000	\$ 18.196.426
21. Federico Mamitza Bayer	27500	Inversor On Grid Growatt MAC 25KTL3-XL	MAC 25KTL3-XL	GROWATT	25000	32500	\$ 16.686.698
	27500	Inversor On Grid Growatt MAC 25KTL3-XL	MAC 25KTL3-XL	GROWATT	25000	32500	\$ 16.686.698
22. E3T	21000	Inversor On Grid Growatt MAC 20KTL3-XL	MAC 20KTL3-XL	GROWATT	20000	26000	\$ 11.647.313
23. Laboratorio de posgrado	20000	Inversor On Grid Growatt MAC 20KTL3-XL	MAC 20KTL3-XL	GROWATT	20000	26000	\$ 11.647.313
24. ING Química	22500	Inversor On Grid Growatt MAC 20KTL3-XL	MAC 20KTL3-XL	GROWATT	20000	26000	\$ 11.647.313
26.Bienestar Profesoral	10000	Inversor On Grid Growatt MAC 10KTL3-XL	MAC 10KTL3-XL	GROWATT	10000	15000	\$ 8.594.893
31. Jorge Bautista Vega	17500	Inversor On Grid Growatt MAC 15KTL3-XL	MAC 15KTL3-XL	GROWATT	15000	19500	\$ 9.152.579
34. Residencias Universitarias	9000	Inversor Red Growatt MID 8000TL-X	MID 8000TL-X	GROWATT	8000	10400	\$ 6.907.475

Nota. La tabla 10 describe los inversores seleccionados que serán usados en los montajes de los sistemas fotovoltaicos para cada una de las cubiertas. Las especificaciones técnicas de cada inversor se encuentran en el Apéndice G

Los inversores seleccionados son de la marca GROWATT y varían sus prestaciones dependiendo de los vatios pico instalados en los sistemas fotovoltaicos de cada cubierta.

3.7 Conductores

En este capítulo de este documento se abarca el correcto dimensionamiento de conductores del sistema de generación fotovoltaica en los diferentes edificios seleccionados en este proceso se tiene presente el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, así como también la norma NTC2050 donde se fundamentan calibres de conductores y los criterios a tener en cuenta en la selección de conductores eléctricos, para esto se deben categorizar los diferentes tramos del

sistema fotovoltaico y por esto se realiza el cálculo de conductores en corriente continua y en corriente alterna garantizando un correcto dimensionamiento.

3.7.1 Dimensionamiento y sección de conductor

Debe tener en cuenta la máxima intensidad admisible para el conductor como también la máxima caída de tensión permisible en el conductor.

Nota: si se consideran dos ramas en paralelo como se evidencia que cada inversor tiene dos entradas PMP, se debe tener en cuenta para la selección del conductor los diferentes tramos, ramas de modulo-caja de continua.

De acuerdo con el estándar IEC 60364-7-712, a su temperatura de trabajo el conductor de cada rama debe soportar 1,25 veces la intensidad de cortocircuito del módulo.

$$I_{max, adm} = 1,25 * I_{mod, sc, stc}$$

Verificando la intensidad máxima admisible para cada conductor, según normativa para los conductores fotovoltaico y el criterio de la máxima caída de tensión permisible en el cable

En el tramo de corriente continua se establece que la caída de tensión es de 1 % en el punto de máxima potencia del generador fotovoltaico.

Fórmula utilizada en el cálculo de sección de conductor:

$$sm\ rama = \frac{2L.\ rama * I_{modstc}}{\Delta V_{rama} * N_{ms} * V_{modstc} * \sigma}$$

En donde:

sm rama → Sección comercial del conductor

lrama → longitud de la rama de modulo en serie

Imodstc → Corriente en cortocircuito del modulo

deltaVrama → caída de tensión

Nms → Numero de modulos en serie

V_{modstc} → voltaje en corto circuito del modulo

σ → contante para en conductor a temperatuara ambiente

Para el cálculo de la sección comercial del conductor para sistemas conectados a red se debe tener presente tener presente que los módulos fotovoltaicos vienen diseñados según cada fabricante con un calibre recomendado con una sección transversal de $4mm^2$ en el caso de caja de conexión DC con el inversor y se debe calcular de la siguiente manera.

$$sm\ rama = \frac{2L.rama * I_{modstc}}{\Delta V_{rama} * N_{ms} * V_{modstc} * \sigma} = 4mm^2$$

Con esta comparación se pretende seguir parámetros de los equipos como el fin de calcular la caída de tensión en ese tramo.

Tabla 11.

Conductores en el tramo de corriente continua seleccionados.

EDIFICIOS	Longitud de la rama	I _{mod SC} (A)	V _{rama}	N _{ms}	V _{modSTC} (V)	Sección nominal del conductor en mm ²
Administración 1	29,3	13,93	638,26	14	45,59	2,28382634
Bienestar estudiantil	16,74	13,93	364,72	8	45,59	2,283436609
Ingeniería Mecánica	23,02	13,93	501,49	11	45,59	2,28368462
Biblioteca	14,65	13,93	319,13	7	45,59	2,28382634
Laboratorios de livianos	41,86	13,93	911,8	20	45,59	2,283982233
CENTIC	29,3	13,93	638,26	14	45,59	2,28382634
Federico mamitza						
Bayer	23,02	13,93	501,49	11	45,59	2,28368462
E3T	14,65	13,93	273,54	6	45,59	2,664464064
Ingeniería química	18,84	13,93	410,31	9	45,59	2,284345982
Bienestar profesoral	10,47	13,93	227,95	5	45,59	2,285073481
Jorge Bautista						
Vesga	14,65	13,93	319,13	7	45,59	2,28382634
Residencias						
Universitarias	18,84	13,93	410,31	9	45,59	2,284345982

Nota. La Tabla 11 describe las secciones de los conductores seleccionados su cálculo se podrá encontrar en el Apéndice M.

No obstante, en instalaciones conectadas a red se utiliza un calibre mínimo $4mm^2$ con independencia de los resultados obtenidos al aplicar los anteriores criterios de por tensión o por corriente ya que muchos fabricantes utilizan esa medida estándar para la decisión de conductor que debe tener aislamiento para resistir a altos niveles de temperatura para el caso de conductores que van sobre bandeja se debe garantizar la capacidad de aislamiento para un mayor rendimiento del sistema.

3.7.2 Conductores para cableado de corriente alterna.

En la selección de los conductores en corriente alterna se establecieron criterios como intensidad máxima admisible por el conductor y la y en criterio de la máxima caída de tensión en el punto de máxima potencia del generador fotovoltaico.

El conductor de cada rama debe soportar 1,25 veces la intensidad nominal a la salida del inversor, se deduce de la potencia y la tensión AC de cada inversor

$$I_{max \text{ inversor AC}} = 1,25 * I_{mod, sc, stc}$$

Los principales criterios para considerar son:

– Características físicas del conductor requerido: Tipo de instalación, Tipo y grado de aislamiento, material del conductor, condiciones ambientales de la instalación, capacidad de corriente requerida por la instalación, regulación de tensión permitida, capacidad de cortocircuito, calibre mínimo permitido para aplicaciones específicas, pérdidas máximas permitidas y tensión mecánica máxima admisible.

$$I = \frac{D_{max}}{\sqrt{3} VL}$$

Dmax: Demanda máxima calculada aplicando los correspondientes factores de demanda se estipulan en la sección 220-B NTC 2050. VL tensión de servicio.

