



Estudio y diseño eléctrico para la implementación de un sistema de autogeneración a partir de energía solar fotovoltaica en las instalaciones del edificio “C”, ubicado en las Unidades Tecnológicas de Santander.

Seminario Técnico

Andrés Felipe Martínez Serrano

1098783925

Andrés Felipe Vásquez Rovira

1098764061

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD INDUSTRIAL
Bucaramanga 03-07-2021



Estudio y diseño eléctrico para la implementación de un sistema de autogeneración a partir de energía solar fotovoltaica en las instalaciones del edificio “C”, ubicado en las Unidades Tecnológicas de Santander.

Seminario Técnico

Andrés Felipe Martínez Serrano

1098783925

Andrés Felipe Vásquez Rovira

1098764061

Trabajo de Grado para optar al título de

Tecnólogo en Electricidad Industrial

DIRECTOR

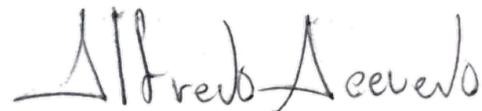
Mg. Lizeth Dayane Cortés Hernández

Grupo de Investigación en Energías – GIE

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD INDUSTRIAL

Bucaramanga 03-07-2021

Nota de Aceptación



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado a Dios, por darme la sabiduría necesaria, ser mi guía y darme la posibilidad de llegar a esta meta. Por colocar en mi camino personas tan comprometidas y de apoyo durante el trayecto de esta carrera.

A mis padres, por ser mi apoyo y motivación en mi formación académica, han sido esenciales en mi vida y el poder sacar adelante mis sueños y a mí directora de proyecto por su acompañamiento y ayuda en el desarrollo de este.

Andrés Felipe Vásquez Rovira

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, dar gracias a Dios por la oportunidad de llegar a este punto de nuestra carrera profesional, que es a la realización de nuestro proyecto de grado, donde demostraremos nuestros conocimientos obtenidos.

De igual forma, dar gracias a nuestros padres y demás familiares, que, desde el inicio de esta trayectoria, nos han apoyado incondicionalmente.

También agradecer a la docente Lizeth Dayane Cortés Hernández, de las Unidades Tecnológicas de Santander, en su acompañamiento durante la realización de este proyecto.

A las Unidades Tecnológicas de Santander, que nos abre las puertas de su institución, permitiéndonos hacer un estudio que nos permitirá incursionar en temas de generación de energía limpia.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	10
INTRODUCCIÓN	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. JUSTIFICACIÓN	14
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4. ESTADO DEL ARTE	16
2. MARCO REFERENCIAL	21
2.1. MARCO TEÓRICO.....	21
2.2. MARCO AMBIENTAL	24
2.3. MARCO CONCEPTUAL	26
2.4. MARCO LEGAL	28
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	30
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	32
5. CONCLUSIONES.....	77
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cubierta del Edificio C.	32
Figura 2. Medidas de la Cubierta.	33
Figura 3. Localización de Zonas.	34
Figura 4. Paneles Solares.	35
Figura 5. Características Eléctricas del Panel Ja-Solar 450W Monocristalino.	36
Figura 6. Dimensiones del Panel Solar Ja Solar 450W 24V Monocristalino.	37
Figura 7. Ficha Técnica Panel Ja-Solar.	37
Figura 8. Certificaciones Ja Solar 450W 24V Monocristalino.	38
Figura 9. Diseño de Cubierta, Vista Superior.	40
Figura 10. Ubicación del Inversor Solar.	42
Figura 11. Inversor SUN2000-185KTL-H1.	43
Figura 12. Arreglo de Módulos por Cada Mppt.	46
Figura 13. Diseño de Cubierta Fotovoltaica Separada en 9 Mppt.	46
Figura 14. Diagrama de Conexión por Mppt.	48
Figura 15. Conectores MC4 en los 9 Mppt.	49
Figura 16. Diagrama Calibres de Conductores.	53
Figura 17. Características Fusible Bussmann.	55
Figura 18. Diagrama de Protecciones Internas AC/DC Inversor Huawei.	57
Figura 19. Interruptor Seccionador Cefem para Baja Tensión.	58
Figura 20. Características Transformador Baja – Baja.	60
Figura 21. Interruptores-Seccionadores con Fusibles 3KF.	60
Figura 22. Diagrama Unifilar AC.	61
Figura 23. Accesorios en Acero Inoxidable Estructuras.	62
Figura 24. Diseño de Estructura Elegido.	63
Figura 25. Vista Frontal del Soporte Sobre Cubierta.	63
Figura 26. Medidas Estructura Vista Lateral.	64
Figura 27. Pasos Para la Instalación de la Estructura – Soporte en Cubierta.	65

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

Figura 28. Descripción Plataforma en Cubierta.	66
Figura 29. Descripción, Generación de Energía de la Cubierta.....	69
Figura 30. Energía - Excedente en Vatios en una Semana.	71
Figura 31. Periodos Académicos en un Año.	71
Figura 32. Kilovatios durante los Periodos en un año.	72
Figura 33. Potencia en KW total en un año.....	73
Figura 34. Diagrama Unifilar.....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Irradiación Solar en Bucaramanga, Santander (2015).	41
Tabla 2. Especificaciones Técnicas inversor Huawei SUN2000-185.	44
Tabla 3. Valores Totales de Entrada al Inversor Solar.	47
Tabla 4. Características del Energyflex-PV WIRE -10AWG PV WIRE	50
Tabla 5. Características salidas SUN2000-185KTL-H1.	51
Tabla 6. Características Extraflex PVC 105°C 0,6/1kV 1/0 AWG.	52
Tabla 7. Protecciones Internas del Inversor Huawei	56

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de grado se desarrolló con el fin de conocer y definir el potencial máximo de generación de energía solar, por medio de un estudio y diseño detallado de cómo debe ser la mejor forma de implementar un sistema de autogeneración por medio de paneles solares fotovoltaicos en la cubierta del edificio C de las Unidades Tecnológicas de Santander. Para lograr lo anterior se tuvo que realizar el diseño de un sistema de generación solar fotovoltaico On-Grid (conectado a la red) partiendo particularmente de las dimensiones y las características estructurales del techo del edificio C de las UTS. Se buscó un diseño estratégico y adecuado para lograr obtener el mayor aprovechamiento de la zona disponible por esta cubierta y pensando en las futuras labores de mantenimiento preventivo y correctivo que se requieran realizar sobre el mismo. Este estudio pretende demostrar los grandes beneficios que la institución obtendrá si implementa este tipo de tecnología y sería un punto de partida para la construcción de un laboratorio de estudios para evaluar este tipo de energías alternativas que puede ser muy útil en el programa de Ingeniería Eléctrica.

PALABRAS CLAVE. Autogeneración, energía renovable, inversor, irradiación, paneles fotovoltaicos.

INTRODUCCIÓN

El gobierno colombiano en su esfuerzo y determinación por impulsar el uso y crecimiento de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) pronunció la ley 1715 del 2014, con el fin de integrar y regular dentro del sistema energético nacional, las energías renovables.

Explicó la ministra de Energía, María Fernanda Suárez: “somos un país hídrico y de grandes recursos energéticos, pero al mismo tiempo vulnerables ante la variabilidad climática y momentos de escasez como el Fenómeno de El Niño” (Minenergía. UPME. Bogotá D.C., 22 de octubre de 2019), haciendo referencia a incorporar y complementar estas fuentes de generación con FNCER.

En la actualidad el país se encuentra en un proceso significativo de transformación energética, en donde las protagonistas son las energías renovables de fuentes no convencionales. Este proceso es liderado por la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME y el Ministerio de Minas y Energía, quienes dan un panorama positivo para la incorporación de energías renovables en Colombia teniendo en cuenta la ubicación privilegiada para la irradiación energética, el desarrollo de nuevas tecnologías y los beneficios tributarios que generan un entorno ideal para el crecimiento de pequeños y grandes proyectos basados en energía solar fotovoltaica.

Colombia cuenta con una gran cantidad aprovechable de energía solar dentro de su territorio gracias a la incidencia solar promedio diaria de 4.5kWh/m², gracias a su ubicación geográfica sobre el ecuador. (Atlas de radiación-IDEAM), entendiéndose que Santander tiene un potencial en energía solar significativo el cual brinda una solución como alternativa de generación de energía limpia para la ciudad y la región.

El tema ambiental es supremamente importante para las Unidades Tecnológicas de Santander que se encuentra en una etapa de crecimiento en infraestructura para poder cubrir la demanda estudiantil en sus propias instalaciones, por lo cual el consumo de energía eléctrica se aumentará y por consiguiente el impacto ambiental negativo será mayor.

Trabajar en diseños y estudios para la implementación de proyectos innovadores basados en sistemas solares fotovoltaicos en las Unidades Tecnológicas de Santander es el primer paso que permitirá contribuir en un futuro de manera eficiente al desarrollo de la misma, logrando el objetivo de hacer tangible el uso de la energía solar con fines educativos en relación a temas de montaje, operación y mantenimiento, como también conocer las bondades de este tipo de energías alternativas en temas de costos y de lo que significa su compromiso con el medio ambiente. De esta manera las Unidades Tecnológicas de Santander aportan no solo a la conservación del medio ambiente, si no también aportan al desarrollo del conocimiento.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ubicación geográfica de Colombia sobre la línea del ecuador representa niveles de irradiación solar considerablemente buenos con respecto a otros países ubicados en zonas septentrionales del globo, como lo son los países nórdicos o países australes como los que se encuentran en el cono sur de América. El no presentar estaciones, hace que durante casi todo el año sobre la mayor parte del territorio nacional se pueda contar con alrededor de 8 horas de sol, en contraparte con países como Alemania que su recurso de brillo solar llega a ser de solo 3 horas. Siendo esto importante en el momento de invertir en sistemas fotovoltaicos (Ministerio de Minas y Energía Unidad de Planeación Minero-Energética, 2015).

Esta ventaja, también supone un compromiso para Colombia a la hora de desarrollar nuevas tecnologías que promuevan el uso de energías renovables con el fin de combatir la crisis medioambiental del planeta y la escasez energética del país provocadas por elementos naturales como el fenómeno del niño (Báez Cáceres, & Sarmiento Domínguez, 2016).

Por lo tanto, alrededor del mundo, varios países se han visto en la necesidad de la implementación de sistemas de generación de energía alternativa o renovable, en su afán de tener sistemas limpios, amigables con el ambiente, de mayor capacidad y confiabilidad, capaces de sobrellevar una falla, pudiendo detectarla fácilmente, aislándola del sistema y solucionándolo rápida y de manera eficaz (Gischler & Janson, 2011).

1.2. JUSTIFICACIÓN

Gracias a la ubicación geográfica privilegiada de Santander, es posible optar por la implementación de diversos sistemas de generación provenientes de energías renovables no convencionales. Adicional, las Unidades Tecnológicas de Santander como institución educativa que cuenta con programas de ingeniería, tecnología y semilleros de investigación en energías, deben estudiar, diseñar y desarrollar herramientas que permitan incorporar a la formación integral de sus profesionales, el conocimiento necesario para promover su desarrollo, el cual es imprescindible para mitigar los efectos devastadores del cambio climático.

En los últimos años las Unidades Tecnológicas de Santander han optado por unirse al cambio y mediante sus acciones contribuir al cuidado del medio ambiente, teniendo una clara conciencia que el desarrollo y los lineamientos energéticos para los próximos años deben ser basados en una transformación hacia la utilización de las energías renovables no convencionales.

La implementación de estos diseños y estudios de generación solar fotovoltaica enfocado en las cubiertas de los edificios principales de las Unidades Tecnológicas de Santander, aportan significativamente a la comunidad estudiantil y a la investigación, puesto que a través de los resultados de este diseño basado en energías limpias, la facultad de ciencias naturales e ingenierías fortalecerá las líneas de investigación en energías renovables sostenibles y adicional a ello pensar en la implementación y desarrollo de este tipo de proyectos en la institución involucra directamente y de forma positiva a los programas de ingeniería, concluyendo y aportando a la educación con espacios que permitan interactuar al estudiante con el comportamiento real de este tipo de tecnologías.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el potencial de generación fotovoltaica de la terraza del edificio C, contando con argumentos técnicos y financieros, que permitan un análisis, y determine la viabilidad de adquirir el sistema.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el número de paneles solares que pueden ser instalados en el edificio C, usando la normatividad vigente, aprovechando al máximo el espacio disponible en su cubierta.

Seleccionar el inversor trifásico y las protecciones adecuadas para el conjunto de paneles, teniendo en cuenta el campo fotovoltaico mediante la identificación de, especificaciones, parámetros y requisitos para su correcta implementación, proporcionando magnitudes en tensión, corriente y frecuencias estables.

Sugerir una conexión entre el inversor y el barraje de la sub estación del edificio C, mediante un diagrama unifilar, la identificación gráfica de los dispositivo y elementos que conforman la instalación eléctrica del proyecto, junto con la información técnica a disposición.

Estimar un presupuesto de instalación para el producto, mediante la identificación de los costos unitarios de los elementos constitutivos, analizando el impacto financiero para la institución y la posibilidad de ejecución del proyecto.

1.4. ESTADO DEL ARTE

Las contribuciones en el desarrollo de sistemas y proyectos ecológicos en captación de energía solar provienen de algunos años atrás y de varios países en el mundo. A continuación, se presentan algunos antecedentes importantes y relevantes los cuales han permitido tener una referencia, proyectar el alcance y demostrar su viabilidad en países que ya cuentan con la conciencia ambiental y la disposición para desarrollar los proyectos con esta tecnología.

En la Universidad de Salamanca, México; existe un desarrollo de sistema fotovoltaico On-Grid para el estacionamiento de la institución, y tiene como objetivo el cálculo del sistema fotovoltaico para permitir la generación de corriente, con la particularidad de proporcionar sombra en estacionamiento para los vehículos del personal de la institución. La metodología para el diseño del sistema fotovoltaico estaba basada en ejecutar un estudio de irradiación, esto les permitió determinar qué tan viable era la implementación de dicho proyecto, otro estudio de la energía consumida, con base en las cargas de los equipos en funcionamiento, y el último, estudio era de factibilidad, teniendo presente que, los paneles solares no solventaron la totalidad de demanda energética, y, aun así, mitigaría gran parte del gasto por consumo. (Luna & Ramos, 2014)

Otro proyecto que abarcaba el desarrollo de un sistema fotovoltaico On-Grid, esta vez es en la Universidad Tecnológica de Altamira, y establecen una implementación de celdas fotovoltaicas. El proyecto busca plantear y aportar soluciones mediante sistemas solares fotovoltaicos a la Institución Educativa, se propone este proyecto ya que el lugar en donde se encuentra establecida la Universidad Tecnológica de Altamira cuenta con un considerable potencial de recurso solar, mismo que puede ser aprovechado para la generación de energía eléctrica y reducir de manera

significativa las emisiones contaminantes, así como obtener ahorros importantes en la facturación de la energía eléctrica utilizada. Por lo tanto, se analiza y compara los beneficios actuales contra los que se obtendrían al implementar un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica y por último se realiza una relación costo- beneficio.

En la Universidad Tecnológica de la Zona Metropolitana de Guadalajara México, Implementan un sistema fotovoltaico interconectado a la red, para la alimentación de luminarias en un edificio de usos múltiples, lo interesante de este proyecto realizado por Soraya Navarro, José Antonio González y César M. López es el enfoque que se da a cada etapa del proyecto, el cual lo desglosan en 11 etapas, iniciando por el estudio energético, validación de la zona y finalizando con modificaciones, correcciones y planes de mantenimiento. El proyecto dispuso del recurso económico por parte de la universidad quienes aportaron los equipos necesarios para la instalación. El proyecto en su primera fase cumplió con el objetivo del abastecimiento de iluminación usando paneles policristalinos, y en una etapa futura, se enfocará en cubrir las cargas propias de equipos eléctricos y computadoras, dejando para una tercera etapa la generación de energía solar fotovoltaica para cubrir únicamente el consumo por parte de los sistemas de refrigeración.

Las zonas que reciben mayor intensidad de radiación solar global en Colombia son: la región Caribe, el norte y oriente de Antioquia, el occidente de Santander, Norte de Santander. A continuación, se presentan algunos proyectos significativos y relevantes en cuanto al tema de la generación fotovoltaica incorporando El concepto On-Grid, el cual hace referencia a un sistema de energía solar conectado a la red o También conocido como Grid-Tied (atado a la red), Los cuales han permitido tener una referencia, proyectar el alcance y demostrar su viabilidad en diferentes regiones del territorio nacional colombiano. Los estudiantes Hedier Díaz y Fabián Diez del

programa de Ingeniería Eléctrica han desarrollado un prototipo el cual fue diseñado y dimensionado para suministrar y alimentar parte de los circuitos de iluminación del nuevo laboratorio de máquinas térmicas. Se trata del primer proyecto sobre energía renovable que se desarrolla en la UAO (Universidad Autónoma de Occidente) donde el objetivo es dejar la instalación totalmente diseñada y validada para las condiciones climatológicas de la Universidad, ese montaje se llevó a cabo con recursos existentes en la Universidad Autónoma De Occidente.