Identificación del conductor adecuado

La capacidad de corriente de los conductores de 0 a 2000 V nominales debe ser la especificada en las Tablas de capacidad de corriente, 310-16 a 310-19 de la NTC2050 y sus notas correspondientes. expresan dichos valores para una temperatura ambiente de hasta 30°C o 40°C y las mismas incluyen factores de corrección a aplicar cuando la temperatura ambiente es mayor a dicho valor

La capacidad de corriente mínima del conductor se calculará como:

$$I_c = \frac{IN}{FT * FA}$$

Donde:

I_c → capacidad mínima de corriente del conductor

IN → corriente del alimentador a carga nominal

FT → Factor de correccion por temperatura

FA → factor de correccion por agrupamiento

Fijamos en este tramo una caída de tensión de 1.5% en el punto de máxima potencia del generador fotovoltaico.

$$sm\ rama = \frac{\sqrt{3} LAC * I_{invAC} * COS(\alpha)}{\Delta V_{rama} * V_{invAC} * \sigma}$$

En donde:

$sm\ rama$ → Sección comercial del conductor en AC

LAC → longitud desde salida inversor hasta TGA

I_{invAC} → Corriente en del inversor en AC

ΔV_{rama} → caída de tensión en alterna

V_{invAC} → tensión del inversor en AC

$\sigma \rightarrow$ *contante para en conductor*

Se debe tener en cuenta que el factor de potencia debe ser superior a 0,95 tomando como el caso más desfavorable 1 al no considerarse perdidas presentes en el sistema por esta razón se debe caracterizar un factor de potencia que tenga presente factores reales del sistema fotovoltaico.

Para el cálculo del conductor de puesta a tierra del sistema fotovoltaico se revisa la NTC 2050 en la sección 250-94 garantizando una correcta selección del conductor.

Cálculo de conductor desde la salida del inversor hasta el tablero general de acometida, el conductor de SPT se debe seleccionar en el caso de un circuito alimentador con el mismo calibre de la fase con el fin de dar cumplimiento, a la normativa aplicable para la selección de conductores.

Criterio de pérdida de potencia

$$PP = nf * I^2 * RT$$

Donde:

nf: Número de fases

RT: Resistencia total por fase

I: Corriente que circula por el alimentador

$$PP\% = \frac{PP}{D_{max} \cos \varphi} * 100$$

Donde:

D_{max}: Demanda máxima de la carga

cos φ : factor de potencia de la carga

IN: Corriente nominal de alimentador.

En la selección del conductor en el tramo de alterna se tienen en cuenta factores como lo es el factor de temperatura el factor de agrupamiento para entregar un conductor seleccionado que

cumpla caída de tensión y una corriente nominal de conductores corregida con los factores y una correcta sección de conductor adecuada

Tabla 12.

Conductores en el tramo de corriente alterna seleccionados

INGRESO DE DATOS															
Descripción	Código del Conductor	Longitud acometida Metros	Acometida Monofásica Trifásica	Voltaje Voltios sistema	Factor de Potencia	Temperatura Ambiente oC	Carga			Tipo carga		Tipo de arranque		Tipo acometida	
							Valor	Unidad		Motor	Acometida	Directo	Arrancador	Banco	
								KVA	HP					Ducto	MT
Acometida Edi. administracion de inersor a TGA	44	56	Trifásica	220,0	0,95	35	47	36842,105	x		x	X		x	
Acometida Edi. Bienestar estudiantil de inersor a TGA	82	16	Trifásica	220,0	0,95	35	38	29473,684	x		x	X		x	
Acometida Edi. Ingeniería Mecanica de inersor a TGA	82	44	Trifásica	220,0	0,95	35	37	28947,368	x		x	X		x	
Acometida Edi. Biblioteca de inersor a TGA	68	36	Trifásica	220,0	0,95	35	19	14736,842	x		x	X		x	
Acometida Edi. Lab livianos de inersor a TGA	8	67	Trifásica	220,0	0,95	35	54	42105,263	x		x	X		x	
Acometida Edi. Camilo torres de inersor a TGA	83	18	Trifásica	220,0	0,95	35	40	31578,947	x		x	X		x	
Acometida Edi. CENTIC de inersor a TGA	83	25	Trifásica	220,0	0,95	35	47	36842,105	x		x	X		x	
Acometida Edi. Federico mamitza de inersor a TGA	6	12	Trifásica	220,0	0,95	35	28	22105,263	x		x	X		x	
Acometida Edi. E3T de inersor a TGA	6	23	Trifásica	220,0	0,95	35	28	22105,263	x		x	X		x	
Acometida Edi. Lab Posgrados de inersor a TGA	6	20	Trifásica	220,0	0,95	38	29	22105,263	x		x	X		x	
Acometida Edi. I Química de inersor a TGA	7	9	Trifásica	220,0	0,95	35	43	33684,211	x		x	X		x	
Acometida Edi. Bienestar prof de inersor a TGA	4	60	Trifásica	220,0	0,95	35	13	10526,316	x		x	X		x	
Acometida Edi. Jorge bautista vesga de inersor a TGA	5	39	Trifásica	220,0	0,95	35	21	16842,105	x		x	X		x	
Acometida Edi. Recidencias UNI de inersor a TGA	4	11	Trifásica	220,0	0,95	35	12	9473,684	x		x	X		x	

RESULTADOS									
Descripción	Aislamiento	Conductor	Tipo de	Cantidad	I Nominal	I Nominal	I Nominal	Regulación	
		AWG	material	conductores	carga	conductor	conductores	%	
	XHHW-2	kcmil	Cobre	requerido				Estacionario	Arranque
	MV90			por fase					
Acometida Edi. administracion de inersor a TGA	XHHW-2	2	Cobre	1,0	96,69	121	121	2,910%	16,297%
Acometida Edi. Bienestar estudiantil de inersor a TGA	XHHW-2	4	Cobre	1,0	77,35	100	100	0,97%	5,45%
Acometida Edi. Ingeniería Mecanica de inersor a TGA	XHHW-2	4	Cobre	1,0	75,97	100	100	2,71%	15,18%
Acometida Edi. Biblioteca de inersor a TGA	XHHW-2	6	Cobre	1,0	38,67	54	54	1,75%	9,78%
Acometida Edi. Lab livianos de inersor a TGA	XHHW-2	1	Cobre	1,0	110,50	130	130	1,280%	18,294%
Acometida Edi. Camilo torres de inersor a TGA	XHHW-2	2	Cobre	1,0	82,87	132	132	0,800%	4,483%
Acometida Edi. CENTIC de inersor a TGA	XHHW-2	2	Cobre	1,0	96,69	132	132	1,297%	7,264%
Acometida Edi. Federico mamitza de inersor a TGA	XHHW-2	4	Cobre	1,0	58,01	85	85	0,565%	3,163%
Acometida Edi. E3T de inersor a TGA	XHHW-2	4	Cobre	1,0	58,01	85	85	1,083%	6,062%
Acometida Edi. Lab Posgrados de inersor a TGA	XHHW-2	4	Cobre	1,0	60,77	85	85	0,986%	5,522%
Acometida Edi. I Química de inersor a TGA	XHHW-2	2	Cobre	1,0	88,40	115	115	0,427%	2,391%
Acometida Edi. Bienestar prof de inersor a TGA	XHHW-2	8	Cobre	1,0	27,62	50	50	1,280%	18,258%
Acometida Edi. Jorge bautista vesga de inersor a TGA	XHHW-2	6	Cobre	1,0	44,20	65	65	2,181%	12,216%
Acometida Edi. Recidencias UNI de inersor a TGA	XHHW-2	8	Cobre	1,0	24,86	50	50	0,518%	2,903%

Nota. La Tabla 12. Muestra la sección del conductor se tiene en cuenta los pasos metodológicos mencionados anteriormente los cuales se fundamentan en el archivo adjunto en el Cálculo de protecciones en el Apéndice M.

3.7.3 Regulación de tensión

En esta sección se presenta el cálculo de regulación de tensión siendo este un factor importante en un sistema eléctrico causando bajos niveles de eficiencia, pérdidas de potencia e incorrecta operación de los equipos eléctricos, cabe mencionar que para la regulación se debe tener presente la normativa aplicable como lo es la NTC 2050 y el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE y valores previamente establecidos por el OR donde se establecen niveles regulatorios para un sistema eléctrico en cabecera del circuito y valores aguas abajo del circuito.

Cálculo de la regulación para circuitos trifásico:

$$\Delta V\% = 3LI * \frac{Z_{ef}}{V_L} * 100$$

En donde:

$\Delta V\% \rightarrow$ Regulacion de tension

$l \rightarrow$ longitud del conductor en km

$I \rightarrow$ Corriente nominal en amperios

$V_l \rightarrow$ tension de servicio en voltios

Los Porcentajes de regulación deben cumplir los establecido en los artículos Sección 210-19 y Sección 215-2 de la NTC 2050.

Tabla 13.

Regulación de tensión

Descripción	RESULTADOS	
	Regulación %	
	Estacionario	Arranque
Acometida Edi. administracion de inversor a TGA	1,75%	10,297%
Acometida Edi. Bienestar estudiantil de inversor a TGA	0,97%	5,45%
Acometida Edi. Ingeniería Mecánica de inversor a TGA	1,71%	9,18%
Acometida Edi. Biblioteca de inversor a TGA	1,75%	9,78%
Acometida Edi. Lab livianos de inversor a TGA	1,633%	9,147%
Acometida Edi. Camilo torres de inversor a TGA	0,800%	4,483%
Acometida Edi. CENTIC de inversor a TGA	1,297%	7,264%
Acometida Edi. Federico Mamitza de inversor a TGA	0,565%	3,163%
Acometida Edi. E3T de inversor a TGA	1,083%	6,062%
Acometida Edi. Lab Posgrados de inversor a TGA	0,986%	5,522%
Acometida Edi. I Química de inversor a TGA	0,427%	2,391%
Acometida Edi. Bienestar prof de inversor a TGA	1,28%	18,258%
Acometida Edi. Jorge bautista Vesga de inversor a TGA	1,181%	12,216%
Acometida Edi. Residencias UNI de inversor a TGA	0,518%	2,903%

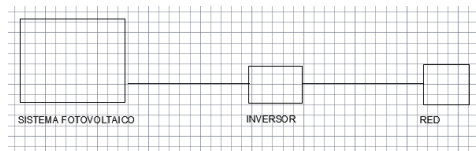
Nota . En la se muestran criterios de regulacion donde se tiene encuesta los valores de regulacion de tension propuesto para sistema fotovoltaicos y se revisa el RETIE Art 27.3: el cual asegura la regulación de la acometida no supere el 3% calculada en el dispositivo de corte y en general que la caída de tensión en la última salida a carga plena de diseño, para el cálculo de regulación se documenta en el analisis que se proporciona en el Apéndice M sección regulación, (Rangel M. O., 2023).

Para en cálculo de regulación se utiliza de las distancias horizontales y verticales de cada edificio tomadas de los diferentes planos con vista lateral de los edificios presentes en Apéndice K en cada carpeta adjunta.

3.8 Protecciones

Figura 17.

Esquemático de los tramos en DC y AC



Nota. La Figura 16 muestra un bosquejo del esquemático de conexión de SFV on grid.

Las protecciones son un factor primordial para la seguridad de un sistema fotovoltaico ya que es fundamental proteger la vida e integridad de las personas que operen el sistema y a su vez es importante proteger los activos del sistema implementado ya que son elementos de gran valor y que su inversión se verá reflejada con el pasar del tiempo, para seleccionar las protecciones se debe verificar los tramos del SFV y calcular las diferentes protecciones a utilizar desde el módulo hasta el punto de inyección de energía a la Red.

En este proceso se tiene un ponderado de lo que puede pasar en un sistema de generación fotovoltaico se deben tener las diferentes distancias en estudio ya que es indispensable calcular las protecciones de cada tramo de la instalación, así como también cálculo de cables y regulaciones.

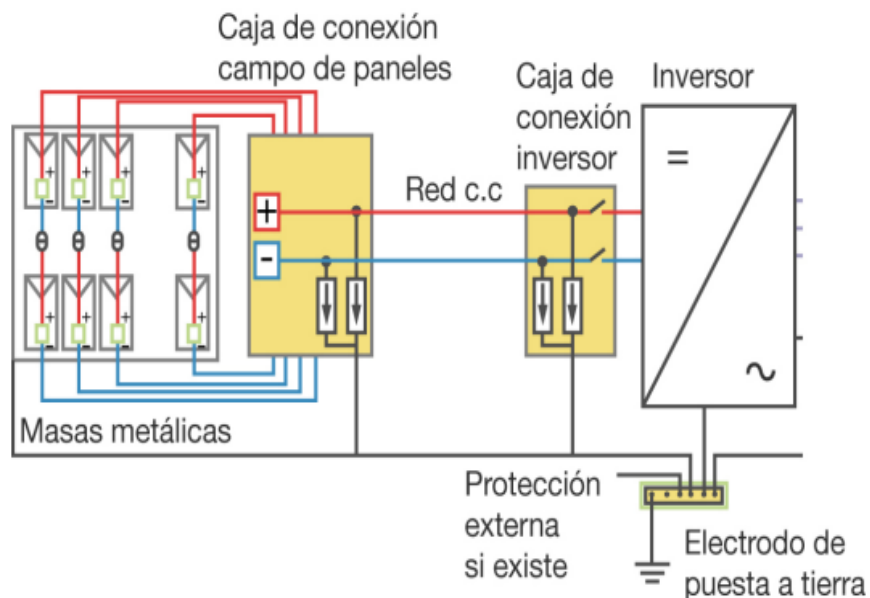
3.8.1 Protecciones de corriente continua

3.8.1.1 DPS Descargadores de tensión DC. Estos descargadores se deben instalar en la parte de corriente continua, formando protecciones en el equipo de los módulos solares el cableado e inversor de potencia este descargador de sobretensión se debe escoger clase I+II dado que está

en cubiertas de edificios altos, para la instalación se debe tener en cuenta el estudio de rayos en el lugar de instalación, teniendo en cuenta la tensión nominal de este tipo de cargadores se deben escoger de acuerdo a la máxima de emisión de vacío del generador fotovoltaico a la hora de realizar la instalación de este equipo de protección se coloca cerca al equipo a proteger al lado de los paneles y en el lado del inversor. (Ortega Lisón & Cañadas Beltrán, 2015)

Figura 18.