Diseño de Planta Fotovoltaica en el campus de la Universidad Cooperativa de Colombia, es un proyecto que espera contribuir a la implementación de energía solar, mediante el diseño de una planta fotovoltaica con el fin de generar energía eléctrica por medio del aprovechamiento de la energía solar, ya que la Universidad tiene un consumo elevado de energía. El enfoque principal es lograr mediante la energía solar fotovoltaica reducir los costos eléctricos, ayudando a la institución a ahorrar dinero y a tomar el control de su futuro energético.

La propuesta para el diseño de una zona de estudio con panel solar en la plazoleta de la familia de la Universidad de Santander (campus Cúcuta) bajo los estándares de la PMI, el cual busca reducir el impacto del cambio climático. Disminuyendo el consumo energético a través de la propuesta de implementar paneles solares con el fin de contrarrestar la energía convencional y adicional brindar nuevos espacios tecnológicos para los estudiantes y maestros.

Actualmente la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA) afirma que “La fuente de energía más desarrollada en la actualidad es la energía fotovoltaica, que se ha posicionado en los últimos años como la energía renovable más utilizada” y aunque podemos decir que todavía no es rentable implementarla en todos los sectores, Santander tomo la iniciativa en cuanto al desarrollo e implementación de este tipo de tecnologías de generación de energías limpias en

el sector comercial y educativo. A continuación, se mencionan algunos proyectos importantes en la región que presentan su aporte al medio ambiente y los beneficios económicos obtenidos.

El proyecto que lleva por nombre “Estudio para la implementación de un sistema de autogeneración a partir de energía solar fotovoltaica en las instalaciones del molino Guanentá” desarrollado por dos estudiantes de la carrera ingeniería en energía de la Universidad Autónoma de Bucaramanga, ha propuesto un proyecto con el cual se busca suplir parte de la demanda de energía eléctrica de la empresa Molinos Guanentá S.A.S. Este proyecto se enfoca en el municipio de Curití Santander, proponen darle solución a este problema por medio de un sistema solar conectado a la red, realizando un estudio técnico-financiero ya que Curití es uno de los 4 municipios con mayor potencial en energía solar en la región. Es interesante ver en este proyecto el cambio total de condiciones al pensar que para poder satisfacer la demanda total de energía del molino deben pasar de un sistema de pequeña escala (generación inferior a 100 kW) a uno de mayor potencia, lo cual superaría el límite por la resolución CREG 030 para optar a la conexión simplificada.

El estudio de energía solar, sobre la implementación de sistemas de generación fotovoltaicos en uno de los edificios de la UDES, es una iniciativa que apoyada desde la maestría en Sistemas Energéticos Avanzados tiene como objetivo mitigar la huella ambiental que se genera por el alto consumo de energía procedentes de fuentes no renovables. El proyecto radica en el desarrollo de un sistema de autogeneración a partir de fuentes renovables que permitirá que la universidad pueda hacer parte de las empresas que se ciñen al Marco Normativo Nacional de Colombia y contribuyen al desarrollo de proyectos orientados hacia la sostenibilidad medioambiental.

Desde la escuela de Ingenierías de la UPB seccional Bucaramanga, se estudia la posibilidad de ejecutar un sistema de provisión de energía eléctrica a partir de la energía solar en el campus, por medio de paneles fotovoltaicos. Generando conclusiones técnicas y financieras que faciliten una idea cuantitativa del favor económico de esta energía respecto a la energía tradicional, mostrando este nuevo sistema alternativo y amigable con el medio ambiente. Dando a conocer que el uso de energías alternativas es el primer paso para lograr cambios significativos en el medio ambiente y generando conciencia en las personas

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

Saber qué es y cómo funcionan los paneles solares, es el primer paso para entender la energía solar y sus aplicaciones. En 1839 el francés Edmund Becquerel descubre que, al incidir radiación solar sobre una pila galvánica de dos electrodos sumergidos en una solución conductora, se generaba un leve aumento de energía eléctrica (Miranda, 2009).

Los paneles solares o módulos fotovoltaicos están conformados por celdas solares que a su vez contiene células solares individuales formadas de algún material semiconductor siendo el silicio el más común, pudiendo ser silicio cristalino o amorfo, cuando estos absorben la energía proveniente del sol y antes de convertirla en electricidad, la célula solar se comporta de una forma parecida a cómo se comporta una batería; dos capas, una de carga positiva y otra negativa, se forman cuando los electrones se separan al recibir la luz del sol, y esta diferencia de potencia es la que genera la corriente eléctrica. Entonces la forma usual de usar un panel solar fotovoltaico es tenerlo conectado a una batería almacenadora de la energía eléctrica generada que se carga para ser utilizada o conectándolo directamente al tablero eléctrico para consumir, pero primero es necesario que esté conectado a un inversor, que permite convertir en corriente alterna lista para usar, la corriente continua que genera la celda solar (Celsia Solar, 2016).

Podemos decir que si usamos paneles solares, logramos constituir la base fundamental de algo también conocido como la red eléctrica inteligente de distribución, que comprende todo lo relacionado con energías renovables, integradas de manera eficiente en el proceso de transmisión de electricidad, como de comunicación y transferencia de datos, presentando un alto rendimiento, a un

bajo consumo, siendo de fácil alcance para los usuarios, que además de ser consumidores, pueden cumplir un papel de generadores dentro de la red, resultando esto en un bajo impacto para los recursos ambientales y económicos (Garrido, 2012).

Ahora el implementar un generador de energía eléctrica no convencional no significa simplemente en tener el aerogenerador instalado o la celda solar instalada, se pueden implementar medidores eléctricos inteligentes (Rogai, 2007), que serían parte esencial en la implementación de múltiples servicios como conexión con el operador, con ayuda de sensores y controles automáticos que permiten almacenar energía (Valverde, 2012).

Actualmente el sistema de generación de energía más común es el centralizado, y como su nombre lo indica, la energía en forma de electricidad es generada en cantidades superlativas por las grandes centrales, que luego es transportada a través de líneas eléctricas de alta tensión, hasta que llega a los hogares y fabricas donde es consumida, pero actualmente se encuentra en constante desarrollo un sistema de generación distribuida que se espera desplace totalmente a el actual, aun cuando la generación distribuida suele funcionar en constante cooperación con las centrales de generación convencionales y aunque los sistemas de generación distribuida por ahora no son competencia para los centralizados, principalmente por cuestiones de costos en la investigación y producción de las nuevas tecnologías, necesarias para su correcta implementación, se estima que en un futuro cercano, los precios se reduzcan, qué y finalmente sea ejecutado este nuevo y más eficiente sistema descentralizado (Ochoa, 2012).

Los sistemas de generación distribuida consisten en la generación de energía eléctrica mediante pequeñas fuentes de energías limpias que suelen estar instaladas cerca del lugar de consumo o estar conectada directamente a la red

convirtiéndolo en un sistema bidireccional, y que presenta ciertas características específicas que catalogan este sistema descentralizado superior al centralizado, dichas características son la reducción en las pérdidas de potencia en la red eléctrica, pues al estar más cerca del consumidor las pérdidas de energía por transporte se reducen y la calidad del sistema mejora considerablemente, pues al haber un fallo en una de las fuente las demás no sufren inconveniente alguno siendo este un sistema más fiable y amigable con el medio ambiente pues usas energías renovables como fuentes micro generadoras (Endesa Educa, 2014).

Cuando se habla de generación distribuida, se habla también de generadores y existen dos tipos, los llamados convencionales, esos que impactan en el medio ambiente y pueden ser turbinas de gas y motores de combustión interna entre otros, pero cuando se habla de los no convencionales o micro generadores, se piensa en las dos más famosas que son las turbinas eólicas y las celdas fotovoltaicas, estas dos últimas son las que se usan regularmente en los sistemas de generación distribuida bidireccional además suelen hacer uso de tecnologías de almacenamiento en casos de ausencia de medio generador, siendo las baterías las más comunes (Hernández, 2009).

2.2. MARCO AMBIENTAL

Una de las alternativas de análisis para el problema de la gran demanda energética, no solo del país, del mundo, es la exploración de energías alternativas, las cuales ayudan de sobremanera en el cuidado de los recursos renovables del planeta y están ligadas al uso de fuentes alternativas de energía, es sabido para quienes manejan el tema, que la implementación de un sistema de generación distribuida, representa un bajo impacto ambiental en la zona donde se lleva a cabo dicha implementación (Camacho, García, & Velasco, 2013), y es que se estima que el 40% de la energía eléctrica se genera mediante la quema de combustibles fósiles y carbón, lo que viene siendo que el 72% de las emisiones de CO₂ que van a parar en la atmosfera, son por culpa de la alta demanda energética, que se presume aumente en 20 años, a 1GW por semana para cubrir la demanda mundial (ABB, 2015).

El ahorro energético y la contaminación son dos puntos clave que se pretenden sean inversamente proporcionales, que, a la hora de implementar sistemas de generación distribuida, por medio de paneles solares fotovoltaicos, se reduzca la contaminación, y el aprovechamiento energético sea superior. Con los acuerdos de Paris, firmados en abril del 2016, se apuntaba seriamente al ámbito energético, desde alternativas limpias, con el fin general de robustecerse mundialmente y estar preparados a la amenaza del cambio climático (Navarro, 2017).

El ser inagotables, y el más especial y característico hecho, de que no contaminan, son más que interesantes ventajas de usar energías renovables, y es que son el futuro, para el bienestar del planeta. Sabiendo que, en todas las energías renovables, el principal culpable de tal beneficio es el sol, responsable de los vientos, las lluvias, y el crecimiento de las plantas, entre otros factores, que

determinan los tipos más comunes de energías renovables, tales como, la hidráulica, biomasa, geotérmica, eólica, y como no, la solar (García, 2017).

Respetar el medio ambiente, mediante el uso de estas energías, y no las convencionales, que son las que causan un daño infinitamente superior al medio ambiente, 31 veces más contaminantes que las renovables y ecológicas, es lo que se pretende hacer con el uso de modernas tecnologías, tecnologías que se presencian en la implementación de redes eléctricas inteligentes en sistemas de generación distribuida sustentadas en el uso de aerogeneradores y paneles solares fotovoltaicos (Greenpeace España, 2001).

Con las energías alternativas poniéndose de moda cada vez más a lo largo del planeta, es importante entender que algunas de las razones por las que aún no se implementan a gran escala, es la falta de protocolos claros en proyectos piloto, lo cual genera ciertos inconvenientes, como lo que sucedió hace tres años en España con la energía eólica, que sin bien es la más limpia, se llegó a tener 20.000 palas de aerogeneradores en desuso, que amenazaron con convertirse en un grave desastre ecológico, y todo porque no se tenía un claro manejo del proyecto alcanzado el final de la vida útil de las palas (Ruiz, 2014).

La incertidumbre es otro problema que se genera a la hora de apostar a que la energía solar, o la eólica en un sistema de generación distribuida, va a ser capaz de mantener la demanda de grandes sectores 24 horas, siete días a la semana, es absurdo pensar que de la noche a la mañana se va a poder reemplazar la energía convencional, y más cuando hay temporadas inciertas donde los picos de demanda sobrepasan los estimados, cuando lo ideal es que la renovable entre a funcionar junto a esta, hasta que pueda desplazarla en totalidad, pues un problema más que se suma, son costos de implementación de nuevas tecnologías ligadas a energías limpias (Rivas, 2014).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Autogeneración: consiste en la generación de energía eléctrica realizada ya sea en el hogar, escuela, universidad o negocio. Como requisito para poder inyectarla a la red, ésta debe haber sido generada mediante energías renovables no convencionales. La energía autogenerada suple parte del consumo eléctrico de los hogares, escuelas, universidades, negocios o industrias.

Energías renovables: Son las que se obtienen a partir de fuentes naturales y que producen energía de forma interminable. Por ejemplo, la energía solar es una fuente inagotable de energía, porque se aprovecha el recurso energético proveniente del sol, y otra fuente renovable de energía, es la masa forestal, que se regenera de forma natural con el tiempo.

Inversor: Se trata de un dispositivo electrónico que convierte corriente continua, en corriente alterna. Su principal función es cambiar el voltaje de entrada de CC a un voltaje de salida de CA. Esto quiere decir que transforma los 12 o 24 Volts de una batería (CC) a 220 Volts (CA). Los inversores de corriente tienen diferentes aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación, hasta en grandes aplicaciones en la industria.

Irradiancia: Si bien la RAE lo define la irradiación como la capacidad de un cuerpo para emitir energía en forma de luz o calor, para la física, irradiancia es la magnitud que mide la energía por unidad de área de radiación solar que incide sobre una superficie. En el sistema internacional de medidas su símbolo es la E y su unidad es el Watt por metro cuadrado (W/m^2).

Paneles fotovoltaicos: Los paneles fotovoltaicos se caracterizan por ser un tipo de panel diseñado para aprovechar de la energía del sol. Su función es

transformar esta energía en electricidad. También llamados módulos fotovoltaicos, estos están formados por celdas fotovoltaicas que se conectan entre sí.

El panel es el que se encarga de transformar la energía de la radiación del sol en electricidad, en forma de corriente continua. El resto de los elementos, como lo son los reguladores de carga y los inversores de corriente, son los que se encargan de transformar y gestionar la tensión en corriente alterna.

2.4. MARCO LEGAL

Regular la integración de energía renovables no convencionales al sistema energético de Colombia, además de ofrecer soluciones de generación distribuida, y la autogeneración de energía en pequeña escala, es lo que propone la ley 1715 de 2014, esta normativa se relaciona directamente con el desarrollo del proyecto, tiene palabras claves que se resaltan a lo largo de la ley, tales como promover el desarrollo y la utilización de fuentes no convencionales de energía, estimular la penetración de estas al sistema energético del país, inversión, investigación, y desarrollo para la producción y utilización de las ya nombradas energías de carácter renovable (Ley N° 1715, 2014).

El uso racional y eficiente de la energía, es declarado en la ley 697 de 2001, como un asunto de total interés, público y social, de conveniencia para Colombia, fundamental para cerciorar el suministro energético pleno y acertado, la competitividad de la economía nacional, la fomentación del uso de energías no convencionales, que protegen los recursos naturales de manera sostenible con el medio ambiente (Ley N° 697, 2001), como parte del progreso de la anterior ley, se han expedido algunos decretos y normatividades, uno de los más destacados es el decreto 2501 de 2007 del Ministerio de Minas y Energía, cuyo objetivo primordial, es el de respaldar el uso racional y eficaz de energía eléctrica, destinada a la transformación de la misma, bien sea aplicada en nuevas tecnologías, tanto de fabricación colombiana como en productos importados (Decreto Ley N° 2501, 2007).

Con la Propuesta de Resolución CREG 179/2014 sobre la renovación tecnológica, de la Comisión de Regulación de Energía y Gas, dice que los proyectos de inversión en tecnología que se planteen basados bajo dicha propuesta, deben discurrir con base en los criterios establecidos, en la ley 143 de 1994 (Resolución N° 179, 2014),

la anterior ley, establece ciertas reglas que regulan y dictan algunas disposiciones, en diversas actividades tales como, generación, interconexión, transmisión, distribución, y comercialización de electricidad, actividades del sector energético, además, y con ayuda del Ministerio de Minas y Energía, logran discernir criterios para el aprovechamiento de los recursos energéticos convencionales y no convencionales del país, de manera que con este beneficio económico y una conducción integral y sostenible, promueva el desarrollo, y el uso racional y eficiente de la energía, además de lo anterior, esta ley establece, que las inversiones que reúnan los avances de la ciencia y tecnología en materia energética, deben conseguir un incremento en la calidad de prestación del servicio eléctrico a menor costo, en otras palabras, aportar un aumento en la eficiencia, y que sea viable ambientalmente, generando el mínimo impacto (Ley N° 143, 1994).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

El método para la realización de este proyecto en primera instancia será llevar a cabo una búsqueda de información ya existente, principalmente de artículos de investigación y tesis, alojados en la red acorde a las necesidades del proyecto, la aplicación de la energía solar fotovoltaica, y luego en segunda instancia y por las dificultades de salubridad nacional un tipo de trabajo virtual, con ayuda de bases de datos satelitales analizar las dimensiones del techo del edificio C, para el calculo de la cantidad y distribución ideal de los paneles además de la elección del inversor y su conexión en el sistema, para finalmente emitir un juicio respecto a la viabilidad económica del proyecto basados en los datos teóricos presentados.