Descargador de tensión en continua



Nota. La figura muestra el esquema de la protección frente a sobre corriente en una instalación fotovoltaica en el lado de corriente continua, Tomada de la figura 3.51 del libro SEAS.

Figura 19.

Características del módulo seleccionado

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC								
TYPE	JAM66S30 -480/MR	JAM66S30 -485/MR	JAM66S30 -490/MR	JAM66S30 -495/MR	JAM66S30 -500/MR	JAM66S30 -505/MR		
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	480	485	490	495	500	505		
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	45.07	45.20	45.33	45.46	45.59	45.72		
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	37.62	37.81	37.99	38.17	38.35	38.53		
Short Circuit Current(Isc) [A]	13.65	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00		
Maximum Power Current(Imp) [A]	12.78	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11		
Module Efficiency [%]	20.2	20.4	20.6	20.9	21.1	21.3		
Power Tolerance	0~+5W							
Temperature Coefficient of Isc(α_{Isc})	+0.045%/°C							
Temperature Coefficient of Voc(β_{Voc})	-0.275%/°C							
Temperature Coefficient of Pmax(γ_{Pmp})	-0.350%/°C							
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G							
Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.								
ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT						OPERATING CONDITIONS		
TYPE	JAM66S30 -480/MR	JAM66S30 -485/MR	JAM66S30 -490/MR	JAM66S30 -495/MR	JAM66S30 -500/MR	JAM66S30 -505/MR	1000V/1500V DC	
Rated Max Power(Pmax) [W]	363	367	370	374	378	382	Operating Temperature	-40 C~+85 C
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	42.15	42.30	42.43	42.58	42.72	42.86	Maximum Series Fuse Rating	25A
Max Power Voltage(Vmp) [V]	35.54	35.67	35.78	35.84	35.93	36.02	Maximum Static Load Front*	5400Pa(112lb/ft ²)
Short Circuit Current(Isc) [A]	10.99	11.06	11.13	11.20	11.27	11.34	Maximum Static Load Back*	2400Pa(48lb/ft ²)
Max Power Current(Imp) [A]	10.21	10.28	10.36	10.44	10.52	10.60	NOCT	45±2 C
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C,wind speed 1m/s, AM1.5G						Safety Class	Class II
*For NexTracker installations, Maximum Static Load, Front is 2400Pa while Maximum Static Load, Back is 2400Pa.							Fire Performance	UL Type 1

Nota. En esta ilustración se presentan características de corto circuito y vacío del módulo seleccionado, Tomada de Auto solar.

En esta sección se tiene en cuenta los cálculos de String propuestos en el **capítulo 3.5** donde se clasifican los diferentes módulos teniendo en cuenta las características propias de los inversores ya que es fundamental no superar valores umbrales del dispositivo de potencia garantizando un menor porcentaje de pérdidas y aumentar la eficiencia del sistema fotovoltaico.

3.8.2 Diodo de paso, Diodo de Bloqueo

3.8.2.1 Diodo de Bloqueo. La función de este diodo es proteger los módulos fotovoltaicos contra corrientes en sentido inverso en caso de fallas a tierra del generador protegiendo el cableado en DC sé debe instalar en todo tipo de generadores fotovoltaicos en cada una de las ramas en serie presentes en los arreglos fotovoltaicos.

3.8.2.2 Diodo de paso. Estos diodos se usan en cada módulo dependiendo de la capacidad 1 o 2 por módulo su función es proteger a los módulos fotovoltaicos de posibles puntos calientes presentado por sombreados en el sistema la totalidad de los diodos de paso dependerá de los módulos de cada sistema.

3.8.2.3 Fusibles. Cada una de las ramas en paralelo también llamadas String estará protegida contra los efectos de sobre intensidades que puedan presentarse con la finalidad de calcular la corriente que soporta el fusible, esta debe ser mayor que la del circuito y menor que la máxima corriente admisible por el cable.

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Donde:

I_b corriente de diseño del circuito

I_z corriente admisible por el cable

I_n corriente asignada del dispositivo de protección

I_f corriente que asegura el funcionamiento en tiempo largo $I_f = 1,90 I_n$

La corriente que soporta el fusible más un 90% debe ser inferior al 145% de la corriente máxima del cableado.

$$I_f \leq 1,45 I_z$$

En la presente tabla se muestra los resultado de la caracterización de los fusible de protección de los módulos solares, Este caso específicamente sirven para proteger en el tramo DC ,donde se realizaron los pasos anteriores para el cálculo de la corriente de máxima de corto circuito y tensiones en vacío de los módulos ,adicionalmente para el cálculo se tiene presente los diferentes

arreglos de los String con la finalidad de determinar las corriente máximas y tensiones generadas en cada arreglo de paneles solares y se verifica valores comerciales de los elementos de protección.

Los fusibles en serie a instalar en cada rama en una única dirección.

$$1,5 I_{mos, sc, stc} \leq I_{nom} \leq 2 * I_{mod, sc, stc}$$

El interruptor de corriente continua debe soportar la tensión del generador para una temperatura de la célula igual a -10°C, rango de temperatura mas critica soportada por los módulos según el fabricante.

$$N_{ms} * V_{mod, oc(-10^{\circ}C)} I_{mos, sc, stc}$$

La intensidad que debe soportar el interruptor es de:

$$1,5 N_{mp} * I_{mos, sc, stc}$$

Tabla 14

Datos técnicos del inversor de potencia

Edificios	Máxima corriente (a)	Corriente en sc (a)	Nominal voltaje (v)	Máximo voltaje (v)
administración 1	46	50	360	1100
Bienestar estudiantil	46	50	360	1100
ingeniería mecánica	46	50	360	1100
Biblioteca	26	32	360	1100
Laboratorios livianos	40	50	550	600
Centic	46	50	360	1100
Federico mamitza	46	50	360	1100
E3T	46	50	360	1100
ingeniería Química	46	50	360	1100
Bienestar profesoral	26	32	360	1100
Jorge bautista Vesga	46	50	360	1100
Residencias universitarias	25	32	360	800

Nota. En la Tabla 14 se tiene en cuenta los datos del inversor de potencia con la finalidad de verificar que por cada rama o string no se supere valores nominales ni de tension ni corriente que admite el inversor de potencia del sistema solar fotovoltaico. Tomada del Apéndice M.

Tabla 15.

Resultado de los fusibles calculados

EDIFICIOS	fusible (A)	Cálculo de fusibles				
		Numero de paneles en serie	tensión	Corriente	tensión voc	Factor
Administración 1	60	14	765,912	52,2375	45,59	1,2
Bienestar estudiantil	60	8	437,664	52,2375		
Ingeniería mecánica	60	11	601,788	52,2375	ISC	Factor
Biblioteca	35	7	382,956	34,825	13,93	1,25
Laboratorios livianos	60	20	1094,16	52,2375		
Camilo torres	35	15	820,62	34,825		
Centic	60	14	765,912	52,2375		
Federico mamitza	60	11	601,788	52,2375		
E3T	60	18	984,744	52,2375		
ingeniería química	60	9	492,372	52,2375		
Bienestar profesoral	35	5	273,54	34,825		
Jorge bautista Vesga	60	7	382,956	52,2375		
Residencias universitarias	35	9	492,372	34,825		

Nota. En la Tabla 15 se muestran los cálculos de fusibles de cada sistema y se documenta en el

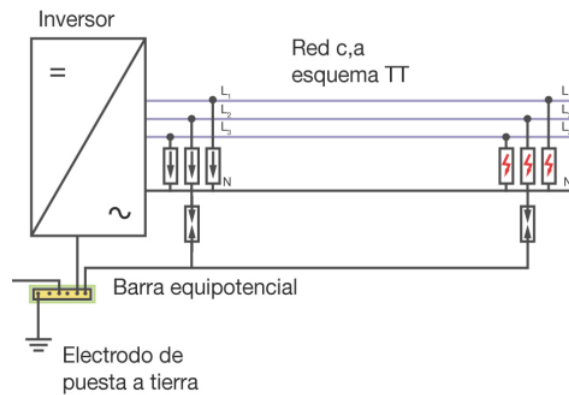
Apéndice M en la sección calculo de fusibles teniendo presente cada rama en serie según los arreglos de modulos seleccionados.

3.8.3 Protecciones de corriente alterna

3.8.3.1 Descargadores de tensión en AC. Este tipo de protección para el lado de corriente alterna son los descargadores de sobretensiones presentes a la red eléctrica, dispositivos que garantizan una protección sobre las instalaciones situadas en un campo de conexión a través de acometidas aéreas con alto riesgo de caída de rayo. Estos se deben instalar entre fases, neutro y conductor de protección, su selección debe ser de tipo 2 ya que debe proteger la instalación contra todas las descargas atmosféricas y se debe hacer la evaluación del nivel de incidencia de rayo en el lugar de instalación.

Figura 20.

Esquema de la protección frente a sobre tensiones en una instalación fotovoltaica en AC



3.8.3.2 Protección de Armónicos. La energía inyectada a la red de distribución debe garantizar una energía limpia. Debe tener un interruptor automático de la interconexión para la conexión -desconexión automática de la instalación fotovoltaica, el rele de protección de máxima y mínima frecuencia ajustando parámetros como lo es la frecuencia de 60 Hz y tensiones máxima y mínima parametrizados con los valores de: 1,15 y 0,85 veces el valor de la tensión nominal $1,15 \leq 0,85$.

Estos dispositivos están incorporados en cada inversor seleccionado

Para este tipo de generadores conectados a red debe existir una separación galvánica entre la línea de distribución de corriente alterna y la parte de la instalación de corriente continua, este tipo de protección se puede hacer con un transformador de aislamiento de baja frecuencia.

3.8.4 Breaker

El sistema fotovoltaico debe ser protegido contra efectos de sobretensiones y temperaturas elevadas, la protección se realizará mediante interruptor automático se debe verificar el tramo del

sistema electrico en CA comprendido entre el inversor de potencia y el tablero general de acometidas, para estos calculos se tiene presente la NTC 2050 Y y el RETIE, es fundamental para este proceso conocer las diferentes distancias verticales de los diferentes edificios proporcionadas en el Apéndice K. Con los respectivos planos arquitectónicos de cada edificio.

Tabla 16.

Cálculo de protecciones en AC

Descripción	Corriente nominal del conductor (a)	Proteccion (a)	Breaker comercial (a)
Acometida Edi. administración de inversor a TGA	121	151,25	3x160
Acometida Edi. Bienestar estudiantil de inversor a TGA	100	125	3x125
Acometida Edi. ingeniería Mecánica de inversor a TGA	100	125	3x125
Acometida Edi. Biblioteca de inversor a TGA	54	67,5	3x70
Acometida Edi. Lab livianos de inversor a TGA	130	162,5	3x175
Acometida Edi. Camilo torres de inversor a TGA	132	165	3x175
Acometida Edi. CENTIC de inversor a TGA	132	165	3x175
Acometida Edi. Federico mamitza de inversor a TGA	85	106,25	3x125
Acometida Edi. E3T de inversor a TGA	85	106,25	3x125
Acometida Edi. Lab Posgrados de inversor a TGA	85	106,25	3x125
Acometida Edi. I Quimica de inversor a TGA	115	143,75	3x150
Acometida Edi. Bienestar prof de inversor a TGA	50	62,5	3x70
Acometida Edi. Jorge bautista Vesga de inversor a TGA	65	81,25	3x90
Acometida Edi. Residencias UNI de inversor a TGA	50	62,5	3x70

Nota. la Tabla 16 muestra los resultados de los análisis del cálculo de protecciones en corriente

alterna, se documenta en el Apéndice M, (Rangel I. M., 2023).

3.8.5 Protección anti-isla para grupos electrógenos

En esta sección del proyecto se deben incluir los edificios que cuenten con grupo electrógeno es fundamental tener presente a la hora de realizar el proyecto incluirse en el diseño de protecciones una protección anti-isla esta consiste en aquella función de protección de la instalación DER (Recursos Energéticos Distribuidos) encargada de evitar que dicha instalación permanezca energizada cuando la red del OR sea des energizada (ya sea por un evento programado o no programado).

Para el caso de las tecnologías de generación basadas en un inversor, el suministro del certificado de conformidad con las normas técnicas citadas para los inversores garantizará dicho cumplimiento, (EPM, 2018).

Para tecnologías que no estén basadas en un inversor, se debe instalar un sistema de detección de tensión en el circuito, para que bloquee el cierre del interruptor con el cual se realiza la conexión entre la planta de generación y el SDL, en aquellos momentos en los cuales este circuito se encuentra des energizado.

Además, deberá poseer un equipo de detección de flujo de potencia inversa, direccionado en el sentido del SDL, de modo que la planta del sistema del sistema de Recursos Energéticos Distribuidos se desconecte cuando se des energice el circuito alimentador del OR con el fin de evitar la inyección de potencia al sistema de Recursos Energéticos Distribuidos y un funcionamiento inadecuado del generador. Para instalaciones que cuentan con sistemas de respaldo (p. ej. Plantas de emergencia), los sistemas DER deberán detectar la transferencia realizada para des energizarse, (EPM, 2018).

3.8.5.1 Condiciones de operación. Después de la conexión del sistema DER al OR, las variables mínimas que deberán ser verificadas son las siguientes:

Tabla 17.

Rango de operación por tensión de la protección anti-isla

Rango de tensión de la Red del OR, %tensión base	Tiempo de despeje (s)
V<50%	0,16
50%≤V<88%	2
110%<V<120%	1
V≥120%	0,16

Nota. La Tabla 17 muestra el rango de tensiones base y el tiempo de despeje de falla para el caso de una protección anti-isla. (EPM, 2018).

Tabla 18.