Teniendo en cuenta la base del trabajo y lo explicado anteriormente, se tomará una corriente de investigación exploratoria, al menos en su fase inicial y para generar hipótesis que sugieran los fenómenos que se esperarían a la hora de desarrollar el proyecto, y luego con una investigación del tipo correlacional para aportar indicios sobre las diferentes causas de los fenómenos y el grado de relación entre variables.

En cuanto al enfoque de la investigación este será cualitativo, así las hipótesis se pueden plantear y refinar durante la investigación y según el análisis de datos responder las preguntas claves del proyecto. Para el desarrollo del proyecto se adoptará el método inductivo de esta manera el razonamiento de las premisas apoya las conclusiones, pero no las garantizan.

Como técnica para la recolección de datos lo ideal sería que se empleará el experimento, es decir se instalará el sistema fotovoltaico y durante un tiempo prolongado se llevará a cabo una serie de pruebas y mediciones, recopilando datos y de esta manera utilizarlos para evaluar el diseño y sacar las conclusiones finales del trabajo realizado, pero como en este caso se espera abordar el problema desde

otro ángulo, escuetamente "de atrás para adelante", pues se llenaría una ficha con los datos que se esperan obtener, siendo lo más parecido a un técnico de fichaje, antes que otro tipo.

Para dar solución a los objetivos propuestos, se desarrolla el proyecto en un orden de siete fases, cada una involucrada directamente con la otra. En la primera fase se tiene como propósito identificar o hacer reconocimiento del lugar o zona en que se desarrolla el proyecto, seguido de esto se tiene la segunda fase, en donde partiendo del área disponible se elige el panel solar adecuado. En la tercera fase se elige el tipo de inversor solar y partiendo de los datos de la fase uno y dos, el arreglo de paneles que mejor convenga para el sistema. En la cuarta fase se desarrolla la elección y especificación de protecciones y conductores eléctricos que se ajustan a los parámetros del sistema, esto con el fin de describir la conexión entre el inversor y la subestación del edificio C. En la quinta fase se expone el tipo de estructura adecuada para la instalación de los paneles solares, mencionando sus características arquitectónicas y materiales para su respectivo montaje en cubierta. En la sexta fase se describen los costos totales del proyecto, resaltando el costo de los equipos seleccionados, y costo de instalación. Para finalizar, en la séptima fase se obtienen y analizan los datos de generación de potencia del sistema propuesto.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

El diseño del sistema fotovoltaico On-Grid, basado inicialmente en la superficie disponible en la cubierta del edificio C de Las Unidades Tecnológicas De Santander, requiere de una metodología de diseño que radica en la consideración de la superficie disponible para la ubicación apropiada de cierta cantidad de paneles solares fotovoltaicos cuya función sea producir energía eléctrica a la institución, bajo condiciones y parámetros de insolación nominales, es decir $1000\text{W}/\text{m}^2$. Esta estrategia es la más útil para dar solución a la problemática planteada, ya que se dispone de una superficie acotada para la instalación de paneles solares fotovoltaicos, la cual da unas condiciones puntuales para el desarrollo del proyecto.

Fase 1 - Reconocimiento del lugar de instalación

El primer paso que se llevó a cabo fue realizar un reconocimiento de forma virtual, por medio de fotografías aéreas y con la ayuda del software online de Google Earth Pro el cual permitió determinar por medio de múltiples cartografías e imágenes satelitales las distancias perimetrales de la cubierta del edificio C de Las Unidades Tecnológicas De Santander.



Figura 1. Cubierta del Edificio C. Fuente: Autor

Se observó la superficie destinada para el proyecto y determinamos la orientación norte para la ubicación adecuada de los paneles solares, adicional se identificó la superficie, la cual es un tejado termo-acústico con inclinación invertida o conocida también como cubierta mariposa, esta condición con inclinación negativa del ángulo del tejado con respecto al suelo, representa un reto, el cual se debe solucionar recurriendo a métodos estructurales que aporten a la inclinación del panel fotovoltaico como también a los esfuerzos relacionados con el viento sobre los paneles.

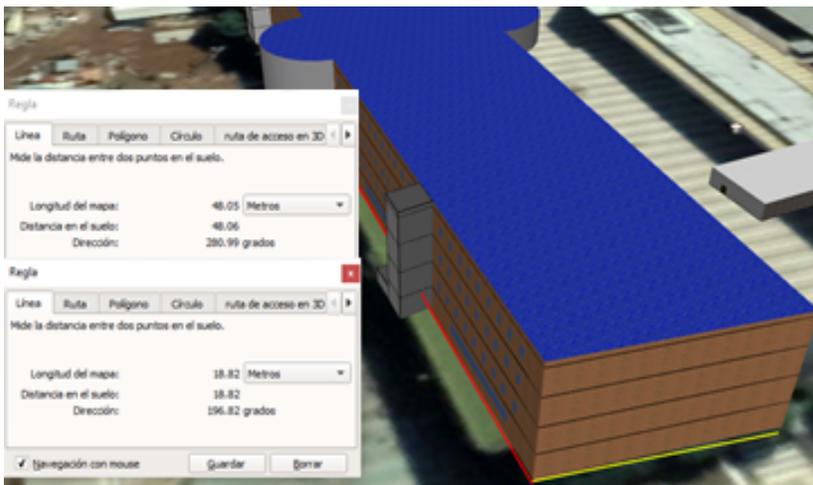


Figura 2. Medidas de la Cubierta. Fuente: Google Earth Pro

Haciendo uso de la herramienta de medición de superficies que proporciona el programa google earth pro, se determinaron seis zonas aptas para la instalación de paneles solares, y además se obtuvo el perímetro de cada una de estas seis zonas como lo muestra la figura 3.

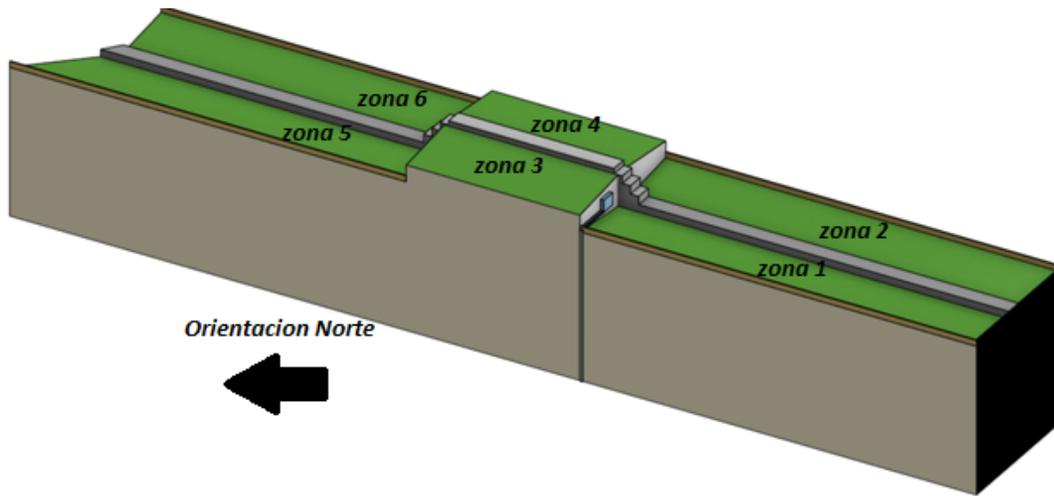


Figura 3. Localización de Zonas. Fuente: Autor

Dimensiones perimetrales de las zonas elegidas:

- Área zona 1: 44.1m x 6.36m = 280.476m²
- Área zona 2: 44.1m x 6.36m = 280.476m²
- Área zona 3: 11.55m x 6.36m = 73.458m²
- Área zona 4: 11.55m x 6.36m = 73.458m²
- Área zona 5: 18.9m x 6.36m = 120.204m²
- Área zona 6: 18.9m x 6.36m = 120.204m²

Fase 2 – Selección del panel fotovoltaico adecuado.

Determinando las medidas del área total disponible para el diseño, se procede a la selección del panel solar adecuado para la instalación, obteniendo en primer lugar las dimensiones de cada uno y su respectiva potencia, para optar por el que mejor se acomode a nuestra superficie definida, para esto se consideran varias opciones de paneles solares presentes en el mercado colombiano que cumplan con todas las certificaciones de calidad y eficiencia.

Para hacer la correcta selección del panel solar fotovoltaico, debemos entender las características principales y más relevantes de los dos tipos de paneles solares que se encuentran en el mercado (monocristalinos o policristalinos). Actualmente

encontramos gran variedad en modelos y estilos de paneles solares en el mercado, con un amplio rango de potencias que se acomodan a la necesidad de cada instalación. En este diseño se hace relevante la selección del tipo de panel solar que se acomoda mejor a las condiciones climáticas de la zona urbana de Bucaramanga, Santander. Por tal motivo se comparan las características principales de cada uno de estos dos tipos de paneles.

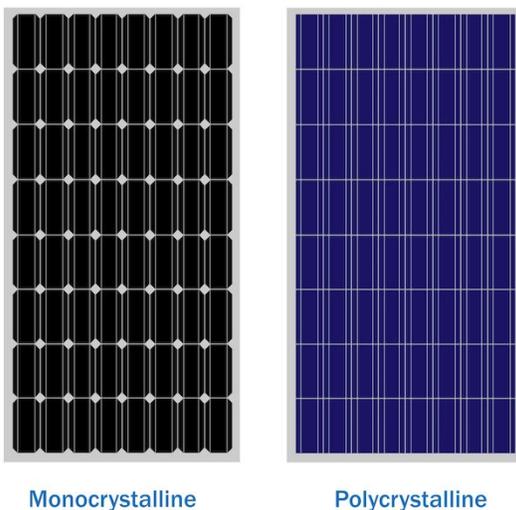


Figura 4. Paneles Solares. Fuente: <https://autosolar.co/>

No existe un panel solar mejor que el otro, aunque por las condiciones según el clima habitual en donde se va a desarrollar la instalación marcará el camino a la elección adecuada, ya sea monocristalino o policristalino, para climas cálidos con temperaturas bajas es recomendable instalar placas solares policristalinas, para que absorban el calor más rápido y así evitar el sobrecalentamiento, y para climas fríos o templados como es el caso de Bucaramanga, Santander, en donde frecuentemente tenemos presencia de lluvias o tormentas, y su temperatura promedio no es tan elevada se recomienda la instalación de placas solares monocristalinas, debido a que estas placas solares tienen una mejor absorción de la radiación y son ligeramente más eficientes.

Entre los paneles monocristalinos presentes en el mercado colombiano resalta uno de los modelos más potentes, el (ja solar 450W) con 144 medias células de silicio monocristalino tipo p, una placa solar de gran calidad, su principal ventaja es su potencia comparada con su espacio. Estos paneles tienen una capacidad de potencia muy elevada. Y ofrece los últimos avances de tecnología que se pueden encontrar actualmente en el mercado, de las cuales podemos destacar: las medias de las células monocristalinas que ofrecen mejor producción y rendimiento térmico. Estos paneles tienen una eficiencia de producción mayor, que el resto de paneles con una superficie de captación similar a una panel regular con 72 células. (JA-Solar, s.f.).

- Potencia Pico (P_{MAX}): 450W
- Voltaje a máxima potencia (V_{MPP}): 41.52V
- Intensidad a máxima potencia (I_{MPP}): 10.84A
- Voltaje en circuito abierto (V_{OC}): 49.7V
- Intensidad en cortocircuito (I_{SC}): 11.36A

Estos datos de producción son bajo condiciones estándar de irradiación de 1000W/m², a una temperatura de célula de 25°C y con una masa de aire de 1.5AM. La tolerancia de la potencia de salida es de ± 5W.

Figura 5. Características Eléctricas del Panel Ja-Solar 450W Monocristalino. Fuente: Ja-Solar

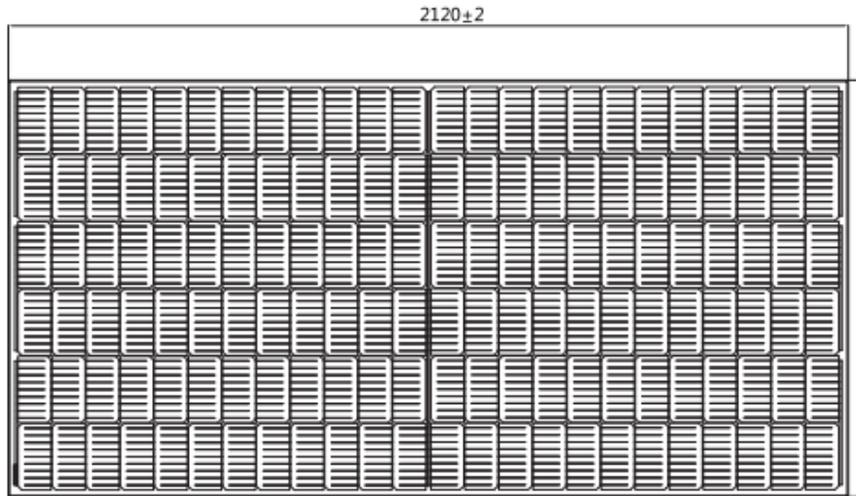


Figura 6. Dimensiones del Panel Solar Ja Solar 450W 24V Monocristalino. Fuente: <https://autosolar.co/>

Potencia del Panel Solar: 450W
 Tipo de Célula del Panel Solar: Monocristalino PERC
 Rigidez del Panel Solar: Rígido
 Dimensiones del Panel Solar: 2120 x 1052 x 40 mm
 Tensión Máxima Potencia: 41.52V
 Corriente en Cortocircuito ISC: 11.36A
 Eficiencia del Módulo: 20.2%
 Amperios Máximos de Salida IMP: 10.84A
 Tensión en Circuito Abierto: 49.7V
 Voltaje de Trabajo del Panel Solar: 24V
 Peso del Panel Solar: 25Kg
 Marco del Panel Solar: Blanco y Gris
 Garantía del Panel Solar: 25 años

Figura 7. Ficha Técnica Panel Ja-Solar. Fuente: Ja-Solar

Certificaciones

Por otra parte, es importante verificar que el proveedor de paneles solares garantice que el producto se encuentra avalado y certificado por las normativas correspondientes, en este caso tenemos que el panel solar (Ja Solar 450W 24V Monocristalino) se encuentra certificado y avalado por 5 normas como lo muestra la figura 8.

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- OHSAS 18001: 2007 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval



Figura 8. Certificaciones Ja Solar 450W 24V Monocristalino. Fuente: <https://autosolar.co/>

Con esta información recolectada, las medidas exactas de cada zona a usar y las dimensiones exactas de cada módulo solar, podemos calcular la cantidad de paneles solares que podemos ubicar en cada una de las zonas numeradas.

Área total del panel solar Ja Solar 450W 24V Monocristalino:

- Área total = 2.12 m x 1.05 m = 2.226 m²

Con la siguiente formula obtendremos la cantidad de paneles solares por superficie acotada:

$$n.\text{paneles} = \frac{S.\text{disponible}}{S.\text{panel}}$$

S.disponible corresponde a los m² de superficie disponible para la instalación y S.panel a la superficie cubierta por cada panel. El resultado obtenido se redondeará hacia el menor número entero.

1. Cantidad de paneles solares en la zona 1.

$$n. \text{ paneles} = \frac{280.476}{2.226} = 126 \text{ paneles}$$

2. Cantidad de paneles solares en la zona 2.

$$n. \text{ paneles} = \frac{280.476}{2.226} = 126 \text{ paneles}$$

3. Cantidad de paneles solares en la zona 3.

$$n. \text{ paneles} = \frac{73.458}{2.226} = 33 \text{ paneles}$$

4. Cantidad de paneles solares en la zona 4.

$$n. \text{ paneles} = \frac{73.458}{2.226} = 33 \text{ paneles}$$

5. Cantidad de paneles solares en la zona 5.

$$n. \text{ paneles} = \frac{120.204}{2.226} = 54 \text{ paneles}$$

6. Cantidad de paneles solares en la zona 5.

$$n. \text{ paneles} = \frac{120.204}{2.226} = 54 \text{ paneles}$$

Con los resultados obtenidos anteriormente, se realiza la respectiva ubicación, haciendo uso del software Onshape, el cual permite diseñar proyectos con medidas reales de forma 3d. La ayuda visual que proporciona este software es de gran importancia ya que permite realizar el diseño con las medidas seleccionadas y da una idea acertada para el uso de espacios previamente dimensionados.

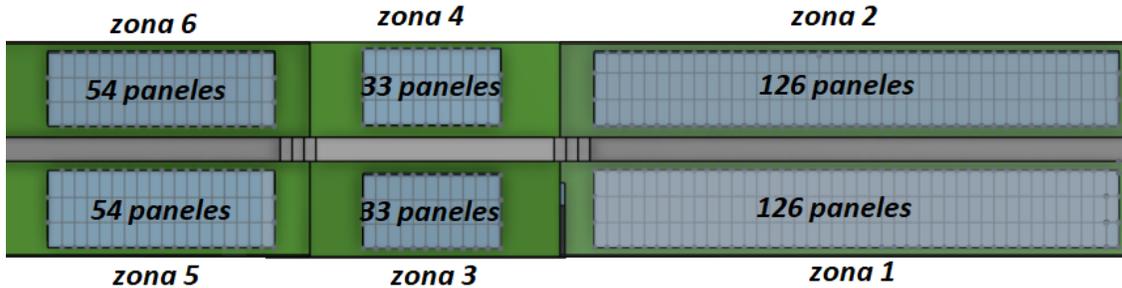


Figura 9. Diseño de Cubierta, Vista Superior. Fuente: Autor

Con el número de paneles que se obtuvo, se comparará luego la potencia pico que se podría producir con cada uno de los arreglos de paneles considerados, tal que la potencia en cada caso corresponderá a:

$$P_{\text{atreglo}} = N_{\text{paneles}} * P_{\text{mp.panel}} [W]$$

Donde $P_{\text{mp.panel}}$ corresponde a la potencia nominal del panel en cuestión.

$$P_{\text{atreglo}} = 426 \times 450 \text{ W} = 191.7 \text{ kW}$$

Con esta fórmula obtenemos el resultado del pico de potencia máxima que resulta de nuestro sistema solar con 426 paneles entregando energía en su nivel máximo en condiciones óptimas. Concluyendo que es un sistema de generación y autoconsumo a pequeña escala y se encuentra dentro del parámetro de los generadores inferiores a 1MW según lo establecido en la resolución CREG 121 de 2017.

- Cálculo de la hora solar pico en Bucaramanga.

$$HSP = \frac{\text{Irradiacion global}}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{4.6 \text{ kWh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 4.6 \text{ horas}$$

- Para obtener la mayor eficiencia en captación de energía solar en nuestros paneles es necesario hallar el ángulo óptimo de inclinación.

$$\text{Inclinación opt.} = (3.7 + 0.69) \times \text{latitud.}$$

Este último valor (latitud) se encuentra fácilmente con ayuda del programa en línea Photovoltaic Geographical Information System, resultado de la ubicación de la zona en el mapa interactivo por medio de coordenadas.

$$\text{Inclinación opt.} = (3.7 + 0.69) \times 7.016 = 31^\circ$$

El resultado que se obtuvo, refiere a la inclinación en grados que se debe tener a la hora de la instalación del sistema solar en la zona escogida, al interactuar con el programa en línea Photovoltaic Geographical Information System se puede observar los datos mensuales de irradiación solar, este programa muestra los resultados de horas solares pico en Bucaramanga durante los 12 meses del último año que se tomaron las muestras (2015), estos resultados corresponden a las coordenadas de las Unidades Tecnológicas de Santander (7.106, -73.125) y se exportaron a una tabla de Excel para su mejor comprensión.

Tabla 1.
Irradiación Solar en Bucaramanga, Santander (2015). Fuente: Autor

Latitude (decimal degrees):		7.107		
Longitude (decimal degrees):		-73.123		
Radiation database:		PVGIS-NSRDB		
year	month	irradiacion	hsp	
2015	Jan	216,21	6,97	
2015	Feb	169,9	6,07	
2015	Mar	171,76	5,54	
2015	Apr	138,09	4,60	
2015	May	133,26	4,30	
2015	Jun	110,91	3,70	
2015	Jul	119,35	3,85	
2015	Aug	125,44	4,05	
2015	Sep	149,39	4,98	
2015	Oct	166,37	5,37	
2015	Nov	160,5	5,35	
2015	Dec	194,33	6,27	

H(i)_m: Irradiation on plane at angle (kWh/m2/mo)

PVGIS (c) European Union, 2001-2021

Fase 3. Selección del inversor y configuración del arreglo PV

Para esta tercera fase del proyecto es necesario seleccionar el tipo de inversor a utilizar con su respectiva hoja de datos, puesto que a partir de ello se determinará la tensión del arreglo y se podrá hacer un adecuado pareo entre arreglo de paneles e inversor. El siguiente aspecto dentro del procedimiento de diseño consiste en configurar el arreglo de paneles fotovoltaicos. A partir de esto se determinará el número de paneles que se conectarán en serie y cuantas ramas de paneles se dispondrán en paralelo.

Para esta fase del proyecto se decidió de antemano elegir el lugar adecuado para la instalación del inversor solar trifásico, atendiendo a las recomendaciones aportadas por los fabricantes, quienes refieren que este tipo de elemento debe ser instalado en un lugar seguro, seco y con ventilación apropiada. Previamente se elige de forma estratégica la zona de instalación del inversor o inversores ya que cabe la posibilidad que se implementen dos inversores trifásicos al sistema.

El lugar propuesto para la instalación del equipo de inversión será el laboratorio de energías renovables, con el fin de que este proyecto cumpla con su función de ser un sistema con el cual se pueda observar e interactuar por parte de la comunidad estudiantil y que haga parte de su formación profesional.

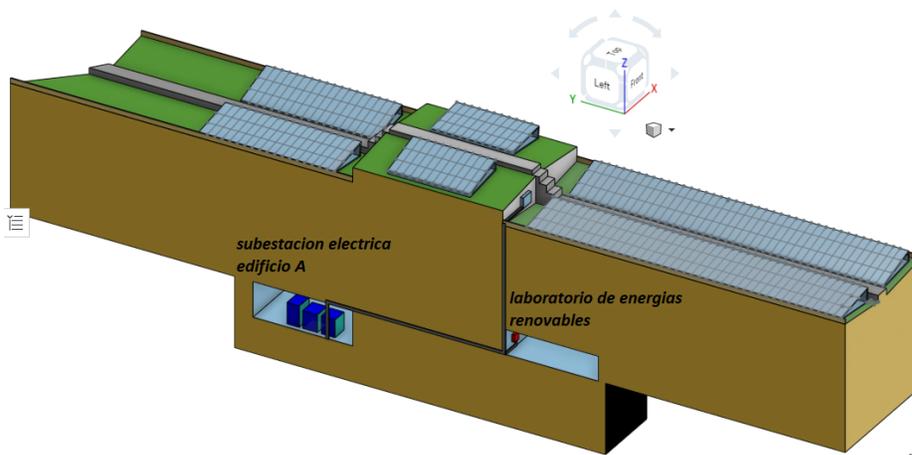


Figura 10. Ubicación del Inversor Solar. Fuente: Autor

Selección del inversor solar trifásico On-Grid.

Esta etapa es interesante, ya que salen a relucir las características principales que ofrece cada fabricante de inversores solares, logrando cada vez hacer más fácil su implementación y configuración de arreglos fotovoltaicos. Después de comparar varias opciones que ofrece el mercado nacional e internacional, y de observar las cualidades de diferentes tipos de inversores solares On-Grid de alta potencia, se elige el modelo de inversor que ofrece Huawei con su referencia SUN2000-185KTL-H1, de conexión directa a la red. Este modelo se encuentra en la gama de inversores trifásicos de tipo industrial de alta potencia, y tiene un desempeño alto en instalaciones con elevados consumos de electricidad. Su principal característica son sus 9 MPPT que incorpora este modelo y la tensión elevada de trabajo de cada uno de ellos que oscila entre 500 voltios y 1500 voltios permitiendo así trabajar a niveles de corriente más bajos.

SUN2000-185KTL-H1
 Inversor String Inteligente



Figura 11. Inversor SUN2000-185KTL-H1. Fuente: autosolar.es

El siguiente paso en el diseño de la cubierta fotovoltaica consiste en la configuración del arreglo de paneles solares, se determinará el número de ramas de paneles que se conectarán en paralelo y la cantidad de paneles que se conectarán en serie. Para la solución de estos arreglos tendremos en cuenta dos fuentes de datos, por una

parte, la ficha de datos del panel solar seleccionado y por otra parte la ficha de datos del inversor. A continuación, se observa la ficha de datos del inversor SUN2000-185KTL-H1 del fabricante Huawei.

Tabla 2.
Especificaciones Técnicas inversor Huawei SUN2000-185. Fuente: solar.huawei.com

SUN2000-185KTL-H1

Especificaciones técnicas

Eficiencia	
Eficiencia máxima	99.03%
Eficiencia europea	98.69%
Entrada	
Máx. voltaje de entrada	1,500 V
Máx. corriente por MPPT	26 A
Máx. corriente de cortocircuito por MPPT	40 A
Voltaje de entrada inicial	550 V
Rango de voltaje de operación de MPPT	500 V ~ 1,500 V
Voltaje nominal de entrada	1,080 V
Cantidad de entradas	18
Cantidad de MPPT	9
Salida	
Potencia nominal activa de AC	175,000 W @40°C, 168,000 W @45°C, 160,000 W @50°C
Máx. potencia aparente de AC	185,000 VA
Máx. potencia activa de AC (cosφ=1)	185,000 W
Voltaje nominal de salida	800 V, 3W + PE
Frecuencia nominal de red de AC	50 Hz / 60 Hz
Corriente de salida nominal	126.3 A @40°C, 121.3 A @45°C, 115.5 A @50°C
Máx. corriente de salida	134.9 A
Rango de factor de potencia ajustable	0.8 LG ... 0.8 LD
Máx. distorsión armónica total	< 3%

Con la tabla de especificaciones técnicas del inversor, se deberá identificar el valor de tensión máxima de entrada en DC y la corriente de entrada máxima del inversor, con estos dos valores se puede evaluar el arreglo a partir de dos fórmulas las cuales darán los valores cercanos para incorporar la cantidad de paneles que se conectaran en serie formando una rama, y cuantas de estas ramas será necesario conectar en paralelo.

$$N, \text{ de módulos en serie} = \frac{V_{in_max \text{ inversor}}}{1.25 \times V_{oc}}$$

En donde el termino ($V_{in \text{ max inversor}}$) corresponde al valor máximo de tensión de entrada que es permitido por los datos de placa del inversor, y el (V_{oc}) corresponde al valor de tensión de circuito abierto del panel solar seleccionado, que en este caso es el (ja solar 450W) descrito en la fase 2 del diseño, y el 1.25 se incluye en la formula con el objetivo de contemplar ese 25 % más, producto de los efectos de la temperatura sobre los paneles solares.

$$N, \text{ de modulos en serie} = \frac{1500 V}{1.25 \times 49.7 V} = 24.14$$

En este caso tenemos como resultado cercano el número de 24 módulos que podemos conectar en serie con el objetivo de trabajar lo más cercano al valor más alto del rango de voltaje de entrada del inversor.

$$N, \text{ string en paralelo} = \frac{I_{in \text{ max inversor}}}{1.25 \times I_{sc}}$$

En donde el termino ($I_{in \text{ max inversor}}$) corresponde al nivel máximo de corriente de entrada por Mppt que es permitido por los datos de placa del inversor, y el (I_{sc}) corresponde al valor de corriente de cortocircuito del panel solar seleccionado, que en este caso es el (ja solar 450W) descrito en la fase 2 del diseño, y el 1.25 se incluye en la formula con el objetivo de contemplar ese 25 % más, producto de los efectos de la temperatura sobre los paneles solares.

$$N, \text{ string en paralelo} = \frac{26 A}{1.25 \times 11.36 A} = 1.83$$

$$N, \text{ string en paralelo} = \frac{40 A}{1.25 \times 11.36 A} = 2.81$$

El número promedio entre las dos operaciones realizadas anteriormente es el número de 2 módulos que podemos conectar en paralelo con el objetivo de trabajar en el rango de corriente de entrada admitida por el inversor. En este caso, en la primera operación se usó el valor de la máxima corriente por Mppt y en la segunda operación se usó el valor de corriente de cortocircuito de Mppt.

Para el desarrollo del arreglo de los módulos fotovoltaicos se tendrá en cuenta la característica principal del inversor Huawei (*SUN2000-185*), sus 9 Mppt's a los cuales se les dará el mismo uso, incorporando la misma cantidad de módulos en

cada uno de ellos. Aunque la ventaja de cada Mppt es que puede manejar cantidades distintas de módulos ya que estos Mppt son totalmente independientes.

En este caso el arreglo fotovoltaico por cada Mppt quedara de la siguiente forma:

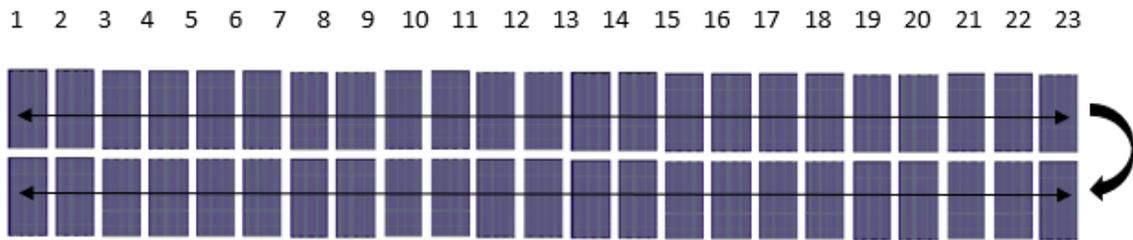


Figura 12. Arreglo de Módulos por Cada Mppt. Fuente: Autor

En la figura 13 se puede observar de manera isométrica y en vista superior la forma en que se divide la cubierta solar en 9 grupos de arreglos, cada color corresponde a una serie que se conectara en el Mppt correspondiente.

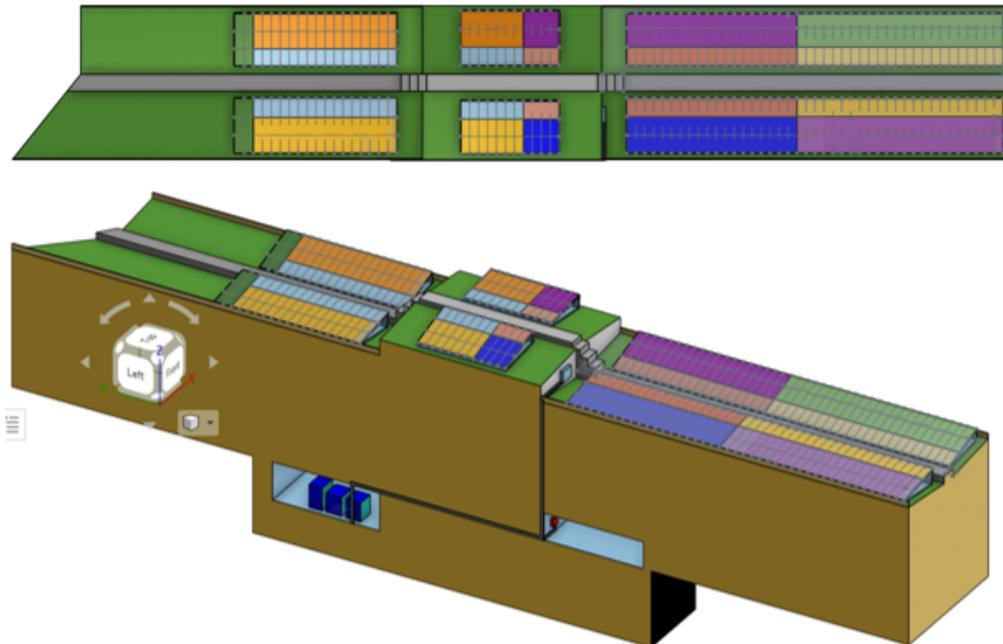


Figura 13. Diseño de Cubierta Fotovoltaica Separada en 9 Mppt. Fuente: Autor

MPPT 1 = MORADO CLARO MPPT 6 =MORADO FUERTE
MPPT 2 = AMARILLO CLARO MPPT 7 = AMARILLO FUERTE
MPPT 3 = VERDE MPPT 8 = CELESTE
MPPT 4 = AZUL MPPT 9 = NARANJA
MPPT 5 = ROJO CLARO

- **Cálculos por cada grupo de serie conectado a cada Mppt.**

23 paneles solares de 450 W conectados en serie al primer par de entradas DC del Mppt 1.

$$kWp = 23 \text{ Paneles} \times 450W$$

$$kWp = 10.35 \text{ kWp}$$

El voltaje en V_{oc} del panel solar seleccionado es de 49.7 v por lo tanto podemos decir que el voltaje de la serie de 23 módulos es:

$$V_{serie} = 23 \text{ Paneles} \times 49.7$$

$$V_{serie} = 1143 \text{ V}$$

El nivel de corriente que genera el panel solar de 450 W es de 11.36 Amperios y como la conexión de los paneles solares está en serie, el nivel de corriente no se verá afectado.

$$I_{serie} = 11.36 \text{ A}$$

- El valor total del arreglo de módulos solares en las 18 entradas correspondientes a los 9 Mppt al inversor Huawei Sun2000-185KTL-H1 son:

Tabla 3.