Capacidad de la instalación, rango de frecuencia y tiempo de despeje de falla.

Capacidad pico de la instalación	Rango de frecuencia OR (Hz)	tiempo de despeje (s)
≤30 KW	59,3<Frecuencia<60,5	0,16
	frecuencia>60,5	0,16
>30KW	57<frecuencia<59,8	0,16<tiempo<300
	frecuencia<57	0,16

Nota. La Tabla 18 muestra los rangos de frecuencia de acuerdo con la capacidad pico de la instalación con un tiempo de despeje de falla de acuerdo con la norma IEEE 1547:2003. (EPM, 2018).

Tabla 19.

Calidad de potencia de acuerdo norma IEEE 1547:2003

Orden individual del armónico	h<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h	Distorsión Total de Demanda (TDD)
Porcentaje (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

Nota. En la Tabla 19 se muestra los valores límites de la distorsión armónica de acuerdo con la norma IEEE 1547. (EPM, 2018).

4. Capacidad de generación fotovoltaica.

Los arreglos fotovoltaicos distribuidos por el campus central UIS suman un área total de $2389m^2$ aproximadamente con una potencia instalada en paneles de 374500Wp, dentro de los valores se encuentra la generación de los edificios de posgrado y camilo torres. Se evaluará la producción de este sistema fotovoltaico teóricamente y se confrontará con el valor estimado en PVGIS.

4.1 Estimación de la energía eléctrica producida por el arreglo fotovoltaico.

Con la ayuda de la base de datos POWER se halló el valor para las horas solar pico de 4,57h para la región de estudio, el cálculo se encuentra detallado en el Apéndice G sección de cálculos generales. Para estimar la energía generada por el arreglo fotovoltaico se evaluará la siguiente expresión:

$$E_g = \frac{P_{ins} \times HSP \times 365 \text{ días} \times \# \text{ años}}{1000}$$

Donde:

E_g : Energía generada por el arreglo fotovoltaico [kWh/año]

P_{ins} : Potencia pico instalada en paneles [W]

HSP : Hora solar pico [h]

Evalutando la expresión se obtiene:

$$E_g = \frac{374500 \times 4,57 \times 365 \times 1}{1000} = 624.684,725 \text{ [kWh/año]}$$

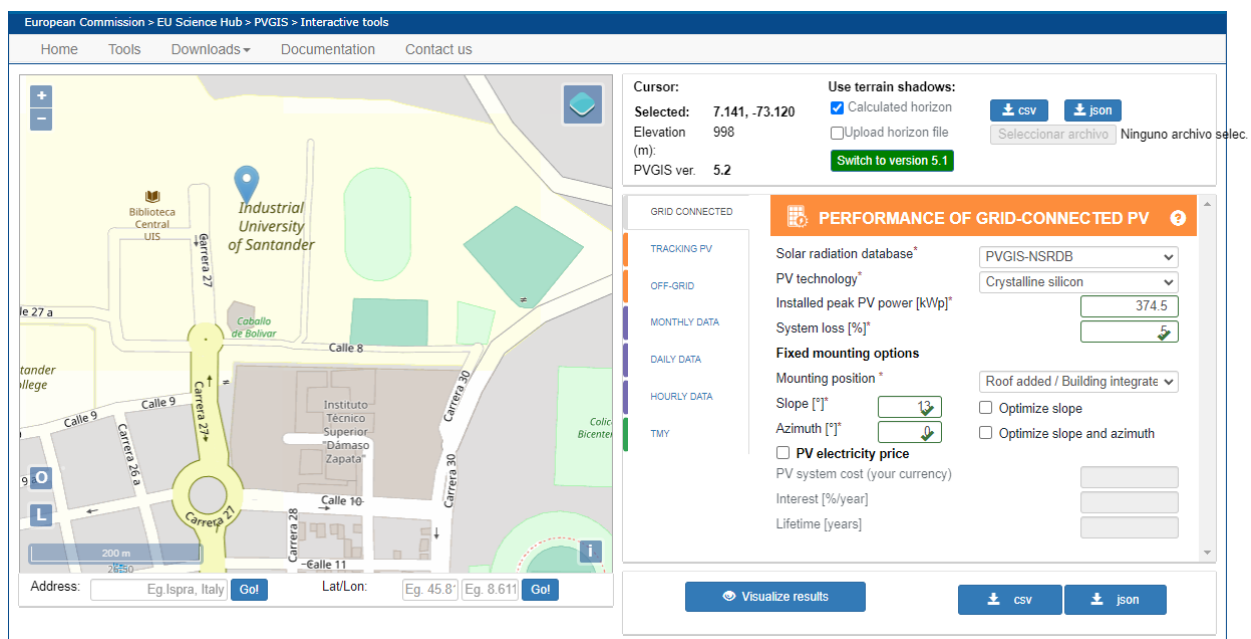
Esta estimación no considera las pérdidas por la orientación de los módulos ni las pérdidas por regulación o eficiencia de los elementos. Por lo que es de esperarse que al comparar con la estimación de PVGIS haya una diferencia entre estas.

4.2 Simulación en PVGIS

La estimación con ayuda de PVGIS se hizo para 374,5kWp, con un ángulo de inclinación de 15° un acimut de 0° y unas pérdidas para el sistema fotovoltaico del 5% como se muestra a continuación en la figura 21.

Figura 21.

Entorno de simulación PVGIS



Nota. La ilustración muestra el entorno de simulación y los parámetros ingresados para generar la misma. Para mayor detalle se puede consultar el Apéndice J.

Se obtuvo como resultado una generación anual de 537.430,38kWh debido a las pérdidas consideradas. Los resultados a detalle se encuentran en el Apéndice J. La diferencia porcentual entre el valor teórico y el evaluado por PVGIS es de 16,24 %, el cálculo se hizo tomando como referencia el valor teórico.

4.3 Capacidad de ahorro energético

La implementación de los sistemas fotovoltaicos propuestos dentro de las edificaciones del campus central UIS representan un ahorro en el consumo energético de sus instalaciones. Se recopiló información sobre las matrices de consumo en las fronteras comerciales con ayuda del operador de red ESSA, para definir las curvas de consumo horarias por día durante el periodo de tiempo más amplio disponible en las bases de datos del operador de red.

Para este análisis se tomó la estimación de energía mensual generada por los arreglos fotovoltaicos distribuidos alrededor de la universidad y fue comparada con la sumatoria del promedio de la curva de consumo mensual más reciente para todas las fronteras comerciales que alimentan el campus central UIS. Con un valor calculado de 601.400 kWh/mes. Además, considerando la tarifa para el mes de octubre de 2023 del operador de red ESSA, sabiendo que la universidad es un usuario regulado y por la imposibilidad de acceder a la información de facturación, se seleccionó la tarifa oficial con un valor de 852,62 \$/kWh, como se puede observar en la Figura 22. .

Figura 22.