Valores Totales de Entrada al Inversor Solar. Fuente: Autor

POTENCIA	186.3	kWp
VOLTAJE	1143	V
CORRIENTE	204.48	A

Haciendo uso del software LiveWire, se realiza el esquema grafico de la conexión de cada serie de módulos a los conectores del inversor solar Huawei SUN2000-185 KTL-H1, especificando los valores de entrada en DC y los valores de salida propios del inversor solar.

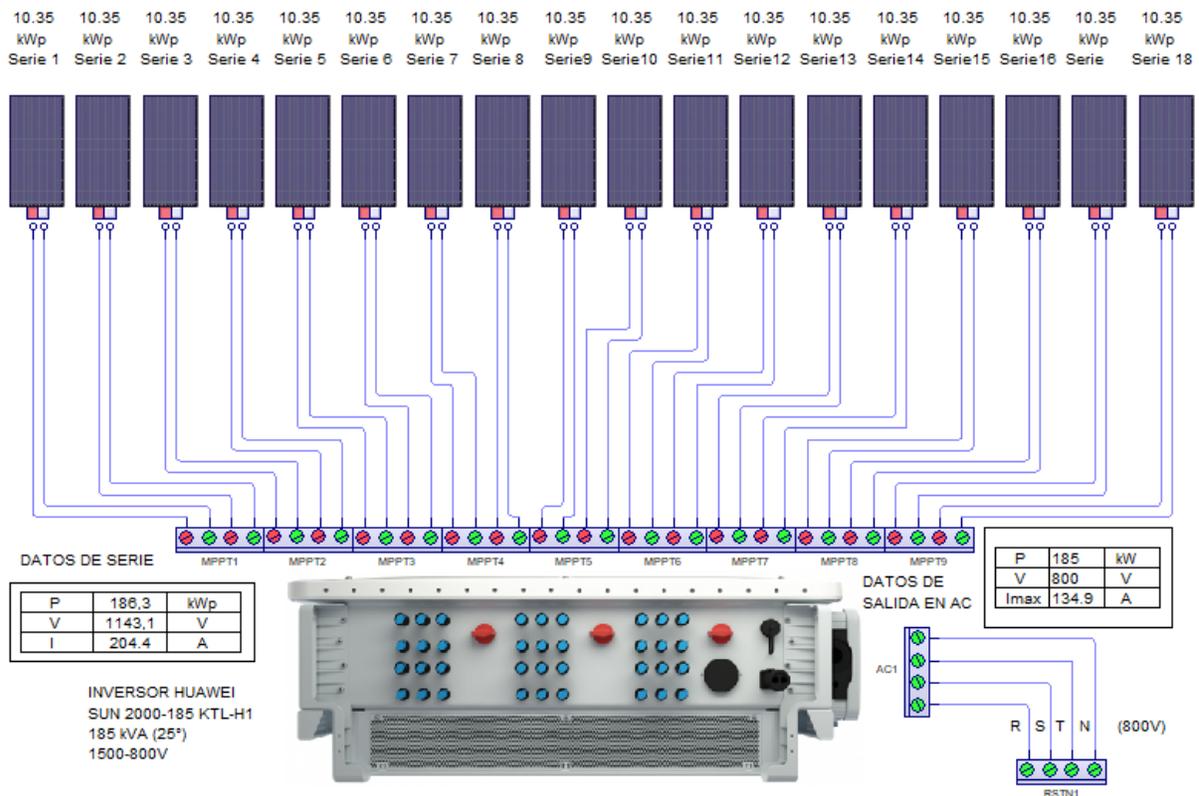


Figura 14. Diagrama de Conexión por Mppt. Fuente: Autor

Fase 4. Especificación de protecciones y conductores.

En esta cuarta fase se inicia la etapa del dimensionamiento de conductores y protecciones eléctricas que se emplearan tanto en la parte de corriente continua como en la parte de corriente alterna, esto con ayuda de los cálculos realizados en la fase 3 del diseño en donde especifican los valores de corrientes y voltajes del sistema solar fotovoltaico. El tipo de conductor eléctrico que se elige en esta cuarta fase del diseño debe contar con las certificaciones requeridas tales como la norma EN 50618 y la norma UL4703. Se tiene en cuenta el mercado nacional e

internacional para la comparación entre proveedores del tipo de cable para la instalación del sistema solar. Entre las dos opciones que se contemplan se encuentra el fabricante Centelsa con su cable (Centelsa fotovoltaico tipo PV, EPR+CPE 600V Y 2000V) y el fabricante Nexans con su Cable fotovoltaico (Energyflex-PV WIRE). Para esta selección del conductor ideal para el diseño, se divide en dos tipos de conductores, la primera selección será la que se incorpora entre los paneles solares y el inversor Huawei, y la segunda sección abarca desde el inversor Huawei hasta el barraje de baja tensión de la universidad.

- **Primera sección (cableado DC)**

En esta primera sección es importante resaltar el tipo de entradas de fabrica con las que cuenta el inversor solar Huawei SUN2000-185KTL-H1, los cuales son de tipo MC4 para una sencilla conexión entre las series de paneles y los Mppt del inversor. En este caso se tiene que revisar de forma detallada las características de este tipo de conector y los calibres que son admisibles para su correcta implementación.

- Sección de cable recomendado: \varnothing 4 o 6 mm²
- Tensión de ensayo: 6 kV
- Grado de protección, enchufado: IP67
- Corriente Nominal Máxima: 30 A
- Clase contra incendios: UL94-V0
- Temperatura límite superior: 105° C

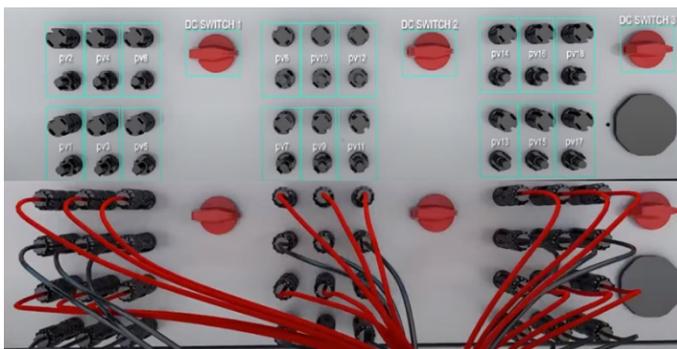


Figura 15. Conectores MC4 en los 9 Mppt. Fuente: Autor: huaweifusionsolar.com

Con las características del conector MC4 ya definidas, se decide implementar el calibre de cable mayor que permite este tipo de conector, el cual corresponde a 6 mm² de sección o el calibre numero 10 AWG. El Cable fotovoltaico Energyflex-PV WIRE -10AWG PV WIRE del fabricante Nexans, cumple con estas características para la correcta implementación del conector MC4, y por otra parte el calibre numero 10 AWG cumple con los niveles de tensión y de corriente correspondiente a cada serie de paneles, que en este caso debe soportar un nivel de tensión superior a 1143 voltios y 11.36 amperios. El cable fotovoltaico Energyflex-PV WIRE -10AWG PV WIRE tiene un voltaje de operación de 2kV y una capa de aislamiento tipo XLPE libre de halógenos, cumple con la norma UL 4703 y está certificado por el RETIE y la NORMA N° 06875.

Tabla 4.
Características del Energyflex-PV WIRE -10AWG PV WIRE. Fuente: nexans.com

Características de construcción	
Material del conductor	Cobre flexible
Características dimensionales	
Peso aproximado	90 kg/km
Sección del conductor	5,26 mm ²
Diámetro del conductor	2,89 mm
Espesor medio del aislamiento	1,9 mm
Calibre (AWG)	10
Diámetro exterior	6,89 mm
Características eléctricas	
Intensidad de corriente admisible	55,0 A
Max. Resistencia DC del Conductor a 20 ° C	3,41 Ohm/km
Características mecánicas	
Resistencia a la abrasión	-
Características de uso	
Baja emisión de humos	Baja Emisión
No propagador del incendio	Sí
Resistencia a radiaciones ultravioletas	Sí

- **Segunda sección (Cableado AC)**

Para esta segunda sección que corresponde al cableado AC, se definirá el tipo de conductor óptimo que se implementará a la salida del inversor solar Huawei SUN2000-185KTL-H1, tomando como punto de partida los valores nominales del inversor nombrados en la tercera fase del proyecto, también resaltando las características tales como longitud aproximada entre la salida del inversor y el lugar en donde se instalará el transformador de tensión.

El tipo de canalización a usar también tiene importancia a la hora de elegir el tipo de conductor, ya que estos conductores dependiendo si son subterráneos o van por bandeja porta-cable tienen protecciones mecánicas adicionales y por consecuente costos extras en la fabricación del conductor.

Tabla 5.
Características Salidas SUN2000-185KTL-H1. Fuente: solar.huawei.com

	Output
Nominal AC Active Power	175,000 W @40°C, 168,000 W @45°C, 160,000W @50°C
Max. AC Apparent Power	185,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	185,000 W
Nominal Output Voltage	800 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Nominal Output Current	126.3 A @40°C, 121.3 A @45°C, 115.5 A @50°C
Max. Output Current	134.9 A
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%

Observando la tabla de requerimientos por parte del fabricante Huawei en la sección de especificaciones para el cable de alimentación AC, se encuentra que la opción adecuada para esta instalación, la ofrece el fabricante Nexans con su producto (Mono conductor Extraflex PVC 105°C 0,6/1kV 1/0 AWG), esta referencia de cable da la opción de implementarlo en el sistema a una tensión de 800 voltios, ya que su rango de operación se encuentra entre 0.6/1kV, también presenta características

como su capa de aislamiento en Policloruro de vinilo PVC, retardante a la llama, resistente al calor, la abrasión, la humedad y rayos UV.

La referencia Extraflex PVC 105°C 0,6/1kV se fabrica con los estándares de la norma UL 758 y se encuentra certificado por el RETIE y la norma N° 02752, apto para instalación en bandeja.

Tabla 6.

Características Extraflex PVC 105°C 0,6/1kV 1/0 AWG. Fuente: nexans.com

Características dimensionales	
Diámetro del conductor	9,99 mm
Sección del conductor	53,51 mm ²
Diámetro exterior	14,25 mm
Peso aproximado	605 kg/km
Espesor medio del aislamiento	2,03 mm
Características eléctricas	
Intensidad admisible al aire libre	260 A
Intensidad de corriente admisible	170,0 A
Max. Resistencia DC del Conductor a 20 ° C	0,345 Ohm/km

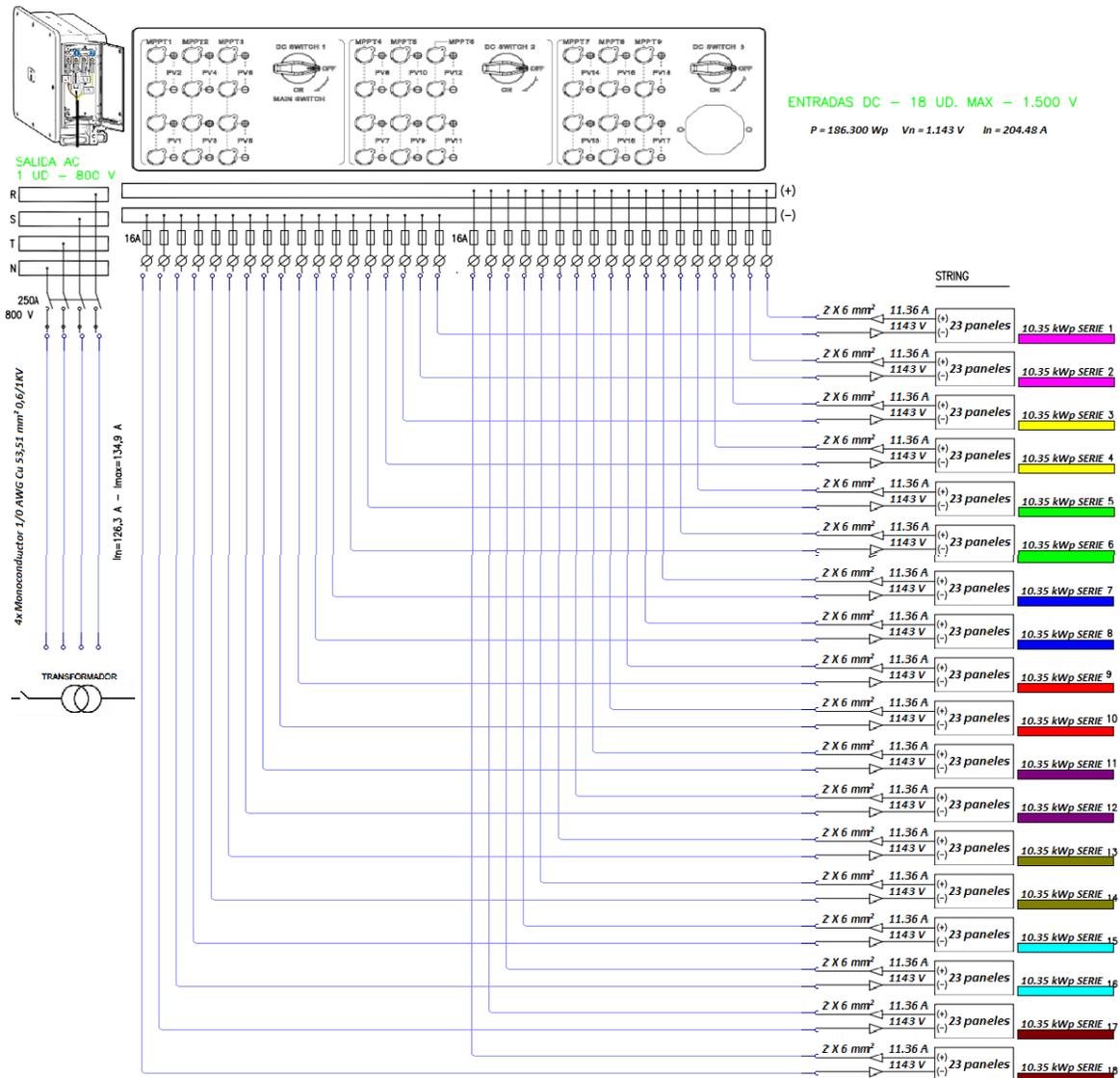


Figura 16. Diagrama Calibres de Conductores. Fuente: Autor

En la figura 16 se especificó el calibre y tipo de conductor a usar, ahora se va a mencionar el tipo y rango de amperaje para las protecciones que se van a implementar en el diseño de corriente continua y de corriente alterna.

- **Protecciones en DC.**

El inversor Huawei SUN2000-185 KTL-H1 incorpora numerosas protecciones tanto de corriente continua como de corriente alterna, logrando hacer más sencilla su instalación al momento de pensar en instalar protecciones adicionales al sistema. Entre las protecciones que incorpora en corriente continua encontramos, protección anti-isla, protección contra polaridad inversa de corriente continua y pararrayos en corriente continua por cada Mppt.

Cuando las características del diseño optan por usar un solo inversor solar al cual le llegan cada una de las cadenas de paneles solares (strings), estos deben estar protegidos contra las corrientes inversas. Este fenómeno asociado a la sección de corriente continua se genera después de presentarse desequilibrios o fallos temporales causados por, sombras parciales o suciedad presente en los módulos fotovoltaicos. Estos valores de corriente inversa pueden llegar a ser altos, sobre todo cuando en el sistema se incorpora una gran cantidad de strings, ocasionando que los módulos no puedan soportar este tipo de corriente, por lo cual es necesario añadir al sistema dispositivos de protección.

Para proteger cada uno de los strings conectados al inversor Huawei SUN2000-185 KTL-H1 se decide incluir al sistema una caja de protecciones que se conformará por 18 fusibles y 18 portafusibles que se encuentren en el rango de operación de 1000/1500 voltios DC.

Los fusibles son la protección de cadenas (strings) más usada por los diseñadores, porque cumplen la función de desconectar el circuito en caso de fallo. Aunque son de fácil uso, se deben dimensionar de forma correcta para poder elegir el rango de protección adecuado para cada string, para esto se deben cumplir unos requisitos fundamentales:

– deben poseer una característica de disparo adecuada para proteger circuitos fotovoltaicos.

– deben dimensionarse para valores de intensidad mínimos de 1,25 IS y como máximo el valor indicado por el fabricante para la protección del módulo.

$$\text{valor de intensidad minimo} = 11.36 A \times 1.25$$

$$\text{valor de intensidad minimo} = 14.2 A$$

$$\text{valor de intensidad maximo por mppt (fabricante)} = 26 A$$

El fusible elegido para la protección de cada string del sistema es el fusible fotovoltaico de 14 x 51 mm, de 15 a 20 A, 1000/1100 V CC, serie PV-A14F del fabricante Bussmann. Diseñados para el aislamiento y la protección de cadenas fotovoltaicas. Estos fusibles pueden interrumpir las sobre corrientes bajas asociadas con sistemas fotovoltaicos en fallo (corriente inversa). Este fusible tiene un rango de operación adecuado para ser incorporado al sistema ya que tanto el nivel de voltaje y de corriente se acomodan perfectamente a las características de cada string. Este fusible se introduce en el porta fusibles CHPV141IU Con indicador y con protección para los dedos.

Portafusibles recomendados

- Portafusibles con protección para los dedos:
 - Con indicador: CHPV141IU



Datos técnicos

Tensión	1100 V CC IEC/UL (15 y 20 A) 1000 V CC IEC/UL (25 y 32 A)
Corriente	15-32 A
Capacidad de corte nominal	10 kA
Régimen de interrupción mín.	1,5 x I _n para 15-20 A, 1,75 x I _n para 25 - 32 A
Coordinación de fusible fotovoltaico con	Celdas de película fina y celdas de silicón cristalina de 4", 5" y 6"
Constante de tiempo	1-3 ms

Figura 17. Características Fusible Bussmann. Fuente: Bussmann

Esta solución no evita completamente la circulación de corrientes inversas en los módulos, por tal motivo se hacen relevantes las protecciones internas que ofrece el inversor Huawei, haciendo opcional el implementar más protecciones físicas al sistema de generación solar en la sección de corriente continua.

- Protecciones internas del inversor solar:
 - Protección contra polaridad inversa de CC.
 - Monitoreo de falla de cadena de matriz PV.
 - Pararrayos de CC.
 - Detección de resistencia de aislamiento de CC.

Todas estas protecciones propias del equipo inversor están parametrizadas con los valores nominales de cada Mppt, y algunas de ellas se pueden ajustar y hacer seguimiento por medio de la interfaz o por conexión wifi.

- **Protecciones en AC.**

En la sección de corriente alterna, el inversor Huawei incorpora protecciones de valores estándar para sus características de potencia de salida, como protecciones contra sobre corriente de CA, ya que sus parámetros de nivel de corriente de salida ya están definidos en un máximo de 134.9 amperios. Además, cuenta con pararrayos de AC, unidad de monitoreo de corriente residual y protección anti-isla.

Tabla 7.
Protecciones Internas del Inversor Huawei Fuente: solar.huawei.com

	Protección
Dispositivo de desconexión del lado de entrada	Sí
Protección anti-isla	Sí
Protección contra sobrecorriente de AC	Sí
Protección contra polaridad inversa de DC	Sí
Monitoreo de fallas en strings de sistemas fotovoltaicos	Sí
Protección contra sobrecorriente de DC	Tipo II
Protección contra sobrecorriente de AC	Tipo II
Detección de resistencia de aislamiento DC	Sí
Unidad de Monitoreo de la Corriente Residual	Sí

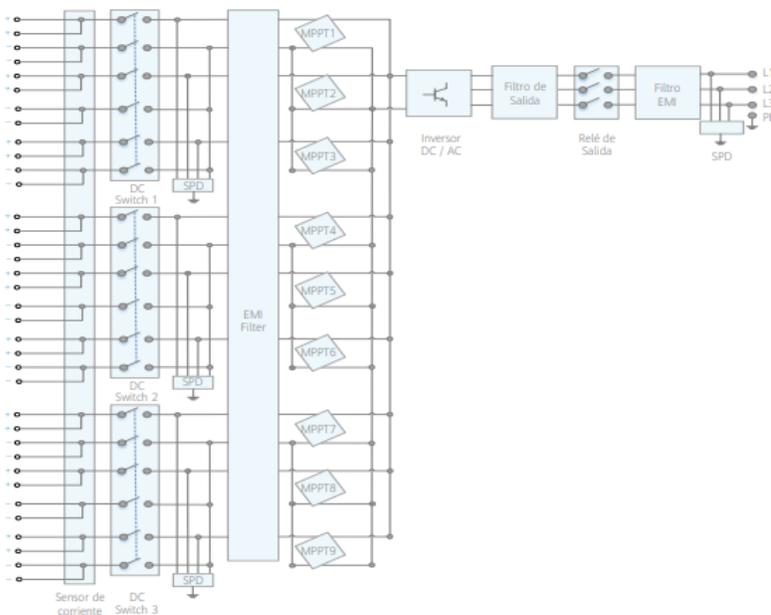


Figura 18. Diagrama de Protecciones Internas AC/DC Inversor Huawei. Fuente: solar.huawei.com

Es necesario implementar un sistema de corte visible en la salida del inversor Huawei, un interruptor seccionador es la solución adecuada para labores de mantenimiento, en este diseño se propone el uso intermedio entre la salida del inversor Huawei y el transformador de tensión, el interruptor IM de operación lateral de (CEFEM Industries). Este mecanismo de protección y maniobra en baja tensión ayuda a reducir al mínimo el riesgo de errores, ya que el operador puede ver sus contactos eléctricos fácilmente cuando se conectan o se desconectan.

Es de fácil uso, incluso una persona con poca experiencia en electricidad puede interactuar y operar el interruptor.

Su nivel de tensión de operación es de hasta 1000 VAC, lo cual permite incorporarlo a la salida AC del inversor, que maneja una tensión de 800 voltios, y su nivel de corriente lo podemos elegir, en esta situación implementaríamos su protección en un rango de los 130 A – 135 A, que corresponde al nivel de corriente máxima del inversor Huawei.



Figura 19. Interruptor Seccionador Cefem para Baja Tensión. Fuente: Cefemgroup

Dando seguimiento a la sección de equipos de corriente alterna del sistema solar fotovoltaico, se evidencia la necesidad de incluir al diseño un equipo de transformación de tensión, dado que la salida del inversor Huawei usado en el diseño, entrega 800 voltios AC de salida, y el barraje en baja tensión de la subestación eléctrica del edificio C se encuentra en el rango de 220 voltios, en un sistema trifásico/tetrafilar. Para dar solución a la conexión entre el inversor solar y la subestación del edificio C de las Unidades Tecnológicas De Santander se propone lo siguiente: Incluir en el sistema solar, en la sección de AC, un transformador para aplicaciones solares.

En el mercado nacional enfocado en la parte de transformadores, encontramos el fabricante Rymel, que ofrece su línea de transformadores eléctricos para aplicaciones solares. Estos transformadores con usos enfocados en la transformación de tensión proveniente de inversores solares son fabricados en dos tipos, baja - baja tensión o para baja - media tensión. Estos transformadores tienen características especiales en sus devanados, los cuales se encuentran encapsulados en resina epóxica en un proceso bajo vacío, utilizan materiales resistentes al fuego y auto extingüibles, lo cual los hace libres de mantenimiento y muy seguros, al no utilizar aceite dieléctrico facilita su ubicación en interiores.

- **Características propias del transformador para implementarlo al diseño de autogeneración solar.**

Características de salida del inversor solar

- Potencia nominal: 185,000 VA
- Voltaje devanado primario: 800 V-AC
- Corriente devanado primario: 134.9 A

Características a una temperatura de 25°.

Devanado primario:

- Potencia nominal del transformador baja-baja: 185 kW

$$I_{\text{primario}} = \frac{185000 \text{ VA}}{\sqrt{3}} = 106809.79 \text{ VA}$$

$$I_{\text{primario}} = \frac{106809.79 \text{ VA}}{800 \text{ V}} = 133.5 \text{ A}$$

- Voltaje devanado primario: 800 V-AC
- Corriente devanado primario: 133.5 A

Devanado secundario:

- Potencia nominal del transformador baja-baja: 175 kW

$$I_{\text{primario}} = \frac{185000 \text{ VA}}{\sqrt{3}} = 106809.79 \text{ VA}$$

$$I_{\text{primario}} = \frac{106809.79 \text{ VA}}{220 \text{ V}} = 485.49 \text{ A}$$

- Voltaje devanado primario: 220 V-AC
- Corriente devanado primario: 485.49 A

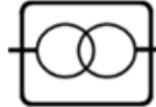
En conclusión, se elige el transformador tipo baja-baja ya que la intensidad es alimentar por el barraje de baja tensión de la subestación eléctrica del edificio "C" y no por el barraje de media tensión, concluyendo con estos valores como punto de partida para la fabricación del transformador, que, según el fabricante, el tiempo estimado para la fabricación de este tipo de transformadores en Rymel es de 30 a 40 días bajo pedido.



TRANSFORMADOR PARA APLICACIONES SOLARES

BAJA - BAJA
POTENCIA: 185 kVA

DEVANADO PRIMARIO:
-VOLTAJE: 800 V
-CORRIENTE: 133.5 A
TRIFASICO
TETRAFILAR



DEVANADO SECUNDARIO
-VOLTAJE: 220 V
-CORRIENTE: 485.5 A
TRIFASICO
TETRAFILAR

Figura 20. Características Transformador Baja – Baja. Fuente: Autor

A la salida del transformador, se instalará un dispositivo de protección y corte de energía, que se ajuste a las características de voltaje y corriente nominal del devanado secundario del transformador baja-baja. En esta parte se tendrá en cuenta al fabricante Siemens, que se encuentra presente en el mercado nacional y ofrece soluciones para proteger y hacer corte visible en baja tensión. Estos equipos son conocidos como Interruptores-seccionadores con fusibles 3KF, y vienen disponibles para tensiones de operación en baja tensión, y rangos de corrientes desde los 32 A hasta los 800 A.

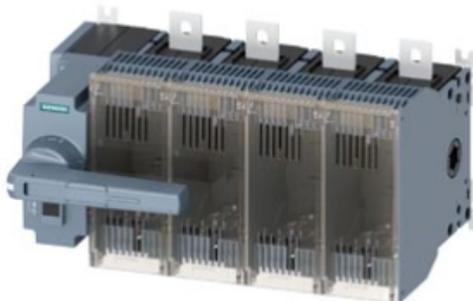


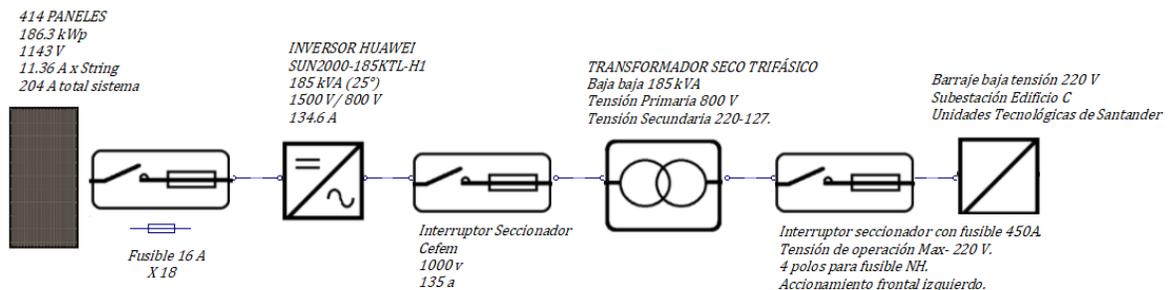
Figura 21. Interruptores-Seccionadores con Fusibles 3KF. Fuente: siemens.com

Características del Interruptor-seccionador con fusibles 3KF-3KF4440:

- Interruptor seccionador con fusible 450A.
- Tensión de operación Max- 690 V.
- 4 polos para fusible NH.
- Accionamiento frontal izquierdo.
- Unidad completa con accionamiento directo.

- Tipo de conductor eléctrico para la salida del transformador baja-baja

El tipo de cable elegido para la conexión correspondiente entre el transformador baja-baja y el barraje de la subestación del edificio “C” pasando por el interruptor-seccionador con fusible, es el Cable THHN/THWN-2 600kcmil, el cual posee una capacidad de 470 amperios y un voltaje de operación máximo de 600 voltios AC.



**Figura 22. Diagrama Unifilar AC. Fuente: Autor.
Fase 5.**

Tipo de estructura seleccionada para soportar los módulos fotovoltaicos.

En el diseño de la cubierta fotovoltaica del edificio “C” presenta un reto, el cual consiste en darle la inclinación adecuada a los módulos solares fotovoltaicos en el techo tipo mariposa con cubierta metálica. Este tipo de cubierta tiene una característica de inclinación negativa hacia el centro que no permite el uso de estructuras convencionales para fijar paneles solares en tejados metálicos.

Para lograr una instalación solar de gran calidad, eficiente y que se mantenga a lo largo de los años, se requiere de un buen diseño y de incluir accesorios de buena calidad.

En esta sección se explicará de forma gráfica el cómo debe ser la estructura a implementar en el diseño, el montaje y su fijación. El tipo de soporte que será utilizado en la cubierta ayudará al máximo aprovechamiento de la radiación solar de la zona comprometida, ya que se le dará solución a la inclinación negativa del techo. El material con el que se realizará la estructura debe soportar cambios de temperatura y fuertes rachas de viento, por lo tanto se usarán materiales de acero galvanizado, tornillos y piezas en acero inoxidable, que soporten condiciones climatológicas extremas.

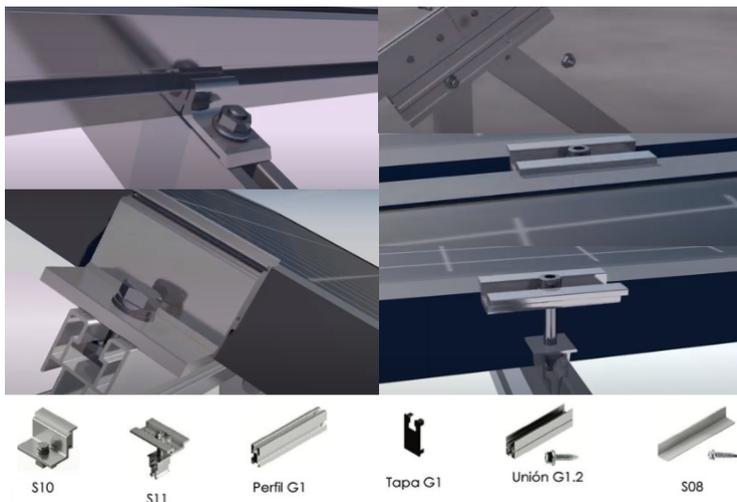


Figura 23. Accesorios en Acero Inoxidable Estructuras. Fuente: Autosolar

El primer parámetro para elegir el tipo de estructura a usar, es identificar el material de la superficie, que en este caso para el diseño aplican las características de cubierta metálica. El segundo aspecto es la orientación y la inclinación, que ya se definieron en la primera fase del proyecto.



Figura 24. Diseño de Estructura Elegido. Fuente: Autosolar

El diseño de estructura mostrado en la figura 24, es la adecuada para poder darle la inclinación adecuada a los módulos fotovoltaicos sobre la cubierta metálica, así como se planteó al inicio del diseño en la fase 1.