Tarifa octubre OR ESSA

TARIFAS RESIDENCIALES				TARIFAS NO RESIDENCIALES				
ESTRATO		5 y 6		COMERCIAL / INDUSTRIAL		ACUEDUCTOS. ESP		OFICIAL
PROPIEDAD ACTIVOS	NIVEL MEDIDA	% CONTRIB.	TARIFA \$/kWh	CONTRIB. 20%	TARIFA \$/kWh	CONTRIB. 10%	TARIFA \$/kWh	TARIFA \$/kWh
ESSA	I	20.00%	1122.90	187.15	1122.90	93.57	1029.32	935.75
CLIENTE	I	20.00%	1023.14	170.52	1023.14	85.26	937.88	852.62
COMPARTIDA	I	20.00%	1077.20	179.53	1077.20	89.77	987.44	897.67
	II			155.13	930.78	77.57	853.22	775.65
	III			127.72	766.29	63.86	702.43	638.58
	IV			117.51	705.07	58.76	646.31	587.56

Nota. Tabla de tarifas aplicadas para el mes de octubre de 2023 OR ESSA. Tomado de la página web del OR ESSA se puede encontrar en el siguiente link:

https://www.essa.com.co/site/Portals/0/documentos/mi-factura/tarifas/2023/Tarifa_ESSA_202310.pdf

Teniendo un precio para el kWh se estimó un costo de consumo mensual del campus central UIS de 512.765.668\$

Mientras que la generación mensual en conjunto de los arreglos fotovoltaicos está dada por:

$$E_g = \frac{374500 \times 4,57 \times 30}{1000} = 51.343,95 [kWh/mes]$$

El valor de energía generada de los arreglos propuestos representa un 8,53 % de la energía total consumida mensual por el campus central UIS y en consecuencia 43.776.878,65\$ de ahorro en la facturación mensual.

4.4 Aproximación del valor de proyecto

En esta etapa del proyecto se pretende brindar un aproximado del valor final del proyecto en esta estimación se tienen en cuenta los diferentes elementos de cada uno de los sistemas del cada edificio en esta se tienen los diferentes valores de los inversores, cables, estructuras finales, totalizadores, fusibles y entre muchos otros elementos fundamentales en el análisis de costos los precios de materiales se listan en el Apéndice N.

Tabla 20.

Estimado de costos del proyecto.

Descripción	Valor	unidad
Horizonte Temporal	20	Años
Financiación	10	%
Interés crédito	10	%
Materiales y equipos	\$ 794.420.060,00	\$COP/MW
Mano de Obra	\$ 97.216.563,00	\$COP
Gastos de desarrollo durante la construcción	\$ 891.636.623,00	\$COP
Precio de venta de la energía	\$ 852,6200	COP\$/kWh
Aplica un 12% de incremento anual		

Gastos de operación y mantenimiento del SFV Anual (0,5% CAPEX) aplicar 1% de incremento anual	\$	4.458.183,12	COP\$/año
Gastos de personal anual (0,2% CAPEX) durante los primeros 5 años de garantía, Aplicar un incremento del 1% anual	\$	1.783.273,25	COP\$/año
Gastos anuales de seguro propietario e impuestos (0,4% del CAPEX) durante los primeros 5 años, aplicar un incremento del 2% anual	\$	2.184.573,53	COP\$/año

Nota. Los valores fueron consultados el día 10/09/2023 y puede existir variación en este valor estimado ya tienen un alza de valor de estos artículos en el momento de implementación del proyecto, adicionalmente se documentan características importantes para el desarrollo del proyecto como lo es la administración, imprevistos, utilidad, pólizas y mantenimiento, entregando un valor estimado del valor total de la instalación de los diferentes sistemas fotovoltaicos, (Gonzalez, 2023).

Tabla 21.

Estimado de costos.

Sfv amb			
Descripción	Valor	Unidades	
Energía eléctrica directa	7216800,00	Kwh/año	
Energía eléctrica inyección	53743038,00	Kwh/año	
Potencia nominal sfv	374,50	Kwp	
Degradación anual de producción	0,55	%	

Nota. En la Tabla 21 Describe la energía directa, la inyección de energía a la red la potencia nominal del SFV y una degradación anual del sistema teniendo presente un horizonte de producción de 20 años, (Gonzalez, 2023).

4.5 Retorno de inversión

El retorno de inversión del sistema fotovoltaico se calcula con respecto a la producción en el año y el consumo en fronteras comerciales se revisa el precio aproximado del kilovatio hora en la factura de energía (Asumiendo un costo de kwh por parte de un operador de red convencional para este perfil de usuario el OR genera ciertos valores 852,62 pesos), se calcula el precio total de

energía al año producida y se divide en la inversión inicial a la fecha actual, por lo cual se da un retorno de inversión de aproximadamente de 7 años, cabe aclarar que el valor del kWh puede tener variación con respecto al operador de red y las clasificaciones del tipo de usuario.

Tabla 22.

Análisis de retorno de inversión.

Descripción OPEX	Valor	unidades	incremento anual (%)
Precio de venta de la energía Directa (Cuv)	\$ 852,6200	\$/kWh	15%
Precio de venta de la energía Inyectada (Cuv - C) ≈ 88% Cuv	\$ 751,16	\$/kWh	15%
Gastos de operación y mantenimiento SFV anual	\$ 4.458.183,12	\$/año	1%
Gastos de personal anuales	\$ 1.783.273,25	\$/año	1%
Gastos anuales de seguros e impuestos	\$ 2.184.573,53	\$/año	1%
Total, Gastos Anuales OPEX	\$ 8.426.029,89	\$/año	

Nota. En la tabla 22 se muestra el análisis de retorno de inversión del sistema de instalación

fotovoltaica, (Gonzalez, 2023).

Tabla 23.

Análisis de Viabilidad del proyecto.

Viabilidad Proyecto		
VAN	1,98496E+12	ES VIABLE
TIR	5338,98%	
Pay Back	7	
		Años

Nota. En la tabla 23 se muestra el análisis de viabilidad de la instalación fotovoltaica, los análisis financieros se documentarán en el Apéndice N, (Gonzalez, 2023).

En el análisis de viabilidad de la instalación se concluye que la implantación de los sistemas fotovoltaicos es viable y tendrá un retorno de inversión de siete años considerando costos reales.

5. Conclusiones

- Se seleccionaron las cubiertas viables de potencial solar para una prefactibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos, bajo criterios de selección analizados en conjunto con autores, director y codirector para una prefactibilidad de potencial solar.
- Se realizó la investigación de los diferentes puntos de conexión para los edificios catalogados en este proyecto como viables, respecto al operador de red se analizaron las 4 fronteras comerciales (CENIVAM, Humanas, Coliseo y Alta tensión) y su matriz de consumo.
- Este trabajo corresponde a un estudio preliminar que comprende el estudio del potencial solar fotovoltaico dentro del campus central UIS. Profundizar en los detalles técnicos y legales hace parte del estudio del diseñador asignado por quien corresponda la decisión de definir el diseño final.
- Se dedujo una capacidad de generación total que se puede llegar a obtener con la implementación de lo planteado en este proyecto de investigación, de 374500Wp ocupando un área total de 2.389m².
- La implementación de sistemas de generación fotovoltaica en el Campus Central de la UIS es una oportunidad única para promover la sostenibilidad y la innovación en la universidad, y para contribuir al desarrollo de una sociedad más consciente y comprometida con el medio ambiente. La generación de energía limpia y renovable a partir de fuentes solares es una alternativa cada vez más viable y rentable en todo el mundo, y la UIS no puede quedarse atrás en esta tendencia. Además, la implementación de sistemas fotovoltaicos en el campus podría servir como un ejemplo y una inspiración para otras instituciones educativas y empresariales en la región y en el país.
- La instalación de sistemas fotovoltaicos en los techos seleccionados permitiría una reducción en el consumo de energía eléctrica de la universidad, lo que se traduciría en ahorros mensuales de

aproximadamente 43 millones y una disminución en la huella de carbono. Además, esto permitiría ser más autosuficientes en términos energéticos y reducir en parte la dependencia de la red eléctrica.