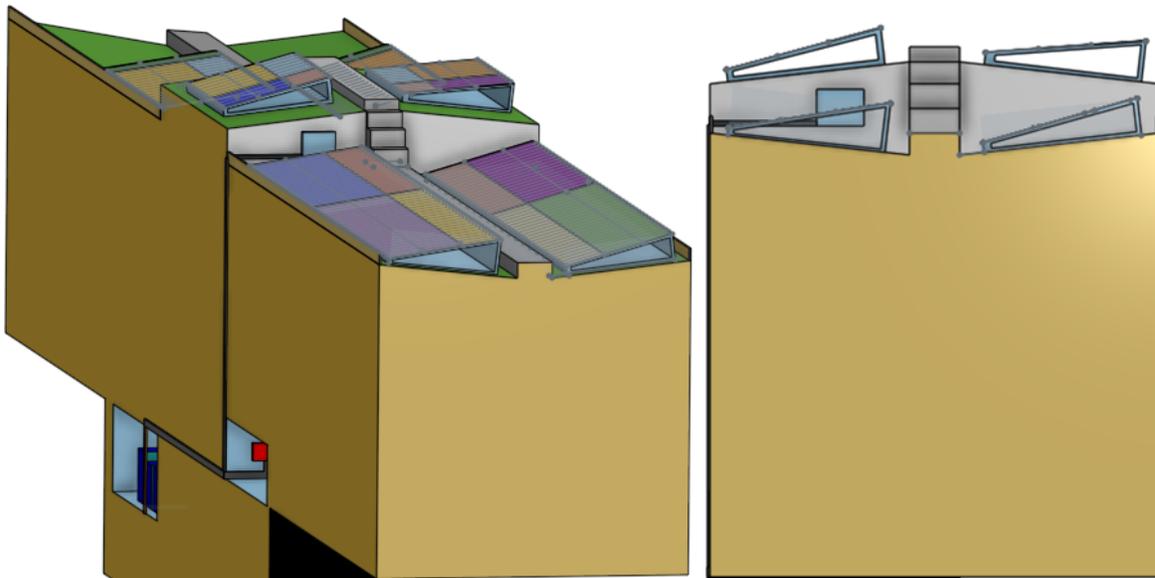


Figura 25. Vista Frontal del Soporte Sobre Cubierta. Fuente: Autor

La estructura para cubierta metálica, diseñada para poder instalar las placas solares sobre una cubierta metálica con cierta inclinación, contempla las medidas estándar del panel solar de 450 W, y se designan las medidas proporcionales para su correcta instalación. La Perfilería se usará de aluminio EN AW 6005A T6, y la Tornillería de acero inoxidable A2-70

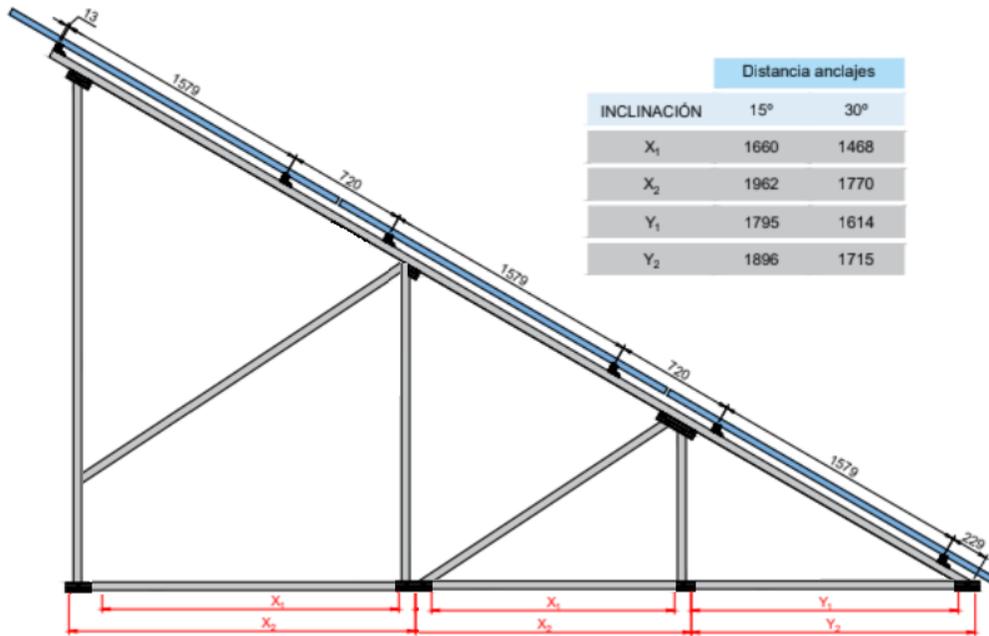


Figura 26. Medidas Estructura Vista Lateral. Fuente: Autor

- **Instrucción para la fijación sobre la cubierta metálica.**

La fijación mecánica a la cubierta metálica se debe hacer con mucha precaución, ya que, dependiendo de la buena instalación técnica, dependerá que no se presenten problemas futuros de filtraciones de agua.

Para la instalación de la perfilería en aluminio a la cubierta metálica, se tendrán en cuenta 5 pasos:

1. Ordenar todos los perfiles y ensamblarlos con las uniones guía.
2. Realizar la perforación en la cubierta metálica, es importante que se realice esta perforación con la broca adecuada para el grosor del tornillo que se va a utilizar, de esto dependerá el buen funcionamiento del anclaje.
3. Se recorta un poco de tela asfáltica y se pega sobre la perforación, adicional a esto se aplica un adhesivo sellador para evitar las filtraciones en la cubierta.
4. Se introduce el tornillo fijador y se ancla la base con firmeza.
5. Se instala la perfilería a la base-soporte de la estructura.



Figura 27. Pasos Para la Instalación de la Estructura – Soporte en Cubierta. Fuente: Autosolar

- **Plan de mantenimiento Sistema solar.**

El proposito de presentar un plan de mantenimiento, es garantizar que el sistema de generación solar siempre este funcionando correctamente, es decir, evitar tiempos de inactividad, disminuir las fallas, aumentar la vida util del sistema de generacion solar instalado. El mantenimiento regular es una labor indispensable para el sistema, por que garantiza la funcionalidad sin tener que llegar a fallas o problemas que sean costosos o daños irreversibles para los equipos.

Un plan de mantenimiento ideal se debe ajustar a las características propias y condiciones ambientales del lugar en donde se encuentra ubicado el sistema de generacion solar.

El primer punto a resaltar en esta seccion de mantenimiento, es poder generar un espacio seguro sobre la cubierta, la cual facilite el acceso de personal para hacer labores propias de mantenimiento y limpieza de modulos. Por esta razon se propone que en la zona media de la cubierta, se instale un sendero tipo plataforma industrial, con la que se garantice el transito seguro de personal por la cubierta, impidiendo que el operador de mantenimiento sufra una lesion por caida, o el personal que transite por la cubierta pise accidentalmente un modulo solar y afecte directamente el sistema.

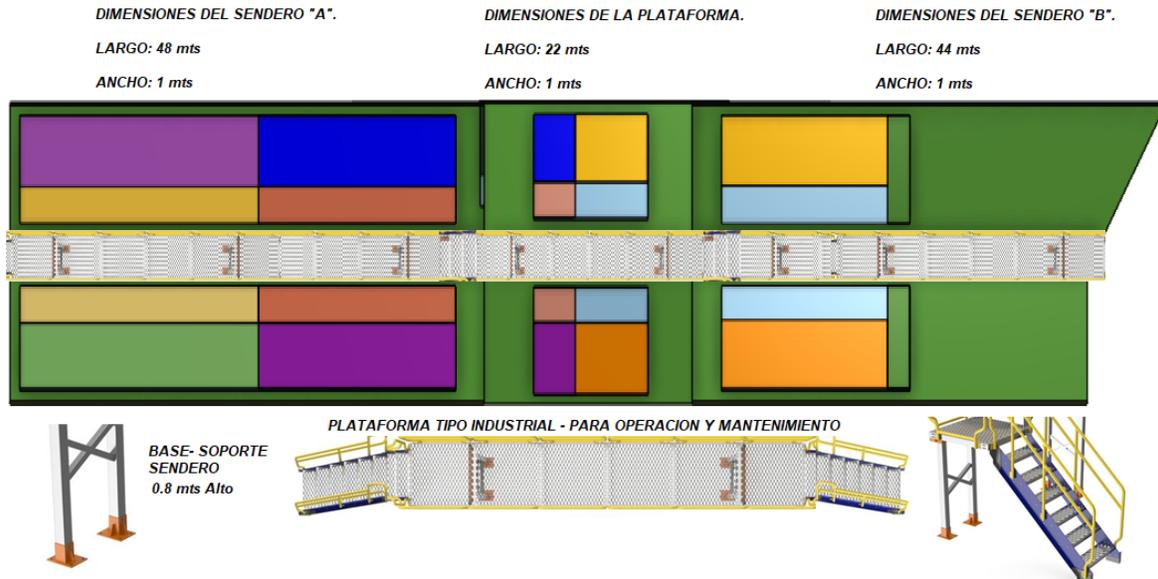


Figura 28. Descripción Plataforma en Cubierta. Fuente: Autor

Mantenimiento de los paneles solares (ja solar 450W).

Todos los paneles solares del fabricante (JA SOLAR) incluyendo (ja solar 450W) monocristalinos poseen 25 años de garantía de potencia, lo que indica que tienen una probabilidad muy baja de sufrir daños a corto tiempo, pero después de su instalación se pueden presentar pérdidas o disminución en la potencia generada por acumulación de suciedad. Esto resalta la importancia de llevar a cabo un servicio de limpieza cada cierto tiempo, con el fin de que permanezcan limpios, esto se puede hacer unas 3 o 4 veces al año.

En esta limpieza programada, se debe evitar el uso de detergentes abrasivos o artículos de aseo común que puedan afectar directamente el panel solar, también es importante excluir el uso de hidro lavadoras o mangueras de agua a presión. El procedimiento más sencillo de lavado de paneles es mojar con abundante agua hasta que se ablande la suciedad y luego usar un paño de microfibra o una esponja y retirar los residuos.

Tabla 10.

Descripción, Precio Por Actividades (Fases de Instalación).

PRECIO POR ACTIVIDADES				
descripcion	tecnicos	auxiliares	dias	
Instalacion del sendero industrial	3	3	7,00	\$ 3.254.862,66
instalacion bandeja portacable	3	3	2,00	\$ 929.960,76
instalacion estructura base	3	3	10,00	\$ 4.649.803,80
instalacion de paneles solares	3	3	3,00	\$ 1.394.941,14
cableado y conexionado de paneles	3	3	3,00	\$ 1.394.941,14
instalacion de inversor y protecciones	3	3	3,00	\$ 1.394.941,14
cableado de potencia y transformador	3	3	4,00	\$ 1.859.921,52
adicionales	1	2	6,00	\$ 1.191.926,52
Total de 2	\$ 111.332,50	\$ 43.660,96		\$ 16.071.298,68

Tabla 11.

Valor Total del Proyecto.

Presupuesto "Cubierta solar" Edificio C			
VALOR TOTAL DEL PROYECTO	VALOR TOTAL MATERIALES	\$	744.255.528,00
	VALOR TOTAL MANO DE OBRA	\$	16.071.298,60
	VALOR TOTAL (TRANSPORTE DE MATERIAL)	\$	20.000.000,00
	VALOR TOTAL PAPELERIA	\$	3.000.000,00
		\$	783.326.826,60

Fase 7. Datos de generación del sistema de energía solar.

El sistema de generación instalado en la cubierta de edificio “C” de las unidades tecnológicas de Santander se rige bajo las condiciones de un sistema de autogeneración a pequeña escala, con un valor superior a 0.1 MW de potencia generada.

$$P_{max} = 185 \text{ kW}$$

Esta corresponde a la Potencia resultante de la instalación de 414 paneles solares, cada uno de 450 watts. Si este resultado lo multiplicamos por las 4,6 horas solares pico de Bucaramanga y su área metropolitana se obtendría como resultado los kilovatios generados en un día:

$$kWdia = 185 kW \times 4.6 HSP$$

$$kWdia = 851 kW$$

Con este dato resultante, podemos encontrar los Megavatios de potencia máxima generados en un mes y en un año:

$$Generacion\ de\ energia\ al\ mes = 25.53\ MW$$

$$Generacion\ de\ energia\ al\ año = 310.615\ MW$$

A continuación, se puede observar la gráfica correspondiente a la generación de potencia en kilovatios de la cubierta del edificio “C” de las Unidades Tecnológicas de Santander, equivalente a una hora, día, mes y año.

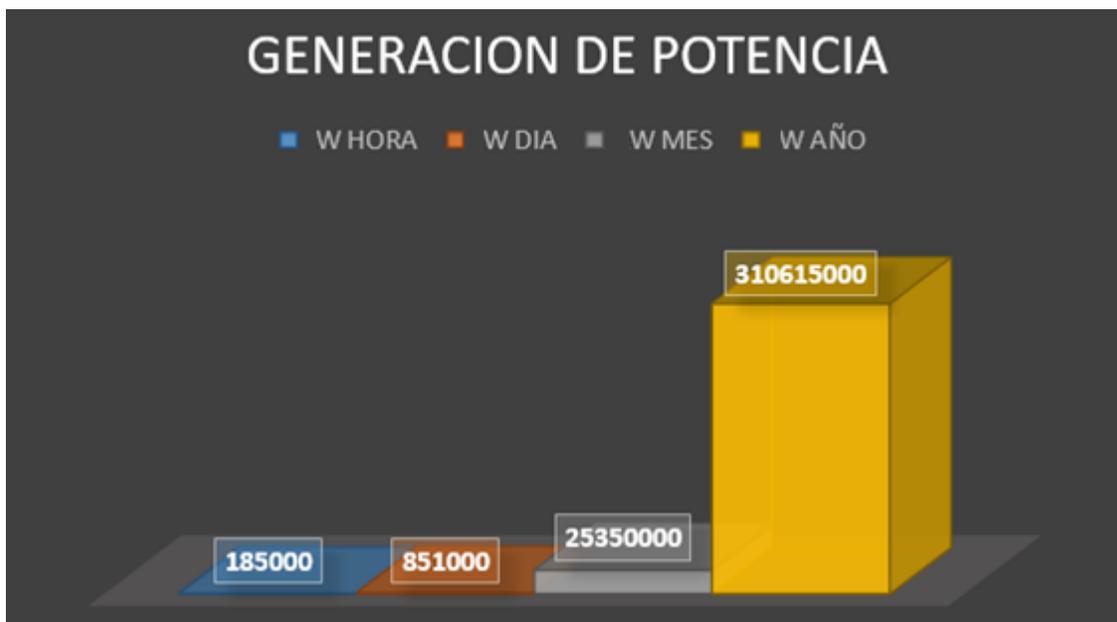


Figura 29. Descripción, Generación de Energía de la Cubierta. Fuente: Autor.

En la figura 29 se pueden observar los valores correspondientes a los kilovatios de potencia generados por la cubierta solar fotovoltaica en una hora solar pico, la cual equivale a 185 kW, también se puede apreciar el valor en kilovatios de un día de generación, tomando como referencia 4,6 horas solares pico, la cual equivale a un promedio de 851 kW. Adicional a esto se puede observar el valor de 25,35 MW al mes y 310.615 MW al año.

Con este resultado se puede decir que la institución implementando la cubierta solar en el edificio "C" tendría 815 kW al día para ser consumidos en tiempo real por los estudiantes en sus labores diarias, y por los equipos que normalmente están encendidos durante el día.

Luego de la anterior afirmación, podemos decir que, durante la semana, las instalaciones de las unidades tecnológicas de Santander, laboran de lunes a sábado y se descansa el día domingo, lo cual se resumen a seis días en donde se obtendrá el mayor provecho del sistema, y un solo día en que no se aprovechará la generación de energía, que corresponde al día domingo.

En la siguiente grafica se puede observar la energía que se produce y se aprovecha por la institución en sus labores diarias durante los seis primeros días de la semana, en comparación con la energía generada el día domingo, en el cual no se labora dentro de las instalaciones y por lo consiguiente no se tiene el aprovechamiento de energía generada por la cubierta solar del edificio "C".



Figura 30. Energía - Excedente en Vatios en una Semana. Fuente: Autor.

Ahora, partiendo de lo anterior, podemos decir que dentro de una semana se pierde la producción de energía correspondiente a un día, que equivale a 851 kW, si escalamos este valor, y observamos a fondo los días en que no se desarrollan actividades educativas dentro de la institución durante un año, se concluiría con 250 días de labores académicas, en comparación con 115 días de receso académico o días de vacaciones. En los cuales no se aprovechará la potencia generada por la cubierta solar.

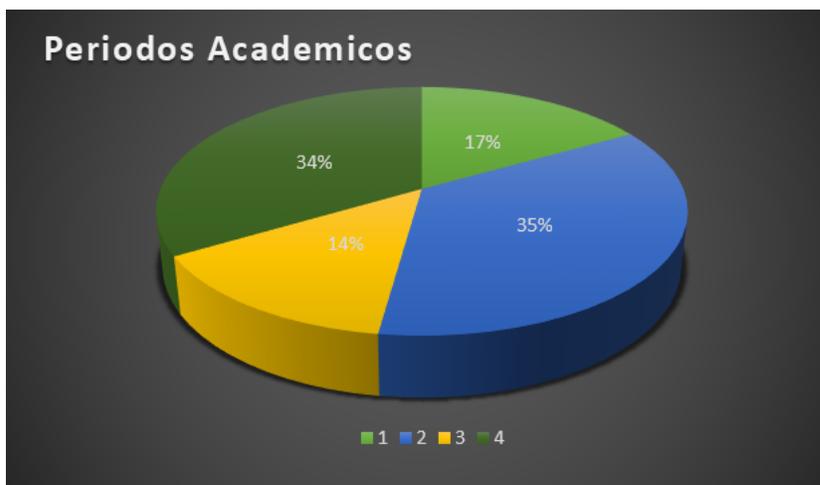


Figura 31. Periodos Académicos en un Año. Fuente: Autor.

1. 17 %: 10 de diciembre – 8 de febrero. Receso actividades académicas
2. 35%: 8 de febrero – 17 de junio. Primer periodo académico
3. 14%: 18 junio – 9 de agosto. Receso actividades académicas
4. 34%: 10 agosto – 9 de diciembre. Segundo periodo académico

En la figura 32 se relacionan los kilovatios generados entre los periodos académicos en donde se tendrá un aprovechamiento al máximo de la energía generada por el sistema solar fotovoltaico de la cubierta, y la potencia generada en los periodos de receso en los cuales no se obtendrá ningún provecho de la energía generada.



Figura 32. Kilovatios durante los Periodos en un año. Fuente: Autor.

- 4. Segundo periodo académico: 104.673 MW**
- 3. Receso actividades académicas: 44.252 MW**
- 2. Primer periodo académico: 109.779 MW**
- 1. Receso actividades académicas: 51.911 MW**

En la siguiente grafica se puede observar, en resumen, el total de energía que la universidad aprovechará del sistema solar fotovoltaico y la energía que no se aprovechará y quedará como excedente en la red local.