- La estructura de soporte es un componente fundamental para la implementación de un sistema fotovoltaico desde su construcción hasta su proceso de producción de energía ya que es la base de un proyecto, las estructuras fijas garantizan una correcta resistividad de los elementos del sistema protegiéndolos de condiciones climatológicas adversas, además aumentan la producción al ir de la mano con la eficiencia del sistema, cada componente que conforma la estructura debe ser capaz de resistir fenómenos que se presenten cumpliendo con estándares mínimos de resistencia, la herramienta de simulación brinda el correcto cálculo de una estructura de soporte para cada edificio teniendo en cuenta condiciones típicas del lugar de instalación garantizando el buen funcionamiento del sistema eléctrico.
- Los cálculos de regulación en un sistema fotovoltaico son un factor fundamental del correcto funcionamiento del sistema donde se deben tener presente la diferentes alturas verticales y horizontales de cada edificio hasta el punto de inyección de energía, siendo la base fundamental para cálculos posteriores de calibres de conductores y otros elementos de generador fotovoltaico cabe mencionar el cumplimiento del reglamento es obligatorio y define los diferentes porcentajes estándares que se deben tener en cuenta a la hora de realizar el montaje y la ejecución de un sistema fotovoltaico.
- Un capítulo fundamental es el de las protecciones eléctricas del sistema punto donde se protegen todos los activos del proyecto y la integridad de las personas que operen o realicen labores de mantenimiento del generador, se requiere un análisis de las protecciones en el tramo de corriente y alterna cada sistema debe dotarse con todas estas protecciones , para los edificios que tiene un

grupo electrógeno implementado se debe tener presente la protección anti isla los inversores seleccionados deben contar con esta función de protección incorporada y se debe coordinar de acuerdo a parámetros establecidos por el operador de red, garantizando una protección completa del sistema de generación fotovoltaica.

- Es de especial cuidado la inyección de potencia a la red, por lo que para los edificios donde se requiere incluir este tipo de soluciones fotovoltaicas se requiere un estudio de potencias y matrices de consumo a nivel del edificio y de fronteras comerciales con el operador de red, razón por la cual se levantó información de las fronteras comerciales de la universidad con la colaboración del operador de red ESSA. La información recopilada se encuentra en el Apéndice O.

6. Recomendaciones

Antes de la implementación de los sistemas fotovoltaicos se debe garantizar la seguridad de las personas encargadas de los mantenimientos en las zonas endurecidas seleccionadas por esta razón se propone la instalación de líneas de vida en las cubiertas a intervenir.

El mantenimiento preventivo de la instalación fotovoltaica es primordial para preservar su vida útil manteniendo sus capacidades de generación y evitando futuras fallas. Se recomienda su ejecución una vez al año debido a la complejidad de revisar la variedad de ubicaciones propuestas.

Debido a la presencia de varias plantas de generación de emergencia se debe considerar instalar las respectivas protecciones Anti-isla que detectan y desconectan por un periodo corto de tiempo un sistema de generación cuando se presenta interrupción del flujo de energía eléctrica en la red, dicho sistema de generación que para este caso se trata del sistema fotovoltaico.

6.1 Futuros trabajos

- Complementar la ingeniería conceptual preliminar planteada con estudios competentes al diseño final como:

El estudio técnico de incidencia de sombras.

El análisis financiero.

El diseño técnico de sistemas fotovoltaicos por edificio.

El análisis legal según la norma colombiana para AGPE.

- Se propone el estudio de la viabilidad de instalación de techos con paneles solares en zonas de parqueaderos y espacios cementados de gran extensión como aprovechamiento del potencial fotovoltaico existente al interior del campus.
- Dado que habrá estructuras remodeladas y nuevas dentro del campus universitario, se propone el estudio de estas nuevas construcciones para la producción de energía solar fotovoltaica, debido que a la falta de información no fueron consideradas en el presente estudio.
- Como propuesta de estudio se presenta la posibilidad de analizar el potencial y la viabilidad para la instalación de elementos captadores de energía en las lumbreras de las edificaciones para el aprovechamiento de la energía solar.
- Un sistema de respaldo de energía para mantener una medición constante en la estación meteorológica del edificio E3T, pues es importante caracterizar el recurso solar y sus parámetros con una fuente propia y de larga data.

Referencias

- Autosolar*. (15 de 09 de 2023). Obtenido de <https://autosolar.co/>
- EPM, ´. (2018). Condiciones de operacion para sistemas anti isla . *Manual para un sistema de proteccion anti isla* , 5.
- Galvis Pacheco, A. F., & Morales Ardila, C. G. (2017). *Diseño de una instalación fotovoltaica conectada a la red para el edificio Mamitza Bayer ubicado en el campus central de la Universidad Industrial de Santander*. Bucaramanga.
- Gonzalez, C. H. (2023). *FINANCIERO*. Bucaramanga .
- IDEAM*. (15 de 9 de 2023). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>
- NASA POWER Docs*. (29 de Octubre de 2023). Obtenido de NASA POWER Docs: <https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/>
- NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources*. (15 de 9 de 2023). Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/>
- Ortega Lisón, L., & Cañadas Beltrán, V. (2015). *Energía solar fotovoltaica*. SEAS.
- Rangel, I. M. (2023). *Calculo de protecciones en CA* . Bucaramanga .
- Rangel, M. J. (2023). *CALCULO DE REGULACIONES Y CALIBRES* . Bucaramanga .
- Rangel, M. O. (2023). *CALCULO DE REGULACIONES* . Bucaramanga .
- Smith, J. (2018). Diseño de techos y zonificación funcional. *principios y mejores prácticas*. *Revista de ciencias arquitectónicas.*, 5.
- Smith, P. J. (2020). Solar Energy Potential Assessment of Building Rooftops Using UAV-Acquired Thermal Imagery. *Energy and Buildings*, 34.
- Solartex*. (15 de 09 de 2023). Obtenido de <https://www.solartex.co/#>
- SYSTEMS, K. (2023). *Informe de simulacion de estructuras* . Bogota .

Vega Araújo, J., & Muñoz Cabré, M. (2023). *Energía solar y eólica en Colombia: panorama y resumen de políticas 2022*. *SEI Brief*. Stockholm Environment Institute. Obtenido de <https://doi.org/10.51414/sei2023.016>

Apéndices

<https://drive.google.com/drive/folders/1myQ6J29d->

[UPTXGw9FstKE55XBMcUp9cf?usp=drive_link](https://drive.google.com/drive/folders/1myQ6J29d-UPTXGw9FstKE55XBMcUp9cf?usp=drive_link)