Figura 33. Potencia en W total en un año. Fuente: Autor.

- **Amortización de la inversión total del proyecto.**

Amortización de la inversión sin excedentes.

Suponiendo que el precio pagado por las Unidades Tecnológicas de Santander al prestador del servicio de energía es aproximadamente \$ 560 por kWh, se diría que el proyecto solar amortizaría la inversión total del proyecto, sin vender los excedentes a la red, en un plazo máximo de 7 años en funcionamiento.

$$212750 \text{ kWh} * \$ 560 = \$119'140,000$$

$$\$119'140,000 \times 6.6 \text{ años} = \$786'324,000$$

Amortización de la inversión vendiendo excedentes.

Si se piensa en vender excedentes, el proyecto debe incluir un medidor bidireccional el cual no está incluido en el presupuesto, y adicional a esto se deben incluir transformadores de corriente para hacer la debida medida semidirecta al medidor. Si se contempla la estrategia de vender excedentes de energía, y se da un aproximado acuerdo de compra de \$ 160 el kWh, se puede decir que la amortización de la inversión del proyecto total estaría en un aproximado de 6 años máximo.

$$kWh \text{ ahorrados } 212750 \text{ kWh} * \$ 560 = \$119'140,000$$

$$kWh \text{ excedentes } 97865 \text{ kWh} * \$ 160 = \$15'658,400$$

$$\$134'798,400 \times 5.9 \text{ años} = \$795'310,560$$

5. RESULTADOS

Una vez determinada el área total de la cubierta del edificio C, se evidencia que no es conveniente llenar la totalidad de 948.276m² de paneles, es necesario contar con espacios que permitan la movilidad para la instalación y posterior mantenimiento del sistema, por tal motivo se decide distribuir en seis zonas la totalidad de 414 paneles Ja-Solar 450W de 2.226m², con 144 medias células de silicio monocristalino tipo p, que cuentan con las característica eléctricas que se evidencian en la figura 5, además de la ficha técnica que se puede detallar en la figura 7.

Teniendo en cuenta las necesidades del proyecto, se decide elegir un inversor Huawei de referencia SUN2000-185KTL-H1, que es de conexión directa a la red, es un inversor trifásico industrial de alta potencia y con muy buen desempeño en instalaciones con altos consumos de electricidad, cuenta con 9 MPPT con tensiones que varían entre los 500 y 1500 Voltios, tal como se muestra en la tabla 2; de esta manera permite trabajar con niveles bajos de corriente.

Al seleccionar el inversor solar SUN2000-185KTL-H1, se evidencia en su ficha técnica en la tabla 2. Que su nivel de voltaje en la sección de salida AC es de 800 voltios, por lo tanto es indispensable el uso de un transformador de tensión baja-baja para aplicaciones solares, el cual cumple el trabajo de garantizar el nivel de tensión óptimo para conectar el sistema directamente al barraje de baja tensión 220/127 voltios, de la subestación del edificio C.

Partiendo de los cálculos descritos en la fase siete del desarrollo del proyecto, se puede observar en la figura 33. El total de MW generados por el sistema en un periodo de un año, el cual da como resultado un aproximado de retorno de la inversión de 7 años a partir de su puesta en servicio. Mostrando un panorama positivo para la implementación de este tipo de tecnología en generación de energía limpia en la universidad.

Después de analizar las dimensiones de las zonas disponibles, seleccionar los equipos adecuados y dimensionar la capacidad total del sistema, surge como resultado el diagrama unifilar, el cual resume las características relevantes de cada equipo seleccionado y la capacidad general de producción de energía en kWp.

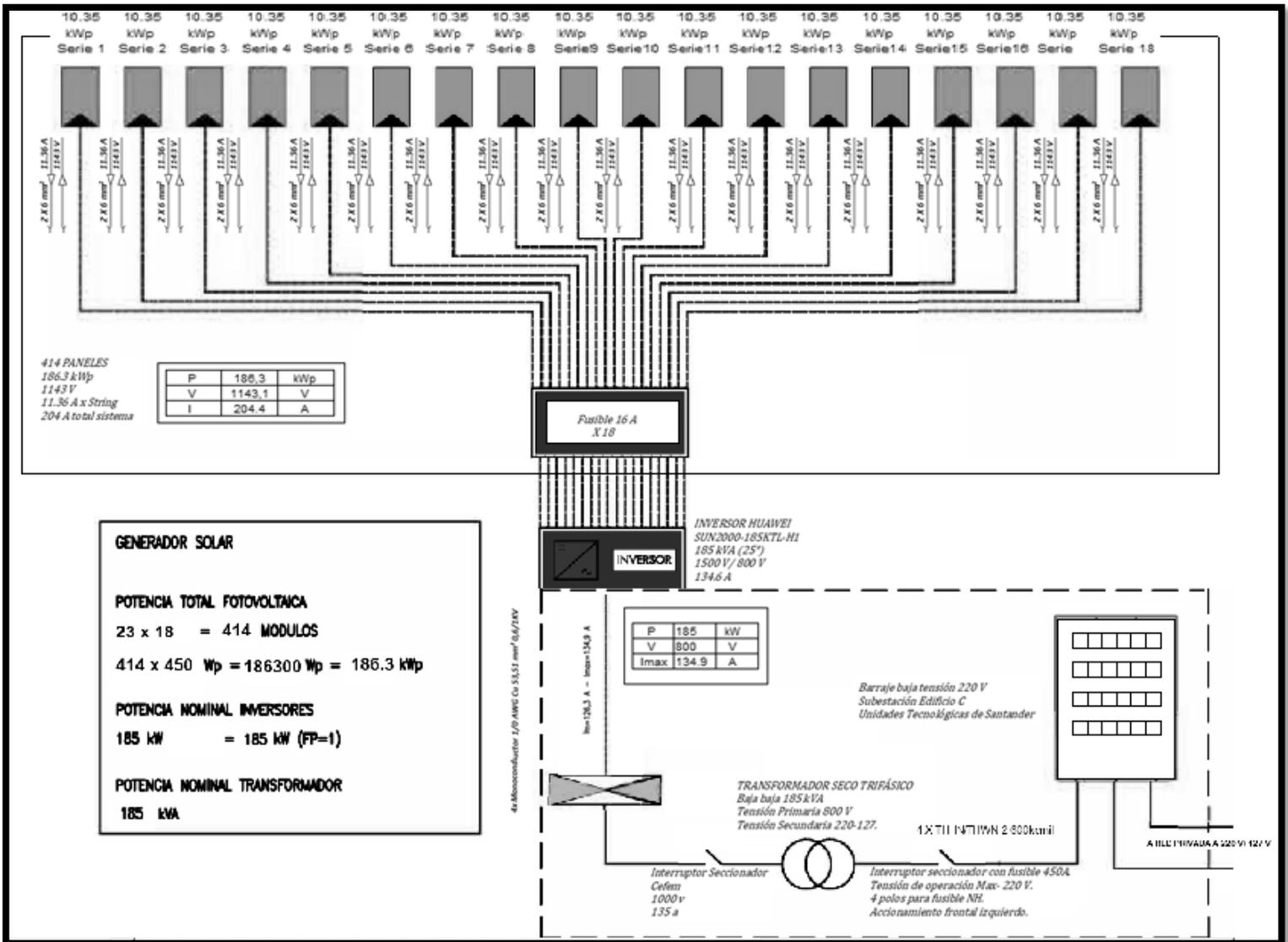


Figura 34. Diagrama unifilar. Fuente: Autor

6. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el proceso de diseño de la cubierta solar fotovoltaica del edificio C de las Unidades Tecnológicas de Santander, se desarrolla un prototipo de diseño por medio del programa tridimensional ON SHAPE, basado en dimensiones extraídas del software GOOGLE EARTH PRO, lo que permite sugerir y acomodar una cantidad considerable de paneles, incluso dejando algunos en stock para repuesto, y según la potencia nominal total esperada a su máximo nivel en óptimas condiciones, permite catalogarlo como un sistema de generación y autoconsumo a pequeña escala; y según la resolución CREG 121 de 2017.

Basados en la etapa inicial de dimensionamiento del diseño en ON SHAPE, se permite identificar de manera acertada las características del sistema, por ejemplo, la cantidad de paneles, y partiendo de este dato, la elección del inversor adecuado. Se opta por implementar el inversor SUN2000-185KTL-H1 del fabricante Huawei, por la facilidad de conexión de string que se acomoda perfectamente a la cantidad de paneles que se disponen en la cubierta, también su alta tecnología y sus características internas de protección, dando un gran respaldo al sistema fotovoltaico On-Grid.

En la etapa de conexión entre el inversor y la subestación del edificio C, Se implementó en el diseño un transformador baja-baja tipo seco para usos fotovoltaicos, que permitió la conexión directa al barraje de baja tensión del edificio, facilitando la opción futura de implementar equipos de medida bidireccional por baja tensión.

De acuerdo con los resultados del diseño, se puede deducir que gran parte de la energía generada no se aprovechará para el consumo de la institución en los días no académicos, Por lo tanto, la mejor forma de aprovechar este sistema es

contemplando la venta de excedentes, y así recuperar la inversión económica a corto plazo.

La implementación de un sistema de generación de energía fotovoltaica en las unidades tecnológicas de Santander, además de estar enfocado en reducir el consumo de energía eléctrica convencional por el edificio C, se relaciona con las políticas ambientales de la institución.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autogeneración Energética. (s/f). Obtenido de <https://www.smartgridsinfo.es/autogeneracion-energetica>
- ABB. (2015). Integración de las energías renovables. ABB review, 29-50. Obtenido de ABB en España: <http://new.abb.com/es/redes-inteligentes>
- Báez Cáceres, E. D., & Sarmiento Domínguez, Y. F. (2016). Diseño de un sistema de energía fotovoltaico, aplicando el uso racional de la energía en unidades residenciales. Bogotá D.C.: Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central.
- Camacho, A., García, M. M., & Velasco, R. E. (2013). Redes de transmisión inteligente. Beneficios y riesgos. Ingeniería Investigación y Tecnología XIV, 1-8.
- Celsia Solar. (2016) ¿Qué son y cómo son los paneles solares? Cómo funciona la energía solar fotovoltaica. Medellín, Antioquia, Colombia: Tomado de la página web de CELSIA.
- Chica, A. (2016). Propuesta para el desarrollo de un proyecto fotovoltaico conectado a red en las instalaciones del hotel Chicalá en la ciudad de Neiva, Huila. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Colombia. Ministerio de Minas y Energía Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia: Resumen ejecutivo. Obtenido de http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/RESUMEN_EJECUTIVO_INTEGRACION_ENERGIAS_UPME2015.pdf
- Contreras Barahona, E., & Piragauta Castañeda, W. (2018). Diseño de planta fotovoltaica en el campus de la Universidad Cooperativa de Colombia. Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Meta, Colombia.
- Díaz Narváez, H., & Díez Cardona, F. (2007). Análisis, modelado, simulación y validación de un sistema de generación de energía solar autónomo caso. Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali.
- Díaz Quiñonez, E., & Flórez Garay, E. (2019). Propuesta para el diseño de una zona de estudio con panel solar en la plazoleta de la familia de la Universidad de Santander bajo los estándares de la PMI. Universidad de Santander "UDES", San José de Cúcuta.
- Energía Solar. (04 de febrero de 2019). Obtenido de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar/irradiacion-solar>.
- Energías Renovables. (s/f). Obtenido de <http://www.lineaverdehuelva.com/lv/consejos-ambientales/energias-renovables/Que-son-las-energias-renovables.asp>.
- Fernández García, L., & Cervantes Torres, A. (2017). Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira, Altamira.

- Fundación Endesa Educa. (3 de noviembre de 2014). Generación distribuida: Características de la generación distribuida. Madrid, España: Fundación Endesa.
- Garrido, M. (19 de diciembre de 2012). Smart Grid Costa Rica Redes Inteligentes. Obtenido de Smart Grid Costa Rica Redes Inteligentes: <http://www.smartgridcostarica.com/2012/12/19/nikola-tesla-el-hombre-que-ilumino-el-mundo-con-las-primeras-ideas-smart-grid/>
- Gischler, C., & Janson, N. (2011). Perspectivas sobre la generación distribuida mediante energías renovables en América Latina y el Caribe. Análisis de estudios de caso para Jamaica, Barbados, México y Chile. Santo Domingo: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Greenpeace España. (10 de enero de 2001). Las energías renovables son la única alternativa a largo plazo al cambio climático. Obtenido de <http://www.nodo50.org/panc/Ere.htm>
- Gómez López, J., & Mayorga Arias, D. (2020). Estudio para la implementación de un sistema de autogeneración a partir de energía solar fotovoltaica en las instalaciones del molino Guanentá. Universidad Autónoma de Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Hernández, A. R. (24 de noviembre de 2009). La generación distribuida y su posible integración al sistema interconectado nacional. Bogotá D.C., Colombia: Comisión de regulación de energía y gas.
- Inversor de Corriente. (02 de abril de 2018). Obtenido de <https://coelectrix.com/inversor-de-corriente>.
- IRENA. (2013). LEY 1665. Obtenido de <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/2013/LEY%201665%20DEL%2016%20DE%20JULIO%20DE%202013.pdf>
- JA-Solar. (s.f.). Autosolar. Obtenido de <https://autosolar.co/paneles-solares-24v/panel-ja-solar-450w-24v-monocristalino-perc>
- Ley N° 143. (12 de Julio de 1994). Congreso de Colombia. Diario oficial de la República de Colombia. Bogota D.C., Colombia.
- Ley N° 1715. (13 de Mayo de 2014). Congreso de Colombia. Diario oficial de la República de Colombia. Bogota D.C., Colombia.
- Ley N° 599. (24 de Julio de 2000, art. 256). Congreso de Colombia. Diario oficial de la República de Colombia. Bogota D.C., Colombia.
- Ley N° 697. (3 de Octubre de 2001). Congreso de Colombia. Diario oficial de la República de Colombia. Bogota D.C., Colombia.
- Márquez Uribe, N., & Pirajon González, F. (2015). Análisis y estudio para la implementación de un sistema de abastecimiento de energía a partir de paneles fotovoltaicos en una construcción de obra civil. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga.
- ministerio de ambiente. (3 de agosto de 2016). ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Obtenido de

- <https://www.minambiente.gov.co/images/pruebamanuel/18082016/res%201283%20agt%202016.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía Unidad de Planeación Minero Energética. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia: Resumen ejecutivo. Bogotá D.C.: UPME.
- Miranda, D. (2009). Breve Descripción de la Celdas Fotovoltaicas de Mono Unión y de Banda Intermedia. Bucaramanga: Recuperado de: http://tux.uis.edu.co/fisica/sites/default/files/blog/archivos/La%20celda%20fotovoltaica_v1,1.
- Navarro Rayas, S., & González Moreno, J. (s/f). Implementación de un sistema fotovoltaico para la alimentación de un edificio de usos múltiples, Guadalajara.
- Navarro, M. F. (2017). ¿En qué consisten los objetivos del Acuerdo de París? Forbes, s.p.
- Ochoa, R. (16 de enero de 2012). Eficiencia energética: Generación de energía centralizada vs generación energía distribuida. Consultoría de construcciones bioclimáticas, eficiencia energética y energías renovables. Gramas.
- Panel Fotovoltaico. (02 de septiembre de 2015). Obtenido de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico>
- Ramos López, H., & Luna Puente, R. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el área de estacionamiento de la universidad tecnológica de salamanca. Universidad Tecnológica de Salamanca, Chihuahua.
- Rivas, S. M. (2014). Redes inteligentes (Smart Grids) para sistemas de generación de energía eléctrica más sostenibles. Malaga España: Universidad de Málaga.
- Rogai, S. (2007). Telegestore Project: Progress & Results. Pisa: ENEL Distribuzione SpA.
- Ruiz del Árbol, A. (21 de abril de 2014). Casi 20.000 palas de molinos de viento averiadas amenazan con un desastre ecológico. El diario, pág. s.p.
- Sandoval Quijano, L. (2013). Energía Solar: Estudio de implementación de un sistema de generación de energía para el edificio yariguies de la Universidad de Santander "UDES". Universidad de Santander, Bucaramanga.
- Santamarta Flórez, J. (2004). Las energías renovables son el futuro. (E. Ayres, Ed.) Madrid, España: Ed Ayres. Obtenido de <https://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/Renovables.pdf>
- UPME. (3 de FEBRERO de 2016). MINISTERIO DE MINAS. Obtenido de <https://www.incp.org.co/Site/2016/info/archivos/resolucion-045-minminas.pdf>
- Valverde, A. A. (2012). Estudio de pre-factibilidad para la implementación de una red. Proyecto Eléctrico. Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica.