

DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA
REDUCCIÓN DE COSTOS ENERGÉTICOS DE LA UNIVERSIDAD SANTO
TOMÁS SEDE PRINCIPAL

HAMILTON STEVEN BRAVO VELÁSQUEZ
YOR HAUWER OROZCO RAMÍREZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ
2022

DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA
REDUCCIÓN DE COSTOS ENERGÉTICOS DE LA UNIVERSIDAD SANTO
TOMÁS SEDE PRINCIPAL

HAMILTON STEVEN BRAVO VELÁSQUEZ
YOR HAUWER OROZCO RAMÍREZ

Proyecto de grado presentado para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO

Director
MSC. ING. HÉCTOR FABIO MONTAÑO MORALES

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ
2022

DEDICATORIA

A mi hermosa tía Yenlly del Pilar Bravo, cuando estuvo en vida, siempre apoyándome incondicionalmente, guiándome con sus consejos para ser mejor persona y profesional, sus palabras fueron muy valiosas cuando pensaba en desistir.

Hamilton Bravo.

A mi madre Cecilia Ramírez y mi padre German Orozco, las personas más importantes de mi vida, a las cuales debo todos mis logros, merecedoras de mi más grande admiración por su sabiduría y amor incondicional, siempre serán la mecánica que hace mover corazón ;)

Yor Haver Orozco.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios y a nuestros padres quienes siempre nos han apoyado en el transcurso de nuestras vidas, sin ellos este logro no sería posible, agradecemos los sacrificios y la disposición de ayudarnos a convertirnos en profesionales, y, sobre todo en personas de bien.

Al Ingeniero Héctor Montaña, agradecer su paciencia y dedicación en este trabajo, por toda su colaboración y por permitirnos recurrir a su capacidad e instrucción profesional durante el desarrollo de esta tesis. Muchas gracias por sus palabras de aliento y orientación.

A la Universidad Santo Tomás, y cada uno de los docentes que con el aporte de cada uno de sus conocimientos contribuyeron para formarnos profesionalmente. A los ingenieros Armando Álvarez y Felipe Rizo de la Universidad Autónoma de Aguascalientes quienes gracias a sus enseñanzas se desarrolló una tesis enfocada a las energías renovables.

Por último y no menos importante, a nuestros amigos y familiares quienes nos acompañaron días y noches realizando trabajos, por cada palabra de aliento para continuar y por siempre estar a nuestro lado cuando más los necesitamos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	12
I INTRODUCCIÓN	14
II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
III.OBJETIVOS	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1. MARCO REFERENCIAL	18
1.1 MARCO CONCEPTUAL.	18
1.2 MARCO TEÓRICO	19
1.2.1 Sistema solar fotovoltaico	19
1.2.2 Beneficios económicos de implementar sistemas solares fotovoltaicos según la normatividad colombiana	24
1.2.3 Estimados de potencial solar fv para la ciudad de Bogotá	25
1.2.4 Angulo de inclinación óptimo de los paneles	26
1.2.5 Factor de emisión de CO ₂ por generación eléctrica.	27
1.2.6 Metodología de diseño de proyectos Puhg	27
1.3 ESTADO DEL ARTE	28
2 PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO FOTOVOLTAICO PARA LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE BOGOTÁ	30
2.1 SELECCIÓN DE TORRE ADECUADA	30
2.1.1 Análisis de torre seleccionada.	32
2.2 ÁREA EFECTIVA DE INSTALACIÓN.	33

2.2.1	Análisis de sombras	33
2.3	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DEL EDIFICIO GREGORIO XIII	35
2.3.1	Selección de paneles e inversor.	35
2.3.2	Potencia del arreglo fotovoltaico teórica (P_{AFVT}).	39
2.3.3	Voltaje total del dimensionamiento en condiciones estándar como en corto circuito (V_T) (V_{OCT}).	40
2.3.4	Cantidad de paneles por inversor.	40
2.3.5	Número de cadena y potencia producida por cadenas.	41
2.3.6	Energía generada diaria, mensual y anual.	42
2.3.7	Diagrama unifilar del dimensionamiento fotovoltaico y medidor bidireccional.	44
2.3.8	Plano a detalle de la instalación fotovoltaica.	47
2.4	DISEÑO ALTERNATIVO A FUTURO	49
3	ANÁLISIS ECONOMICO	51
3.1	EQUIPOS, ACCESORIOS E INSTALACIÓN.	51
3.1.1	Análisis de consumo de energía del edificio	52
3.1.2	Análisis de producción de energía del sistema fotovoltaico	52
3.1.3	Retorno de inversión	53
3.2	BENEFICIOS AMBIENTALES DE LOS PANELES SOLARES	53
3.2.1	Reducción de CO_2 a la atmosfera.	53
3.2.2	Porcentaje reciclable.	54
4	CONCLUSIONES	55
5	RECOMENDACIONES	56
6	ANEXOS	57

LISTAS DE TABLAS

Tabla No. 1. Tipos de panes solares [12]	22
Tabla No. 2. Evaluación PUHG de las diferentes torres de la Universidad Santo Tomás.	31
Tabla No. 3. Consumo mensual del edificio Gregorio XIII por mes	32
Tabla No. 4. Características técnicas de los paneles	36
Tabla No. 5. Evaluación de alternativas para la selección del panel	37
Tabla No. 6. Características técnicas de los inversores.	37
Tabla No. 7. Evaluación de alternativas para la selección de los inversores.	38
Tabla No. 8. Datos requeridos para realizar los cálculos de energía.	43
Tabla No. 9. Valor de equipos.	51
Tabla No. 10. Valor de instalación y diseño del sistema fotovoltaico.	51
Tabla No. 11. Valor de los accesorios.	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes De Una Instalación[12].	19
Figura 2. Componentes De Un panel solar[12]	20
Figura 3. Célula Solar Estándar De Silicio[12]	21
Figura 4. Edificio Gregorio XIII vista isométrica	32
Figura 5. Análisis de sombras del área de instalación de paneles solares, Edificio Gregorio XIII vista isométrica.	34
Figura 6. Vista superior del Edificio Gregorio XIII.	35
Figura 7. Vista de instalación de paneles, Edificio Gregorio XIII.	39
Figura 8. Diagrama unifilar sección DC	45
Figura 9. Diagrama unifilar sección AC.	46
Figura 10. Conexión de los inversores al centro de carga	47
Figura 11. Plano detalla de la instalación.	48
Figura 12. Vista isométrica y vista lateral de la instalación de los paneles, Edificio Gregorio XIII.	49
Figura 13. Organización a futuro de paneles solares, Edificio Gregorio XIII.	49
Figura 14. Área total aprovechar, Edificio Gregorio XIII vista superior.	50

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Área aproximada del edificio A.	57
Anexo 2. Área aproximada del edificio B.	57
Anexo 3. Área aproximada del edificio F.	58
Anexo 4. Techo del edificio A.	59
Anexo 5. Techo del edificio F.	60
Anexo 6. Techo del edificio B.	61
Anexo 7. Recibo energético del edificio Gregorio XIII.	62
Anexo 8. Ficha técnica de paneles solares TQ-C104-10.	63
Anexo 9. Ficha técnica de Inversores TQ-A150N.	64
Anexo 10. Método APH para calcular el peso de cada criterio en los paneles solares.	65
Anexo 11. Método APH para calcular el peso de cada criterio en los inversores.	66
Anexo 12. Rango de evaluación según matriz PUGH.	67
Anexo 13. Horas solares pico en Bogotá [32].	68
Anexo 14. Reducción de capacidad según “National Renewable Energy Laboratory”[33].	69
Anexo 15. Cotización de paneles solares e inversor.	70
Anexo 16. Cotización de central de aluminios.	71
Anexo 17. Cotización de mantenimiento.	72
Anexo 18. Cotización de parte eléctrica.	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Nombre	Unidad
A	Área útil	m ²
E _{GA}	Energía generada anual	MW
E _{GD}	Energía generada diaria	kW/día
E _{GM}	Energía generada mensual	kW
HSP	Horas solares pico	h
I	Corriente eléctrica	A
N _C	Numero de cadenas	-
N _{MF}	Numero de módulos faltantes	-
N _{MFV}	Numero de módulos fotovoltaicos	-
N _{MMI}	Numero de módulos máximos por inversor	-
P _{AFVCC}	Potencia del arreglo fotovoltaico por cadena completa	W _p
P _{AFVCI}	Potencia del arreglo fotovoltaico por cadena incompleta	W _p
P _{AFVT}	Potencia del arreglo fotovoltaico teórica	kW _p
P _{AFVTT}	Potencia del arreglo fotovoltaico teórica total	kW _p
P _{MAX (MFV)}	Potencia máxima del módulo (o panel solar) fotovoltaico	W _p
V	Voltaje	V
V _{EI}	Voltaje de entrada al inversor	V
V _{EIOOC}	Voltaje de entrada al inversor en circuito abierto	V
V _{MAX (MFV)}	Voltaje máximo del módulo fotovoltaico	V
V _{OC (MFV)}	Voltaje en circuito abierto del módulo fotovoltaico	V
V _{OCT}	Voltaje total del dimensionamiento en circuito abierto	V
V _T	Voltaje total del dimensionamiento	V

RESUMEN

El presente documento muestra el procedimiento realizado para el dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico interconectado para la reducción de costos energéticos de la Universidad Santo Tomás sede principal.

El proyecto consiste en la unión de diferentes fases. Como punto de partida se encuentra la selección de la torre adecuada para la implementación del sistema, una vez seleccionada la torre se realiza un análisis del consumo de energía mensual de la torre en el transcurso de un año; posterior se examina el área efectiva de instalación teniendo en cuenta las sombras generadas por distintos obstáculos.

Una vez seleccionada el área donde se va a hacer la instalación se realiza una indagación de paneles e inversores solares en el mercado colombiano para realizar la selección del panel y el inversor a utilizar.

Luego, se realiza una serie de cálculos para conocer la potencia generada por dicho sistema para realizar un análisis costo beneficio y determinar si el proyecto es rentable.

Palabras clave: dimensionamiento, sistema solar fotovoltaico interconectado, costos energéticos, torre, área efectiva de instalación, potencia.

ABSTRACT

The procedure of sizing an interconnected photovoltaic solar system for the reduction of energy costs of Universidad Santo Tomas's main headsquare is presented in this document.

The project was divided into different phases, first the appropriate tower for the implementation of the system was selected. Afterwards, a monthly analysis of energy consumption of the tower was carried out for one year. Then, the effective area for the installation was selected taking into account the shadows that could affect the system.

Once the area was selected, an investigation about solar panels and inverters in the Colombian market was carried out, in order to select the properly panel and the inverter for the system.

Then, a series of calculations were made to know the power generated by the system and finally the cost-benefit of the whole system was evaluated to determine profitable of this.

Keywords: sizing, interconnected photovoltaic solar system, energy costs, tower, effective installation area, power.

I INTRODUCCIÓN

El presente documento expone el procedimiento realizado para el dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico para la reducción de costos energéticos de la Universidad Santo Tomás Ciudad de Bogotá sede principal.

Este proyecto sintetiza la unión de diferentes fases; como punto de partida el documento dilucida qué es un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red, los beneficios que conlleva instalar este tipo de energía, y enumera cada uno de los componentes que se requieren para dicha instalación. A su vez, proyecta e identifica los espacios potenciales para la instalación de los paneles solares que integran este sistema.

Posteriormente, se realizará un análisis costo-beneficio, en el cual se sustentará qué costo tiene el proyecto, en cuánto tiempo se recuperará la inversión, y qué cantidad de dinero se ahorraría la Universidad con su puesta en marcha.

Finalmente, teniendo en cuenta las áreas de instalación anteriormente mencionadas, se expondrán y analizarán los cálculos respectivos que llevan a determinar la cantidad de paneles para la instalación, cuánta energía produce dichos paneles y qué cantidad de dióxido de carbono se dejará de emitir a la atmósfera.

II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las principales problemáticas actuales a nivel mundial es la emisión excesiva de CO₂ debido a que tiene implicaciones ambientales irreversibles que se evidencian en el cambio climático. Se observa que los niveles de contaminación industrial han tenido un gran impacto sobre la naturaleza, debido al fenómeno de calentamiento global y el deterioro de los ecosistemas por la falta de conciencia ambiental. Sumado a ello, las extracciones masivas de los recursos y el uso inadecuado de los mismos tienen a la población mundial en niveles críticos de contaminación para lo cual, es indispensable hacer uso de los sistemas de energías innovadoras limpias y renovables[1].

En este contexto, el Gobierno Colombiano firma y ratifica en 2016 el Acuerdo de París, tratado que estableció como objetivo fundamental mitigar el aumento de la temperatura media global limitando a que las emisiones de CO₂ no superen los 2°C, teniendo en cuenta que las emisiones de este gas son una de las principales causas de la contaminación atmosférica y del calentamiento global. Así, surge la necesidad vital de generar una transición a energías renovables, no solo para contribuir a la reducción de las emisiones de CO₂, sino para desarrollar procesos energéticos más eficientes, limpios y de más bajo costo[1].

De acuerdo a un estudio realizado por el Instituto de hidrología, meteorología y de estudios ambientales IDEAM, Colombia emite a la atmósfera un total de 237 millones de toneladas de CO₂ al año. De ellos, solo 23 millones de toneladas logran ser absorbidos por las plantas, los bosques nacionales y cultivos. Si bien, existen diferentes sistemas de generación de energía que permiten reducir las emisiones de CO₂ (entre estas energías renovables tales como la geotérmica, solar e hídrica), el país aún tiene un gran déficit para generar acciones contundentes que mitiguen los gases que provocan el efecto invernadero. Además, teniendo en cuenta que en Colombia no hay estaciones climáticas, este tipo de energías renovables podrían aprovecharse la mayor parte del año[2].

La ingeniería y la implementación de nuevos sistemas de consumo energético podrían contribuir a superar progresivamente esta problemática medioambiental, ya que a nivel tecnológico, se han logrado grandes avances enfocados en la optimización de recursos naturales que han permitido un crecimiento social y sustentable en ámbitos locales y regionales. En el país se han venido implementando nuevos sistemas de aprovechamiento de la energía eólica, solar,

geotérmica y mareomotriz, formas alternativas de producción que han beneficiado a varias comunidades dentro del territorio nacional[3].

Según UPME, IDEAM el país cuenta con una irradiación promedio de 4,5 kW/m² la cual supera el promedio mundial el cual es 3,9 kWh/m²[3]. En Colombia actualmente se generan 50 MW de energía solar fotovoltaica, esto corresponde a la energía requerida para una ciudad como Ibagué[4], a su vez, una de las plantas que genera mayor cantidad de energía solar es el parque ubicado en el Paso-Cesar, el cual genera 176 GW/año, lo cual representa un 80% de la capacidad instalada de energía solar en Colombia (con la generación de esta planta se podrían suplir las necesidades de una ciudad como Valledupar)[5]. Como se observa, es necesario generar un mayor provecho de esta energía solar; irradiación que en estas latitudes está por encima de la media mundial, y a su vez, fortalecer los procesos de producción de energía limpia a bajo costo, en beneficio de la ciudadanía que habita a lo largo y ancho del país.

Por ende, es esencial desplegar diferentes estrategias que contribuyan a la reducción de costos de energía y producción de CO₂. De manera que, el propósito fundamental de este trabajo se basa en diseñar precisamente, un proyecto para la implementación de paneles solares basado en el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica, contribuyendo a reducir los altos índices de contaminación y los costos que se presentan en la Universidad Santo Tomás sede central en Bogotá.

III.OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Dimensionar la viabilidad de la implementación de un sistema de paneles solares en un área específica de la Universidad Santo Tomás, generando proyecciones medibles del aprovechamiento de la energía y contribuyendo a la reducción de costos causando un impacto positivo al medio ambiente, por medio del uso de energías limpias y sustentables.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis infraestructural y de consumo del área específica donde se tiene planeado el proyecto de implementación del sistema fotovoltaico, para visualizar la cantidad de paneles necesarios y capacidad energética que se aprovechará.
- Identificar los beneficios económicos que se obtendrán al hacer cambio del suministro de energía convencional a una energía limpia.
- Calcular la cantidad de dióxido de carbono que se dejaría de producir con la implementación de energía solar, a través de un sistema fotovoltaico y el beneficio ambiental que este proporcionaría.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 MARCO CONCEPTUAL.

- (HSP) Hora solar pico: se define como una unidad encargada de medir la irradiación solar y definirla como el tiempo (en horas)[6].
- Efecto fotovoltaico: el efecto fotovoltaico es el efecto fotoeléctrico, caracterizado por la producción de una corriente eléctrica entre dos piezas de material diferente que están en contacto y expuestas a la luz o, en general, a una radiación electromagnética[7].
- Energía solar: es aquella que se obtiene de la radiación solar que llega a la tierra en forma de luz, calor o rayos ultravioleta. Es un tipo de energía limpia y renovable, pues su fuente, el sol, es un recurso natural renovable[8].
- Irradiación: la magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la tierra. Su unidad es el w/m^2 o kW/m^2 [9].
- MPPT: viene de la sigla en inglés “maximum power point tracker” o seguimiento del punto de máxima potencia. La energía generada por los paneles se convierte a corriente alterna y calculan la potencia óptima para alimentar el inversor[10].
- Cadena fotovoltaica: una cadena fotovoltaica es el conjunto de paneles solares conectados en serie[11].

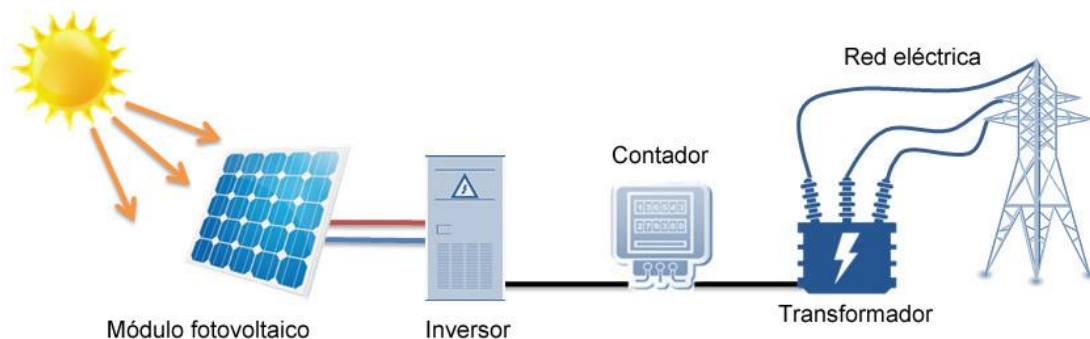
1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 Sistema solar fotovoltaico

De manera general, una instalación solar fotovoltaica [ISF] se ajusta a un esquema como el mostrado en la figura 1. A lo largo de esta unidad se detallan los elementos necesarios para su instalación[12].

Un sistema solar fotovoltaico utiliza como elemento principal la irradiación solar, irradiación que es captada por un Panel solar o módulo fotovoltaico que la traspasa a un Inversor en forma de corriente directa. Al momento que este flujo de carga eléctrica pasa por el Inversor, este la convierte en corriente alterna, la cual, al salir de este componente, circula hasta una caja de breakers y simultáneamente a un medidor bidireccional, elementos que tienen como función entregar esta energía transformada a la red.

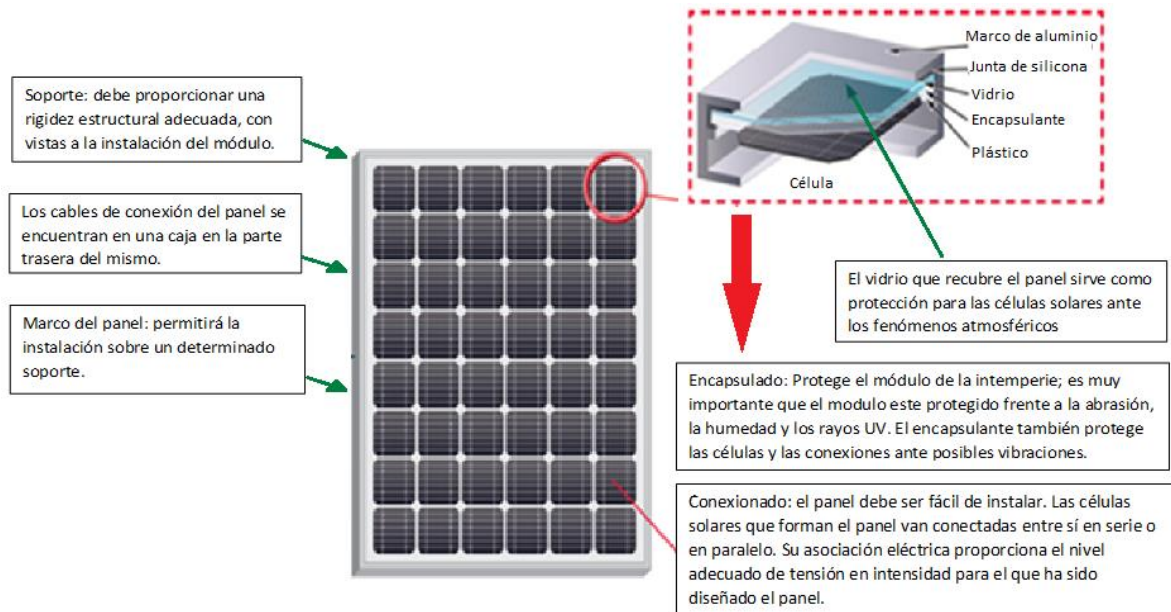
Figura 1. Componentes De Una Instalación[12].



1.2.1.1 El panel solar

El panel solar o modulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células (figura 2), conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte o marco que proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión[12]. .

Figura 2. Componentes De Un panel solar[12]

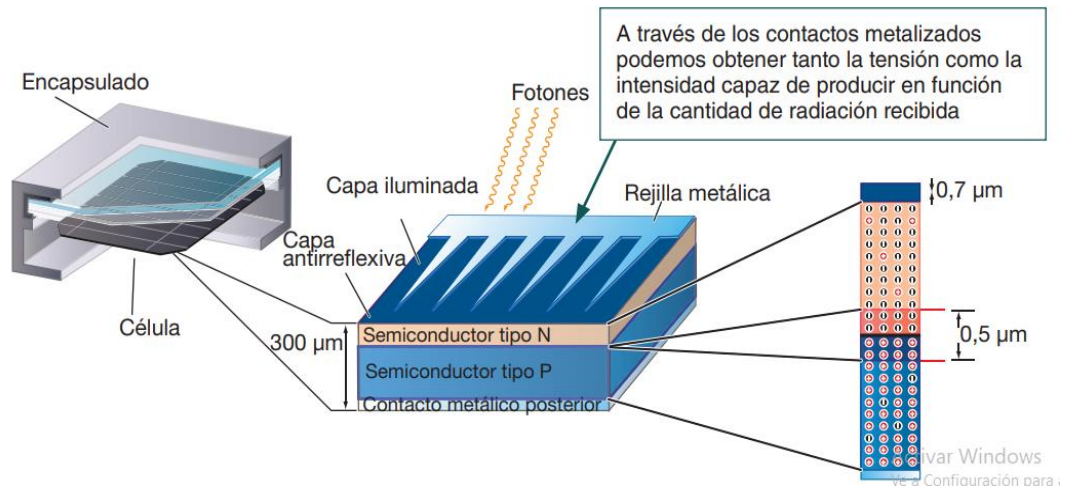


- La célula solar y sus características esenciales.

El principal elemento de cualquier instalación de energía solar es el módulo, que es denominado como célula solar y se caracteriza por convertir los fotones provenientes de la luz del sol en electricidad, ya que su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico[12].

La célula (figura 3) al igual que un diodo, consiste en una unión de semiconductores p-n. Si la luz penetra en la célula, cada fotón absorbido genera un par de electrones. Las partículas se separan del campo de la región de carga espacial y se mueven a los contactos a través de la base hasta el contacto posterior inferior: los electrones del emisor pasan a los contactos frontales. Estas son pequeñas tiras de metal que transportan los electrones generados al riel colector actual (barra colectora). Si se conecta una carga a los dos polos de la célula solar, esto puede extraer la energía eléctrica generada[12].

Figura 3. Célula Solar Estándar De Silicio[12]






- *Diferencias entre las células según la tecnología de fabricación.*

Los paneles solares están conformados por un grupo de células que les diferencia según sus especificaciones físicas y funcionamiento: Respecto a su fabricación tienen una mayor o menor eficiencia en condiciones estándar; hay que tener en cuenta que las células tienen un rendimiento mayor en el laboratorio que en condiciones de operación tal como se muestra en la tabla 1. Los más comunes son los monocristalinos ya que poseen células con mayor eficiencia y mejor comportamiento en el proceso de transformación de energía solar.

Posterior a esta se encuentran las células poli cristalinas que, a diferencia de las monocristalinas, tienen un rendimiento inferior y una eficiencia algo menor, pero aparte de estos dos se tienen las células solares amorfas que si bien son más económicas, su rendimiento y eficiencia también es menor, el espesor de la célula es casi 50% menor que las mencionadas anteriormente[13]. En la tabla 1 se muestra el rendimiento, características y fabricación de cada uno de los paneles mencionados anteriormente.

Tabla No. 1 Tipos de panes solares [12]

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Mono cristalino	24%	15 - 18 %	Tienen un tono azul intenso y su estructura es homogénea a lo largo de la conexión de las células.	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Poli cristalino	19- 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del mono cristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16%	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

1.2.1.2 Inversor solar.

El inversor solar es un equipo que se encarga de transformar la energía recibida (corriente directa), producida por una instalación fotovoltaica y es convertida a corriente alterna. Además, el inversor fotovoltaico optimiza la producción de energía de la instalación solar, permitiendo obtener el máximo rendimiento de cada uno de los paneles solares del sistema fotovoltaico[14].

Entre los inversores se puede encontrar diferentes tipos, en los cuales se hallan:

- Inversores conectados a la red

Son los utilizados en instalaciones solares que están conectadas a la red eléctrica general. Estos inversores además de la conversión de corriente tienen otra función muy importante que es mantener la tensión de la energía generada por los paneles solares un poco por encima de la energía de la red. De esta manera, se prioriza y optimiza el uso de la energía solar, ahorrando toda la carga posible gracias a utilizar primero el autoconsumo[14].

- Inversores de instalaciones aisladas

Esta clase de inversores suelen tener incorporadas funciones para cargar las baterías, controlar dicha carga y proporcionar seguridad, además de su función principal de conversión de corriente[14].

- Inversores híbridos

Se caracterizan por gestionar las diferentes fuentes de energía, permitiendo alimentar los consumos eléctricos desde la energía procedente de los paneles solares, desde la energía almacenada en las baterías y/o desde la red eléctrica de apoyo[14].

1.2.1.3 El medidor de energía.

Regularmente la empresa que brinda el servicio eléctrico le corresponde instalar los medidores, que conforme al consumo de electricidad va calculando el uso de energía en kWh; A este instrumento de medición se le llama vatímetro o watthorímetro[15].

- Medidor bidireccional

El medidor bidireccional es un elemento indispensable en cualquier proyecto de energía solar fotovoltaica. Este tipo de medidor tiene la capacidad de diferenciar entre la energía que suministra los diferentes entes encargados, y la energía que entregan los paneles solares cuando no es consumida en su totalidad por el usuario [15].

Un medidor bidireccional funciona de la siguiente forma: durante el día, la energía eléctrica absorbida por los paneles pasa a ser captada por el medidor, el cual se encarga de calcular esta energía y conducirla eficientemente por la red. Este medidor regula la carga energética, ya que, ajusta el flujo de energía cuando no hay suficiente para el consumo requerido. En tales casos, si los paneles solares no

producen suficiente energía para las necesidades diarias de los usuarios, compensa este déficit haciendo uso de excedentes energéticos almacenados previamente, garantizando la demanda continua y eficiente de la red instalada.

1.2.1.4 Dispositivos de protección.

Cadena en un sistema fotovoltaico hace referencia un número específico de paneles conectados en serie limitados por el inversor. Los sistemas fotovoltaicos que tienen tres o más cadenas conectadas en paralelo deben tener una protección adicional. Los sistemas con menos de tres cadenas no generan suficiente corriente para dañar los módulos en caso de fallo, por tanto, no presentan un riesgo para la seguridad, siempre que el cable de la instalación tenga un tamaño correcto, basado en los códigos y requisitos de instalación locales[16].

Cuando tres o más cadenas se conectan en paralelo, es necesario un cartucho de fusible para cada cadena con el fin proteger los cables y los módulos de fallos de sobretensión, ayudando a minimizar todo riesgo de seguridad. También aísla la cadena fallida para que el resto del sistema fotovoltaico pueda continuar generando electricidad[16].

1.2.2 Beneficios económicos de implementar sistemas solares fotovoltaicos según la normatividad colombiana

A partir de la necesidad de instaurar energías limpias y renovables con miras a mejorar la calidad de vida y la salud la sociedad colombiana, la República de Colombia ratificó y suscribió leyes que fomentaron en la industria nacional, el uso de energías limpias. Por ejemplo, en el año 2014 el congreso de la Republica a través de la ley 1715 del 13 de mayo promovió el uso de energías renovables y no convencionales.

Esta ley tuvo como objeto “promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético”[17].

Posteriormente en el año 2018 a través de la resolución No. 030 de dicho año se generó una comisión de regulación de energía y gas, en la cual se estipula que los generadores distribuidos (GD) Podrán comercializar su energía[18].

En consecuencia, de lo anterior, conlleva a los siguientes beneficios:

- Se puede deducir de la base gravable para calcular el impuesto de renta, hasta el 50% del valor de la inversión realizada, en proyectos de energías renovables no convencionales. Esta deducción se puede aplicar en el primer año, o hasta en 5 años siguientes al año gravable en el que hayan realizado la inversión[19].
- Los generadores de energía renovable en pequeña y gran escala podrán vender a la red eléctrica el excedente de energía que ellos no consuman (esquema de créditos de energía), según lo disponga la CREG[19].
- Los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre-inversión, inversión, medición y evaluación de las fuentes no convencionales de energía, estarán excluidos de IVA[19].
- Depreciación acelerada de los activos en 5 años, con una tasa anual del 20% [19].

En conclusión, según el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 abre las puertas para la innovación, uso y distribución de energías renovables con la implementación de leyes que protegen a la industria comercial energética, que innoven y promuevan energías limpias[20].

1.2.3 Estimados de potencial solar fv para la ciudad de Bogotá

En Colombia, las fuentes disponibles de información de recurso solar indican que el país cuenta con una irradiación promedio de 4,5 kWh/m² /día (UPME, IDEAM, 2005). Con la aplicación que dispone la NASA se logra detectar que la irradiación en punto exacto de la universidad Santo Tomas es de 4,75 kWh/m² , la cual supera el promedio mundial de 3,9 kWh/m² /día, lo que representa buenos niveles de radiación solar, ante todo en comparación con los países nórdicos, y en el caso de Colombia y los países ecuatoriales se cuenta con la ventaja de tener un buen recurso promedio a lo largo del año al no experimentar el fenómeno de las estaciones[3].

En el caso de Bogotá se establece que el potencial teórico de energía primaria solar es de 1.592 GWh/día basado en el área total de la ciudad la cual es de 330.193.785 m² y la irradiación promedio recibida es de 4.82 KWh/m²/día, la energía diaria recibida en esta área es equivalente a más de 60 veces la energía eléctrica consumida diariamente en esta ciudad[3].

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que las limitaciones tecnológicas en materia de la eficiencia con la que dicha energía puede ser transformada en electricidad a través de paneles solares tienen grandes restricciones, según las áreas disponibles para su instalación, ya que la ubicación es de gran importancia y no todos los espacios son pertinentes para las instalaciones fotovoltaicas[3].

1.2.4 Angulo de inclinación óptimo de los paneles

La mayoría de los techos son capaces de instalar paneles solares, pero no todos tienen las mismas características ni brindan los mismos beneficios. Por lo tanto, se deben tener en cuenta algunas configuraciones para obtener la inclinación óptima del panel fotovoltaico[21].

Este tipo de tecnología se puede configurar según la inclinación específica del techo o teniendo en cuenta razones puramente estéticas para respetar el diseño arquitectónico. Sin embargo, si desea una fuente de energía eficiente, entonces la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos en nuestro país es de 4° a 5° hacia el sur[21].

Este tipo de colocación asegura un buen rendimiento incluso en modo horizontal. Si la pendiente de los paneles fotovoltaicos es menor (entre 10° y 12°), se puede perder rendimiento y la eliminación del polvo acumulado será más complicada[21].

La inclinación ideal controla la latitud del área geográfica en la que se instalan los paneles solares. Sin embargo, la época del año en la que se utiliza también es crucial a la hora de considerar el consumo. El objetivo es mejorar la producción de energía tanto como sea posible[21].

1.2.5 Factor de emisión de CO₂ por generación eléctrica.

Según estudios realizados por el Ministerio de Minas y Energías, la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética) y XM (empresa del Grupo ISA especializada en la gestión del mercado de energía mayorista), se establece que el factor de emisiones en el año 2019 alcanzó las 11.815.408 toneladas de CO₂ que corresponde a una generación de energía de 71.879.581.392 KWh, con respecto a la información anterior el SIN (Sistema Interconectado Nacional) [22], establece que el factor de emisión corresponde a 0,16438 t CO₂.

1.2.6 Metodología de diseño de proyectos Puhg

Es una herramienta que se emplea para la toma de decisiones sobre un nuevo producto, servicio o proyecto. Esta metodología diferencia y delimita los criterios que van a aportar más valor de manera cuantitativa, es decir, es una herramienta que sintetiza eficazmente las características del proyecto[23].

Consiste en categorizar y cuantificar los criterios de diseño a evaluar basándose en su importancia, lo que permite obtener una selección adecuada; mediante esto se asigna un valor puntual a cada criterio de diseño, considerando la importancia que tenga sobre los demás parámetros. La escala seleccionada está comprometida entre tres valores, y representa el grado de importancia[23].

Las alternativas de diseño se evalúan con respecto a cada uno de los criterios, asignando mayor cantidad a valores criterios positivos; de igual manera, alternativas con criterios neutros o negativos. Luego de evaluar cada alternativa se realiza la sumatoria a cada alternativa y, una vez realizada la sumatoria, se selecciona la alternativa que presente mayor resultado[23]. El peso de cada criterio fue cálculo mediante el proceso analítico jerárquico.

1.3 ESTADO DEL ARTE

Debido al avance tecnológico presentado en el transcurso de los últimos años, se han encontrado diversos estudios, diseños y proyectos enmarcados en el uso de energía solar fotovoltaica como una alternativa para mejorar la producción energética sin depender de la producción de energía fósil, dando soluciones viables a la reducción de emisiones de CO₂, reducción en costos y un aporte a la salud pública. Diversas organizaciones, instituciones estatales, empresas y proyectos de investigación han contribuido a mejorar las tecnologías disponibles en dicha área.

Uno de los ejemplos más destacados, es el de la empresa de origen chino *Triana Solar* quienes llevan 21 años de experiencia en el campo. En 2014, la empresa asiática consiguió el hito de superar una producción de módulos trimestral de 1 GW y superar 7 veces consecutivas el récord mundial de eficacia de las células solares. A la fecha, el laboratorio y la tecnología desplegada ha sido de gran impacto: 16 récords mundiales en eficacia de las células solares y de potencia de los módulos. Es preciso recalcar que dicha investigación y producción se hace con ayuda estatal para llevar energía limpia a la mayoría de población e industria china [24].

En el caso latinoamericano, en Colombia, se puede rastrear las acciones realizadas por la multinacional italiana Enel Green Power, reconocida por llevar a cabo la gestión y ejecución de energía solar más grande del país; dicho proyecto se llevó a cabo en el departamento del Cesar donde se registró una capacidad instalada de 86.2 MW[25]. Esta multinacional se enfoca en el negocio solar, reduciendo las implicaciones ambientales y financieras en las regiones donde realiza su gestión por lo que ha realizado más de 1200 plantas operativas en todo el mundo, llegando a producir una capacidad de 46 GW[26].

La Universidad Santo Tomás tiene un Plan Maestro que incluye la implementación de sistemas de energía fotovoltaica durante los próximos 20 años para disminuir su huella de carbono y contribuir a la conservación del medio ambiente. La Santo Tomás fue la primera universidad del país en obtener una licencia para construir sistemas de generación de energía solar en 340 metros cuadrados y buscará cubrir una demanda de energía[27].

El ministerio de Hacienda establece un crédito subsidiado por Findeter que servirá para la construcción de un edificio nuevo en la sede de la Calle 54 con séptima de la Santo Tomás en Bogotá. La obra tendrá una extensión total de 5.632 metros

cuadrados, que incluyen los 100 metros de sistema de energía fotovoltaica y tendrá un ahorro de 46% en energía y 20% en agua[27].

Teniendo en cuenta dichos antecedentes, se puede concluir que las grandes multinacionales apuestan cada vez más por la producción de energías limpias que contribuyen con la responsabilidad social de mitigar los riesgos asociados a la producción desmedida de CO₂ y, de igual forma generar ventajas financieras en algunas regiones del planeta. Con base a ello, el siguiente proyecto tiene por objetivo realizar un proyecto de aprovechamiento de energía mediante la implementación de módulos fotovoltaicos aplicados a la Universidad Santo Tomás, que aporte al ejercicio de investigación y uso de tecnologías que promuevan energías limpias y ayude a disminuir los costos energéticos que produce.

2 PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO FOTOVOLTAICO PARA LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE BOGOTÁ

2.1 SELECCIÓN DE TORRE ADECUADA

En primer lugar, se evaluó qué edificio de esta institución se ajusta mejor para la implementación del sistema de paneles solares mediante la metodología de matriz Pugh. Estos fueron evaluados bajo los siguientes criterios:

- Área aprovechar: para este criterio se tuvo en cuenta la mayor cantidad de área disponible en cada edificio para la distribución de paneles solares.
- Cantidad de sombras que afectan el espacio: para este criterio se consideran los obstáculos que generan sombras en el área de instalación de los paneles.
- Acceso a la zona de instalación: para este criterio se estimó su accesibilidad y complejidad para desarrollar la instalación de los paneles.
- Requisitos legales: para este criterio se estudian si existen o no existen restricciones para la instalación de paneles solares en edificaciones y si hay alguna ley limitante para la adecuación de los paneles.
- Riesgos: para este criterio se comprendió qué tan riesgoso puede ser la instalación y su mantenimiento, los riesgos más relevantes es trabajo en alturas, y riesgo de electrocución; para la valoración de este criterio se clasifica bajo un nivel de prioridad asignada.

En la tabla 2 se muestra la evaluación de estos criterios, para la selección de la torre adecuada.

Tabla No. 2 Evaluación PUHG de las diferentes torres de la Universidad Santo Tomás.

Criterio	Peso	Torre A		Torre B		Torre C		Torre F	
Área aprovechar	30%	1	0.3	0	0	1	0.3	-1	-0.3
Cantidad de sombras que afectan el espacio	20%	1	0.2	-1	-0.2	0	0	1	0.2
Acceso a la zona de instalación	20%	0	0	0	0	1	0.2	-1	-0.2
Requisitos legales	10%	-1	-0.1	1	0.1	1	0.1	1	0.1
Riesgos	20%	-1	-0.2	0	0	0	0	-1	-0.2
Total			0.2		-0.1		0.6		-0.4

En la tabla 2 se observa que la torre A es una de las edificaciones que cuenta con mayor área, menor afectación de sombras. También cuenta con un alto riesgo de instalación del sistema debido al trabajo en alturas y los riesgos de caída. Se determinó que este predio está limitado por la ley 606 del 2001[28], que manifiesta que al ser patrimonio cultural no puede ser utilizado para este fin.

La torre B es la menos indicada porque obtuvo una calificación de -0.1 en la evaluación, debido principalmente a la gran cantidad de área de sombras por obstáculos.

Torre F: a pesar de ser una de las instalaciones más altas, cuenta con un área pequeña para la instalación de los paneles, por otro lado, no cuenta con acceso a la terraza lo que dificulta la instalación de los paneles.

Se estableció que el edificio C (Gregorio XIII) es el seleccionado para el desarrollo del proyecto, ya que recibe la máxima puntuación según la matriz, mostrando que esta edificación tiene un espacio con gran potencial para el mantenimiento, a pesar de también tener riesgo por trabajo en alturas, cuenta con unas paredes a los costados que reducen el riesgo de caída y cuenta con un elevador para subir los paneles.

2.1.1 Análisis de torre seleccionada.

Con base en los planos y fotografías (figura 4) del edificio delimitado, se hizo un diseño de la planta física en el programa sketchup (figura 6), con el objetivo de mostrar de una manera más concreta cómo quedaría el montaje de los módulos en dicho lugar.

Figura 4. Edificio Gregorio XIII (Torre c) vista isométrica



Posteriormente se determinan a partir de las facturas de electricidad, los kWh mensuales consumidos en el edificio seleccionado.

Tabla No. 3 Consumo mensual del edificio Gregorio XIII por mes

CONSUMO MENSUAL DE EDIFICIO GREGORIO XIII	
Mes	Kilovatios (kW)
Enero	24,485
Febrero	36,052
Marzo	40,830

CONSUMO MENSUAL DE EDIFICIO GREGORIO XIII	
Mes	Kilovatios (kW)
Abril	34,656
Mayo	40,544
Junio	28,151
Julio	28,431
Agosto	36,678
Septiembre	37,841
Octubre	38,581
Noviembre	32,379
Diciembre	24,441
Promedio	33,589

En la tabla 3 se evidencia en consumo mensual del edificio en el transcurso de un año, obteniendo así un promedio mensual de 33,589 kWh mensuales con el fin de facilitar los cálculos explicados posteriormente.

2.2 ÁREA EFECTIVA DE INSTALACIÓN.

Con base en los planos de la planta física, se determinó que el área total del edificio Gregorio XIII es de 1110 m². Al momento de analizar el espacio donde se instalarían los paneles, se observó que hay una serie de condiciones que deben ser tenidas en cuenta para el dimensionamiento del sistema. Entre estas, se encuentran unas claraboyas que permiten tener iluminación natural en el quinto piso, la cuales se planean mantener; por otra parte, el techo del edificio no es uniforme debido a las inclinaciones que tiene lo que adicionalmente genera una serie de sombras que obstaculizan la irradiación solar.

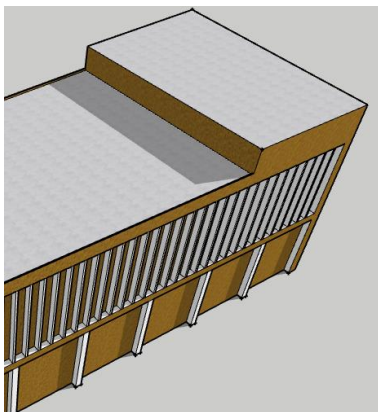
2.2.1 Análisis de sombras

Se realizó un análisis de las áreas afectadas por sombras a diferentes horas del día (entre las 6 a.m. y 4 p.m.). De este análisis se puede afirmar que el mejor horario y donde puede haber un mayor aprovechamiento de la irradiación solar, es en el intervalo de las 8 a.m. a las 3 p.m.

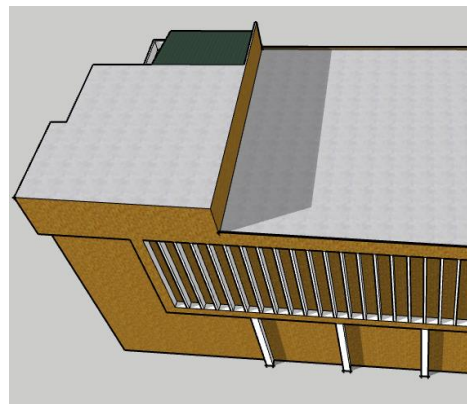
Se aprecia en la figura 5 que la sección central de la planta física es donde mayor afectación de sombras hay, esto debido a las construcciones colindantes las cuales generan sombras antes de las 8 a.m. y después de las 3 p.m.

De tal modo, se evidenció que la mejor opción para ubicar los paneles (de manera que se logre disminuir la mayor cantidad de sombra y se pueda instalar la mayor cantidad de paneles) es la distribución de ares que se muestra en la figura 6, de tal forma que el sistema no se vea afectado por la ausencia de luz, estableciendo que el espacio óptimo es de 530 m².

Figura 5. Análisis de sombras del área de instalación de paneles solares, Edificio Gregorio XIII vista isométrica.



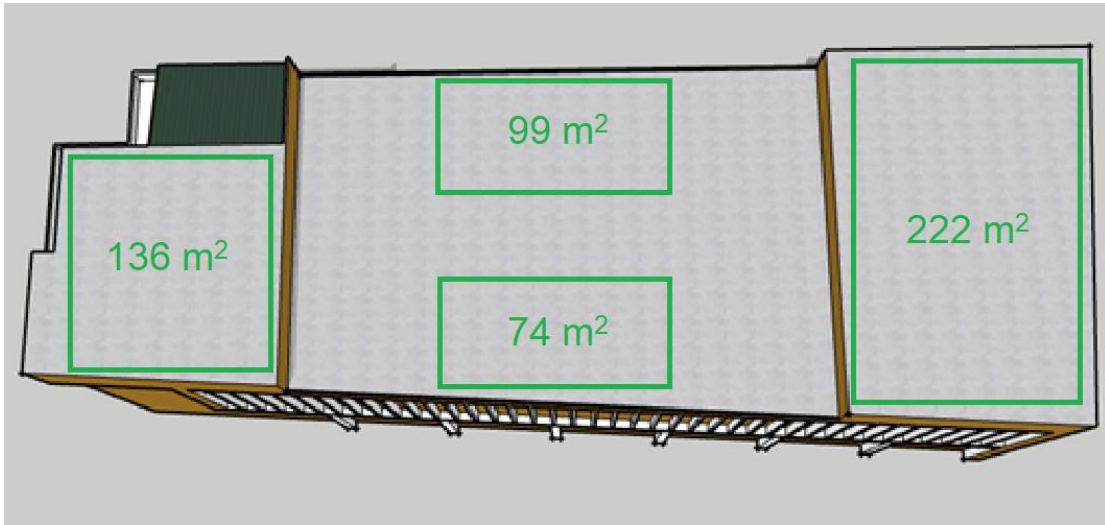
(a)



(b)

Nota: la figura 5a corresponde al horario de las 8 a.m. y la figura 5b corresponde al horario de las 3 p.m.

Figura 6. Vista superior del Edificio Gregorio XIII.



2.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DEL EDIFICIO GREGORIO XIII

Los cálculos realizados para la proyección de la instalación de los paneles solares de la planta física seleccionada se expondrán en este punto, además, se estudiarán los equipos necesarios para la materialización de este sistema y se proyecta un dimensionamiento a futuro con una cantidad mayor de paneles.

Cabe resaltar que para el dimensionamiento se considera utilizar celdas monocristalinas debido a que tiene una eficiencia mayor, considerando las condiciones climáticas en la ciudad de Bogotá.

2.3.1 Selección de paneles e inversor.

Se realizó una consulta de referencias de paneles solares e inversores existentes en el mercado colombiano, en esta se indagaron las características necesarias para el cálculo del sistema. En la tabla 4 se encuentran 4 tipos de paneles preseleccionados con sus respectivas características técnicas.

Tabla No. 4 Características técnicas de los paneles

Características	TQ- C104-10	TQ- C103N	AMC- MSF/I370W	AMC- MSF/J370
Potencia Máxima (Wp)	370	370	365	370
Tensión en el Punto de Máxima Potencia (V)	31.3 ~ 32	31.6 ~ 32.4	31.8	35.9 ~ 36.7
Corriente de cortocircuito (A)	9.09 ~ 9.27	9.04 ~ 9.31	9.26	7.88 ~ 8.13
Dimensiones (mm)	1755x1038	1765x1038	1755x1038	1960x992
Certificaciones	IEC 61215, IEC 61730	IEC 61215, IEC 61731	IEC 61215, IEC 61732	No posee

Para selección de los paneles se utilizó la metodología Puhg en la que se tuvieron en cuenta diferentes criterios. En la tabla 5 se evaluó qué panel solar se ajusta mejor para el dimensionamiento y se evaluaron bajos los siguientes criterios:

- Potencia máxima: para este criterio se tuvo en cuenta qué panel solar genera mayor potencia, ya que generará más energía al sistema.
- Intensidad de corto circuito: se consideró la máxima corriente que soporta el panel en caso de que ocurra una anomalía de corto circuito.
- Certificaciones: para este criterio se contempló que paneles cuentan con certificaciones que garanticen el óptimo funcionamiento.
- Voltaje máximo: para este criterio analizó que el voltaje máximo sea menor, ya que es conveniente a la hora de calcular el número máximo de paneles fotovoltaicos posibles en una cadena.
- Área del panel: para este criterio se tiene en cuenta las dimensiones del panel buscando que el área sea la mínima con el fin de optimizar espacio.

Tabla No. 5 Evaluación de alternativas para la selección del panel

Criterios	Peso	TQ-C104-10		TQ-C103N		AMC-MSF/I370W		AMC-MSF/J370W	
		1	0.44	1	0.44	-1	-0.44	1	0.44
Potencia máxima	44%	1	0.44	1	0.44	-1	-0.44	1	0.44
Intensidad de corto circuito	14%	0	0	0	0	1	0.14	-1	-0.14
Certificaciones	6%	1	0.06	1	0.06	1	0.06	-1	-0.06
Voltaje máximo	12%	0	0	1	0.12	1	0.12	-1	-0.12
Área del panel	24%	1	0.24	0	0	1	0.24	-1	-0.24
Total			0.74		0.62		0.12		-0.12

Según lo observado en la tabla 5, el panel con menor valoración es el AMC-MSF/J370W ya que solo cumple con la potencia máxima entre los criterios, por otro lado el panel AMC-MSF/I370W tiene aspectos que no le favorecen respecto a los criterios que tienen mayor relevancia para el dimensionamiento. Aunque el panel TQ-104-10 y TQ-C103N sobresalen por sus condiciones frente a los otros tipos de paneles cabe resaltar que el área del panel es el determinante para la selección final.

De igual forma se hace un análisis previo de cuatro tipos de inversores haciendo un análisis de las características técnicas que son necesarias para la instalación del sistema fotovoltaico.

Tabla No. 6 Características técnicas de los inversores.

Características	TQ-A150N	TQ-B057-02	AMC-ISI/20kW	AMC-ISI/27kW
Años de funcionamiento	10	10	10	12
Potencia máxima (kW)	37.5	30	20.6	27
Voltaje máxima (V)	1000	1000	1000	1000
Corriente máxima (A)	72	66	20	26.5

MPPT	4	2	2	NO PORTA
Eficiencia	98.60%	98.50%	98.0%	98.20%

En la tabla 6 se evaluó qué inversor se ajusta mejor para el dimensionamiento y para ello se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Potencia máxima: se buscó la potencia máxima de entrada, ya que este debe soportar la potencia entregada por las cadenas.
- Años de funcionamiento óptimo: se contemplaron los años de funcionamiento óptimo que genera el inversor, ya que al ser mayor genera mayor rentabilidad.
- Eficiencia: una alta eficiencia de los inversores es importante para garantizar que la operatividad y desempeño del equipo sea el mejor durante su funcionamiento.
- Corriente máxima: el inversor debe tener una capacidad máxima de corriente que puede recibir de los paneles
- Maximum Power Point Tracking (MPPT): se determina el mayor MPPT o número de cadenas que se pueden conectar al inversor puesto que va a reducir costos al momento de la instalación.

Tabla No. 7. Evaluación de alternativas para la selección de los inversores.

Criterios	Peso	TQ-A150N		TQ-B057-02		AMC-ISI/20kW		AMC-ISI/27kW	
		1	0.26	0	0	-1	-0.26	0	0
Potencia máxima	26%	1	0.26	0	0	-1	-0.26	0	0
Años de Funcionamiento optimo	11%	0	0	0	0	0	0	1	0.11
Eficiencia	8%	0	0	0	0	1	0.08	-1	-0.08
Corriente máxima	22%	1	0.22	1	0.22	0	0	-1	-0.22
Máximum Power Point Tracking	33%	1	0.33	0	0	0	0	-1	-0.33
Total			0.81		0.22		-0.18		-0.52

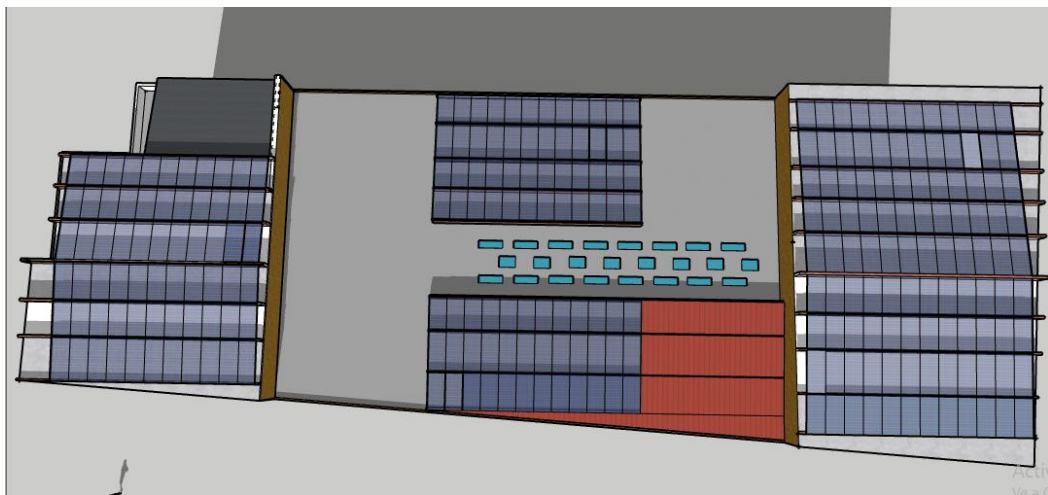
Según la tabla 7, se observa que el inversor que en menor medida cumple con los criterios es el AMC-ISI/27kW ya que este equipo no cuenta con una buena cantidad de MPPT que es determinante para la optimización del sistema, en cuanto al inversor AMC-ISI/20kW se encuentra en desventaja con respecto a los otros ya que su potencia es inferior y disminuye su capacidad de paneles por cadena, por otra parte el inversor TQ-B057-02 solo resalta en la corriente máxima que puede soportar pero en los otros criterios tiene comportamiento estándar sin embargo el inversor TQ-A150N en la mayoría de los criterios resalta y tiene mejores condiciones y requerimientos respecto a los otros inversores

Posteriormente al análisis de los paneles solares y los inversores se procedió a hacer el dimensionamiento del sistema teniendo en cuenta todas las características teóricas que se necesitaron para la implementación y desarrollo del arreglo fotovoltaico.

2.3.2 Potencia del arreglo fotovoltaico teórica (P_{AFVT}).

Por medio del programa Sketchup, se proyectó la cantidad máxima de paneles que cabrían en el área de instalación con la mejor distribución como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Vista de instalación de paneles, Edificio Gregorio XIII.



En la figura 7 se establece la mejor organización y distribución correspondiente a 258 paneles. Mediante la anterior organización (figura 7), se calcula la potencia teórica del sistema mediante la siguiente ecuación:

$$P_{AFVT} = N_{MFVT} * P_{MAX(MFV)} \quad (1)$$

$$P_{AFVT} = 258 * 370 \text{ W} = 95460 \text{ W}$$

Según los anteriores datos se establece que los paneles pueden llegar a producir alrededor de 95,5 kW, teniendo en cuenta la tolerancia y ajustes de separación de los mismos.

2.3.3 Voltaje total del dimensionamiento en condiciones estándar como en corto circuito (V_T) (V_{OCT}).

Es importante conocer qué cantidad de voltaje genera el sistema en condiciones estándar (formula 2) como en condiciones de circuito abierto (formula 3), para trazar un sobredimensionamiento que alerte al sistema al momento de que ocurran dichas irrupciones. De esta manera, los equipos soportarán esta sobrecarga, y por ende el cálculo se formularía a partir de las siguientes ecuaciones:

$$V_T = N_{MFV} * V_{MAX(MFV)} \quad (2)$$

$$V_T = 258 * 31.65 \text{ V} = 8165.7 \text{ V}$$

$$V_{OCT} = V_{OC(MFV)} * N_{MFV} \quad (3)$$

$$V_{OCT} = 40.9 * 258 = 10552.2 \text{ V}$$

2.3.4 Cantidad de paneles por inversor.

Para realizar el cálculo del número de paneles que soporta el inversor seleccionado anteriormente, se debe tener en cuenta la tensión del inversor (1000 Vdc) y el voltaje máximo del módulo expuesto en la ecuación 4.

$$N_{MMI} = \frac{V_{EI}}{V_{MAX(MFV)}} \quad (4)$$

$$N_{MMI} = \frac{1000 \text{ VDC}}{32.5 \text{ VDC}} \approx 32 \text{ paneles}$$

Según la ecuación anterior el inversor soporta 32 paneles en una cadena, sin embargo, están calculados para el voltaje máximo del inversor. Al analizarlo con el voltaje en circuito abierto se observa que superaría la capacidad del inversor, debido a esto se redujo a 24 paneles por cadena

Mediante la fórmula 5 se verifica que el sistema no exceda el voltaje máximo del inversor en condiciones normales, en la fórmula 6 se verifica que no se exceda el voltaje en circuito abierto.

$$V_{EI} = N_{MMI} * V_{MAX(MFV)} \quad (5)$$

$$V_{EI} = 24 * 31.65 \text{ Vdc} = 760 \text{ Vdc}$$

$$V_{EIOC} = N_{MMI} * V_{OC(MFV)} \quad (6)$$

$$V_{EIOC} = 24 * 40.9 \text{ Vdc} = 981.6 \text{ Vdc}$$

2.3.5 Número de cadena y potencia producida por cadenas.

Por consiguiente, se calcula el número de cadenas para el arreglo fotovoltaico, teniendo en cuenta en número de paneles fotovoltaicos y el número máximo de paneles por inversor mediante la siguiente formula.

$$N_C = \frac{N_{MFV}}{N_{MMI}} \quad (7)$$

$$N_C = \frac{258}{24} = 10.75 \approx 11$$

Hay que tener en cuenta que el número de cadenas es de 10.75 sin embargo, se decidió realizar 10 cadenas de 24 paneles y 1 de 18 paneles debido a que la producción de energía producida por los 18 paneles es considerable.

$N_1 = 10$ cadenas

$N_2 = 1$ cadena

Para calcular la potencia generada por cadena completa se expresa mediante la siguiente formula:

$$P_{AFVCC} = N_{MMI} \times P_{MAX(MFV)} \quad (81)$$

$$P_{AFVCC} = 24 \times 370 \text{ Wp} = 8880 \text{ Wp} \quad 2$$

La potencia generada por la cadena incompleta se expresa mediante la siguiente formula.

$$P_{AFVCI} = N_{MF} \times P_{MAX(MFV)} \quad (93)$$

$$P_{AFVCI} = 18 \times 370 \text{ Wp} = 6660 \text{ Wp} \quad 4$$

Para calcular la potencia que generaría todo el sistema se utiliza la subsiguiente formula.

$$P_{AFVTT} = P_{AFVCC} * N_1 + P_{AFVCI} \quad (9)$$

$$P_{AFVTT} = (8880 \text{ Wp} * 10) + 6660 \text{ Wp} = 95.46 \text{ kW}$$

2.3.6 Energía generada diaria, mensual y anual.

Para calcular la energía diaria, mensual y anual es necesario tener en cuenta los datos relacionados en la tabla 7 ya que el dimensionamiento no es ideal y presenta pérdidas.

Tabla No. 8 Datos requeridos para realizar los cálculos de energía.

Datos requeridos para cálculos	
Meses	12,00
Días año	365,00
HSP	4,00
Eficiencia del sistema	0,77

Nota: los valores de las horas solares pico y la eficiencia del sistema se encuentran en anexos.

$$E_{GD} = \text{HSP} * \text{Eficiencia del sistema} * P_{AFVTT} \quad (9)$$

$$E_{GD} = 4,0 * 0,77 * 95.46 \text{ kW} = 294.01 \text{ kW/dia}$$

Finalmente se realiza el cálculo de la potencia que se genera mensual y anualmente mediante las siguientes formulas:

$$E_{GM} = \frac{E_{GD} * \text{días del año}}{\# \text{ de meses}} \quad (10)$$

$$E_{GM} = \frac{294.01 * 365 \text{ días}}{12 \text{ meses}} = 8942.8 \text{ kW}$$

$$E_{GA} = E_{GM} * \text{Días del año.} \quad (11)$$

$$E_{GA} = 294.01 * 365 = 107.31 \text{ MW}$$

Según el desarrollo del dimensionamiento se observa que el sistema llegaría a producir 8942.8 kW mensual, energía que corresponde al 26.62 % del consumo mensual de la torre.

2.3.7 Diagrama unifilar del dimensionamiento fotovoltaico y medidor bidireccional.

Teniendo en cuenta la anterior información se desarrollan los planos de distribución eléctrica, llamados diagramas unifilares (figura 8,9) en los cual se muestran en dos secciones, obteniendo en la figura 8 el diagrama unifilar de la sección DC , el cual señala la referencia del panel y el inversor a utilizar con sus especificaciones técnicas, mostrando que cada inversor puede llegar a albergar hasta 4 cadenas (cada una contiene 24 módulos conectados en serie) y las protecciones independientes de cada cadena antes de entrar al inversor.

La figura 9 muestra la continuación del diagrama unifilar anterior, pero en este se expone a la salida de los 3 inversores (sección AC), en el cual señala las protecciones internas del inversor, y posteriormente pasa por unas protecciones a la salida de cada inversor antes de pasar por el medidor, por último, a la distribución eléctrica.

El diagrama unifilar corresponde a la organización específica según las capacidades y requerimientos de los equipos anteriormente analizados, con el fin que obtener los mayores beneficios del sistema de paneles solares, dejando una guía de conectividad con información técnica de los dispositivos y su debido emparejamiento, con el objetivo de evitar irregularidades a la hora de desarrollar el proyecto.

Entre los aspectos más importantes de la instalación cabe resaltar que el proyecto de paneles es un sistema interconectado a la red eléctrica con un medidor bidireccional el cual nos permite disponer de la energía eléctrica que generan los paneles en el día y en la noche puesto que el sistema no se encontrará en funcionamiento, la planta física estará en funcionamiento por la distribución eléctrica convencional. De esta manera el edificio nunca permanecerá sin suministro eléctrico.

Figura 8. Diagrama unifilar sección DC

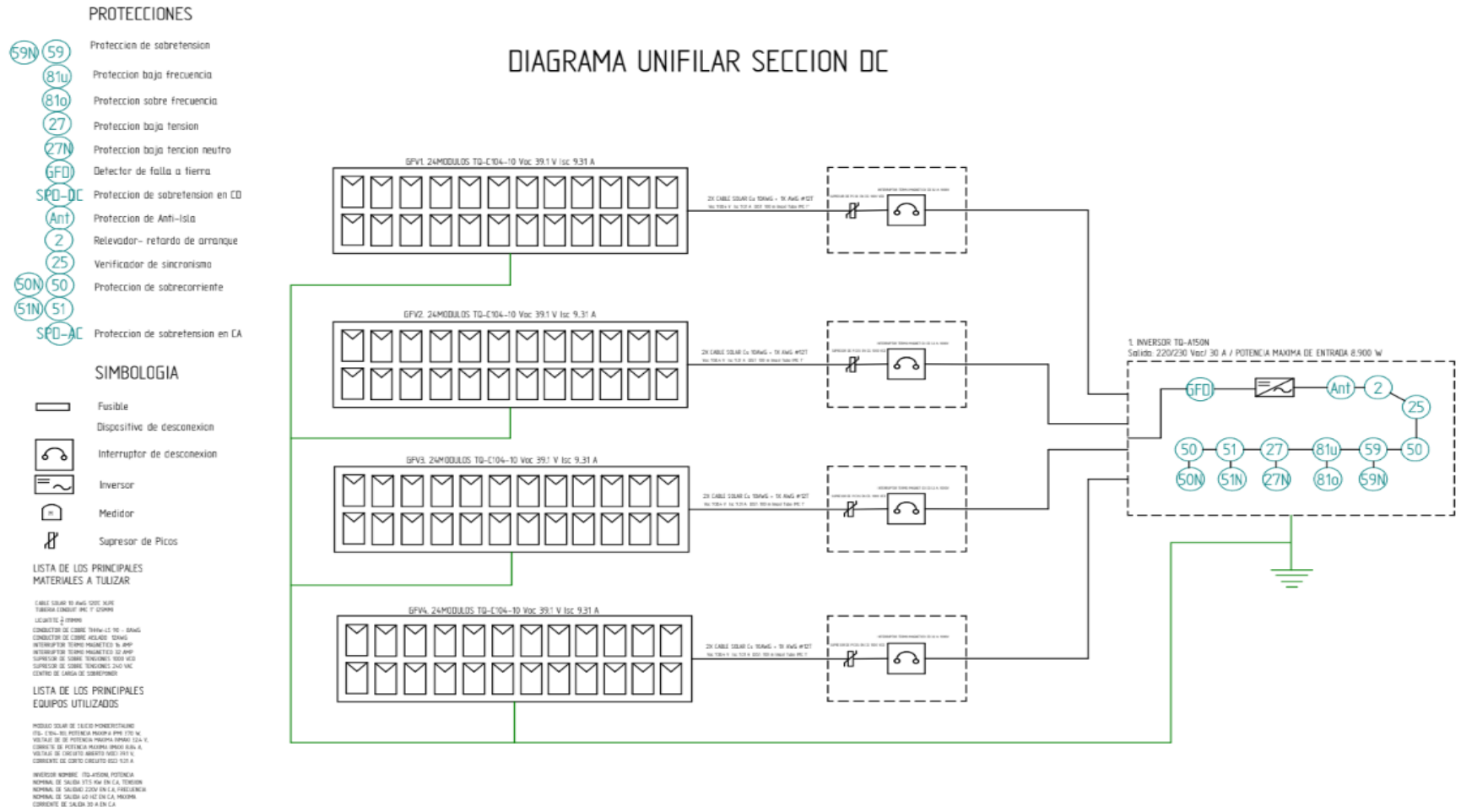


Figura 9. Diagrama unifilar sección AC.

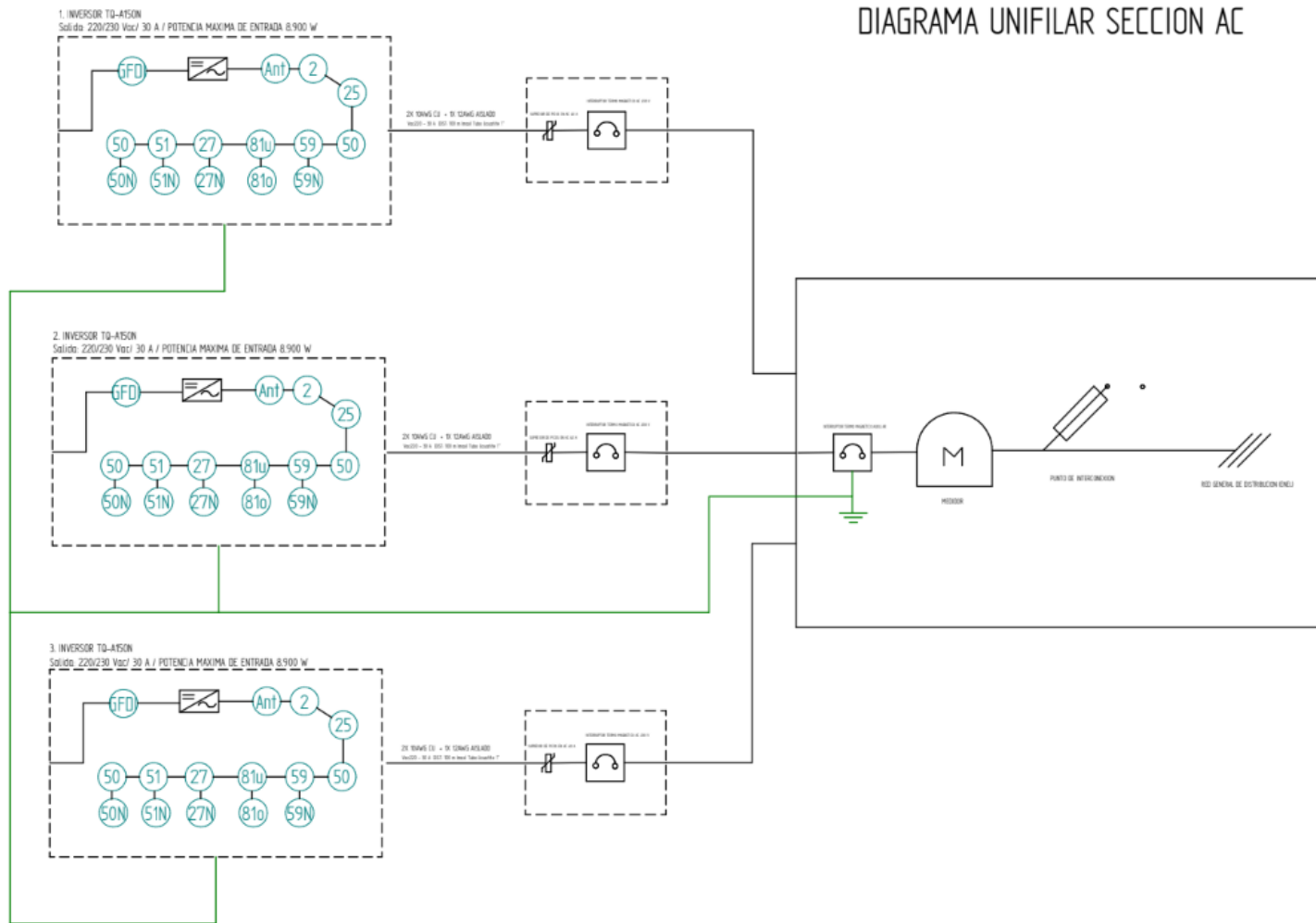
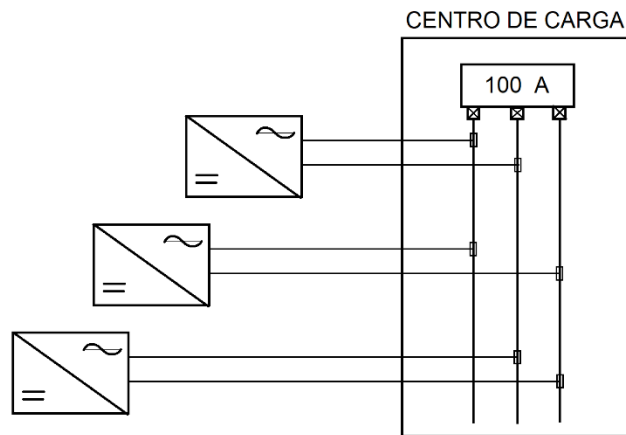


Figura 10. Conexión de los inversores al centro de carga

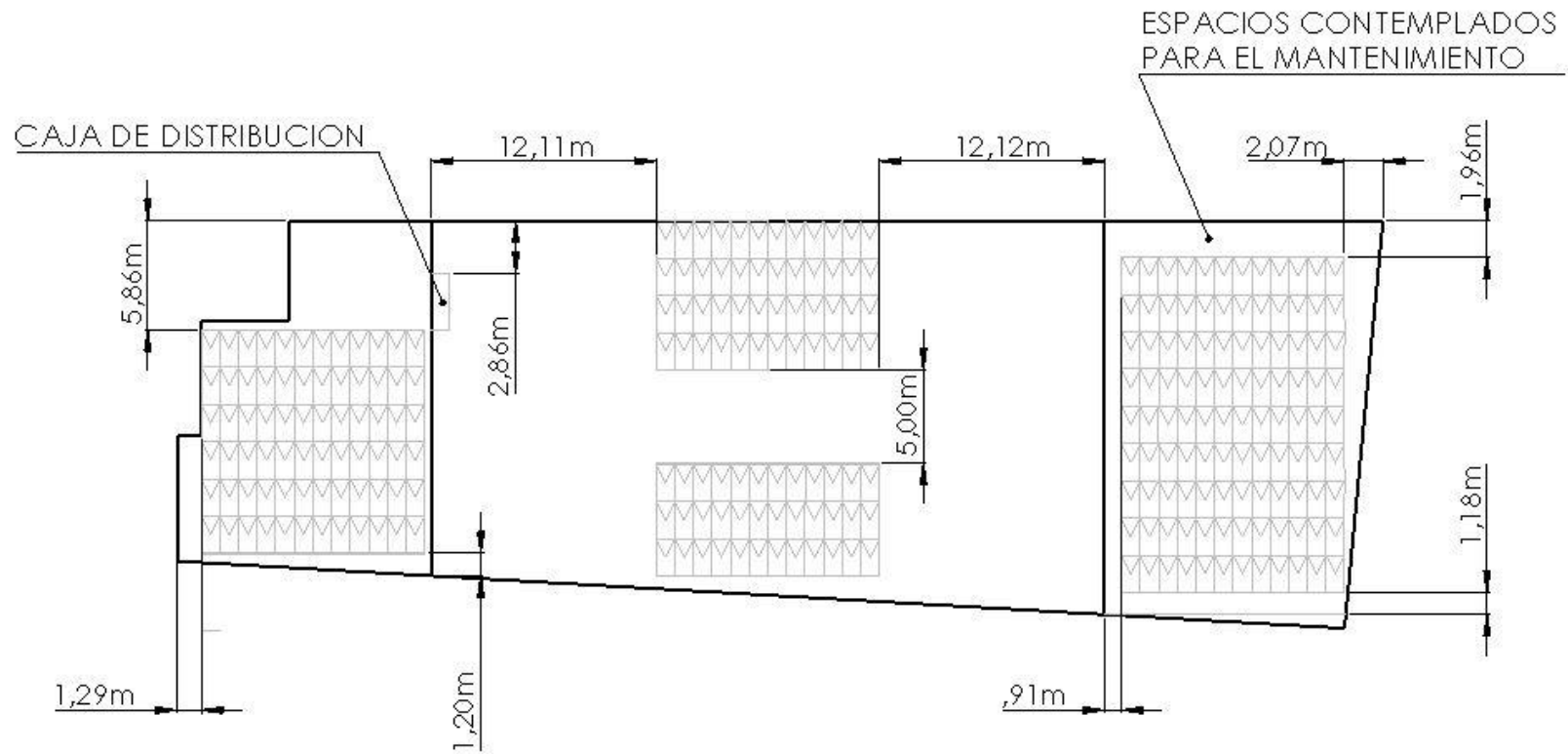


En la figura 10 se observa la correcta distribución de inversores en el centro de carga el cual busca generar un balance en sus conexiones y no sobrecargar las líneas de tensión de la planta física.

2.3.8 Plano a detalle de la instalación fotovoltaica.

Para facilitar la instalación en la figura 11 se muestra de forma detallada la manera en la que tiene que ir ubicados los paneles solares con su respectiva separación, de igual manera donde va a ir ubicada la caja de distribución, por último, los espacios contemplados para realizar el mantenimiento.

Figura 11. Plano detallado de la instalación.



2.4 DISEÑO ALTERNATIVO A FUTURO

Se planteó un diseño alternativo que implica modificaciones estructurales al edificio, pero se podría generar una mayor cantidad de energía solar. Una vez hechos los cálculos del modelo alternativo se determinó que se logra generar casi el 50% del consumo de energía de la torre.

En las figuras 8 y 9 se muestra una estructura en vigas formando un techo dos aguas, con esta se busca captar y generar la mayor cantidad de energía eliminando las sombras que presentaban en el modelo anterior.

Figura 12. Vista isométrica y vista lateral de la instalación de los paneles, Edificio Gregorio XIII.

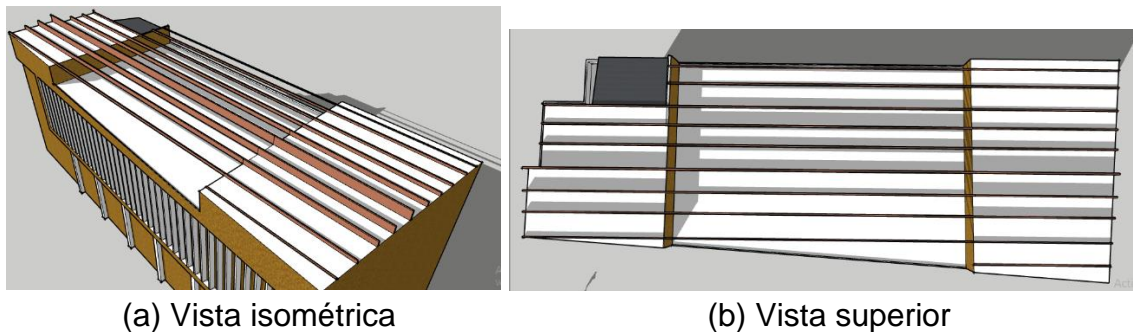
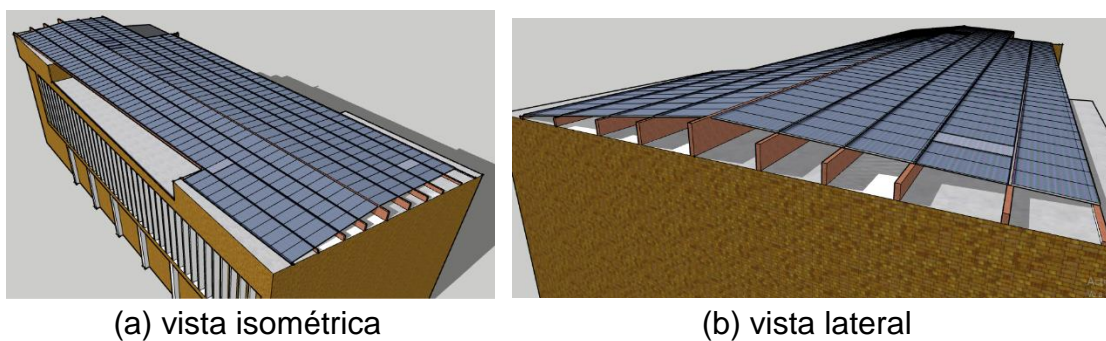
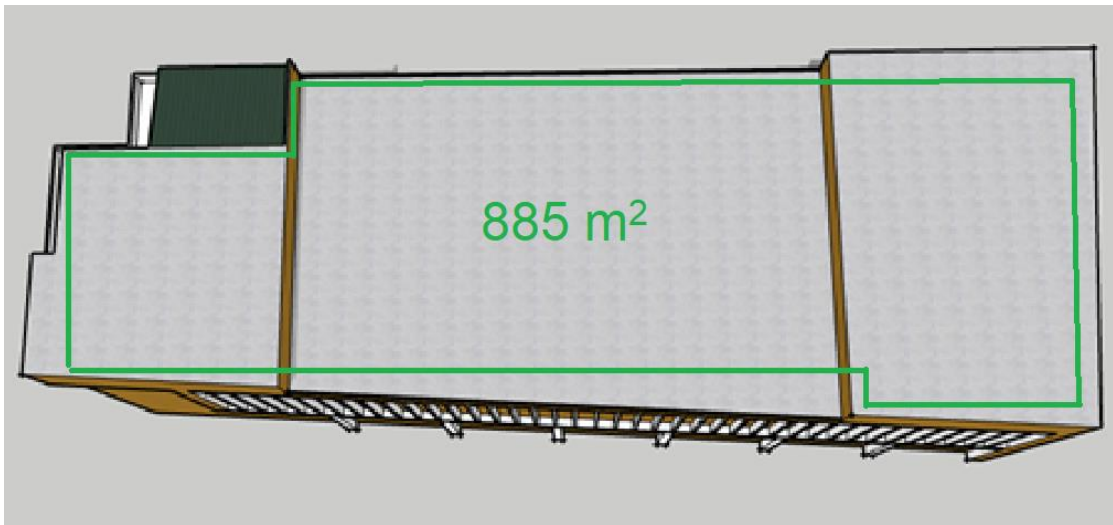


Figura 13. Organización a futuro de paneles solares, Edificio Gregorio XIII.



Con este dimensionamiento se logra aprovechar un área de 885 m² tal como se muestra en la figura 10, dando una capacidad de 398 paneles y generando una energía anual de 159.73 MW.

Figura 14. Área total aprovechar, Edificio Gregorio XIII vista superior.



3 ANÁLISIS ECONOMICO

Se realizó un análisis de los costos de los equipos y elementos necesarios para el desarrollo de la instalación con el fin de conocer el valor de la inversión del proyecto, juntamente con los beneficios que se podrán obtener a la hora de hacer uso de las energías renovables.

3.1 EQUIPOS, ACCESORIOS E INSTALACIÓN.

Según dos cotizaciones realizadas a empresas colombianas en las tablas 9,10 y 11, se desglosarán los equipos, accesorios, diseño e instalación para la implementación del sistema fotovoltaico; de igual manera las cantidades necesarias y el valor comercial de cada uno de ellos.

Tabla No. 9 Valor de equipos.

EQUIPOS	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR
Paneles	TQ-C104-10	258	\$ 430,000	\$ 110'940,000
Inversores	TQ-A150N	3	\$ 22'000,000	\$ 66'000,000
Total				\$ 176'940,000

Tabla No. 10 Valor de instalación y diseño del sistema fotovoltaico.

	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR
Instalación	Metros cuadrados de instalación	573	\$ 30,000	\$ 17'190,000
Diseño	Estudio y planeación	2	\$ 18,000,000	\$ 36'000,000
Mantenimiento	Mantenimiento preventivo a instalación fotovoltaica	573	\$ 17,000	\$ 9'741,000
Total				\$ 62'931,000

Tabla No. 11 . Valor de los accesorios.

ACCESORIOS	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR
Estructura	Por cada 6 paneles solares	43	\$ 680,000	\$ 29'240,000
Sujetadores	End clamp, Mid clamp	600	\$ 3,000	\$ 1'800,000
Uniones de riel	Conexiones de estructuras	90	\$ 6,000	\$ 540,000
Porta Fusible ABB	Porta fusible ABB E 91-32	26	\$ 21,000	\$ 546,000
Fusible ABB	Fusible ABB E 9F15 PV	26	\$ 19,000	\$ 494,000
Gabinetes	Cajas de interconexión	6	\$ 240,000	\$ 1'440,000
Cableado	10 AWG	400	\$ 5,000	\$ 2'000,000
Total				\$ 36'060,000

Según lo observado en la tabla 9, 10 y 11, se puede establecer que el valor total del proyecto es de 275'931.000 COP.

3.1.1 Análisis de consumo de energía del edificio

Considerando que la energía consumida por el edificio Gregorio XIII fue de 33.589 kW en promedio, según la toma de datos de los recibos de energía para el año 2019 y, asumiendo que el consumo del edificio se mantiene el valor de la energía que se tiene mes a mes corresponde a 16'458.610 COP aproximadamente.

3.1.2 Análisis de producción de energía del sistema fotovoltaico

Según la producción de energía del sistema fotovoltaico que corresponde a 8942.8 kW mensual, y teniendo en cuenta que el valor comercial del kWh actual es de 612,44 COP[29], el valor que se ahorra la universidad será de 5'476.928 COP aproximadamente.

Haciendo una correlación de la energía consumida por el edificio Gregorio XIII (considerando que el consumo del edificio es el mismo del año 2019) y la energía que proporciona el sistema de paneles, se determina que el porcentaje de ahorro es de un 26.62 % aproximadamente.

3.1.3 Retorno de inversión

Es de gran importancia establecer el retorno de la inversión de la instalación, la cual se determina a través del valor total del proyecto (\$ 266´190.000 COP) y el valor de la energía proporcionada por el sistema de paneles (\$ 5´476.928 COP).

$$\text{Meses de retorno del dinero} = \frac{\$ 275´931.000 \text{ COP}}{\$ 5´476.928 \text{ COP} * \text{mes}} = 50 \text{ meses} \approx 4 \text{ años} \quad (12)$$

De acuerdo con la fórmula 12 se establece que el retorno de la inversión respecto a la producción de energía del sistema se dará a los 4 años. Pasado los cuatro años del retorno de la inversión, y considerando que la vida útil del panel es de 25 años, se establece que la utilidad total que genera el sistema fotovoltaico es de \$1380´185.856 COP, correspondiente al valor de la energía proporcionada por el sistema (\$ 5´476.928 COP) por el número de años restante que son 21 años.

3.2 BENEFICIOS AMBIENTALES DE LOS PANELES SOLARES

Un panel solar típico ahorra más de 900 kg de dióxido de carbono al año, lo que equivale a un período de amortización del carbono de 1,6 años aproximadamente. Como los paneles solares tienen una vida útil esperada de 25 años, se convierte en uno de los sistemas con mayor rentabilidad y principal beneficio para el planeta teniendo en cuenta que se reducirá la dependencia de energía industrial convencional[30].

En comparación con la electricidad generada del carbón, la energía fotovoltaica utiliza entre un 86 % y un 89 % menos de agua durante su vida útil, ocupa un 80 % menos con respecto a modificaciones naturales, es un 95 % menos tóxica para los humanos, contribuye entre un 92 y un 97 % con la lluvia ácida y entre un 97 y un 98 % menos de eutrofización marina[30].

3.2.1 Reducción de CO₂ a la atmosfera.

Una gran consecuencia de la explotación de combustibles fósiles es que estos procesos convencionales pueden llegar a devastar ecosistemas naturales de vital

importancia. Si los elimináramos o mitigamos con sistemas renovables se evitaría la deforestación y la damnificación de la naturaleza y los animales.

Considerando lo anterior se hizo un análisis de la reducción de CO₂ que tendría el sistema fotovoltaico de la Universidad anualmente respecto su producción. Para la producción de 1 MWh se generan 0,16438 toneladas de CO₂ [22] a la atmosfera.

$$107.31 \text{ MW} * \text{año} \frac{0.16438 \text{ T de CO}_2}{1 \text{ MW}} = 17.64 \text{ T de CO}_2 \text{ anual} \quad (13)$$

$$17.64 \text{ T de CO}_2 \text{ eq anual} \times 25 \text{ años} = 441 \text{ T de co}_2 \text{ eq} \times 25 \text{ años} \quad (14)$$

Con respecto a la fórmula 13 y 14 se establece que el sistema fotovoltaico instalado en la Universidad mitiga 18 toneladas de CO₂ al año y 441 toneladas de CO₂ en la vida útil del panel solar.

3.2.2 Porcentaje reciclable.

No obstante, acabado el ciclo de vida útil de los paneles se pueden reciclar entre un 85% y 90% de los materiales de los cuales están compuestos los paneles solares ya que costa de un 75% de vidrio y 9% de aluminio que son los más relevantes. Otros componentes que integran el panel incluyen silicio en un 3%, cobre 1%, plata 0,16% y una serie de polímeros que comprenden el 16% restante. Haciendo el sistema fotovoltaico, uno de los sistemas renovables con mayores ventajas a la hora de hacer un proyecto y contribuir con el medio ambiente[31].

4 CONCLUSIONES

- Se determina que el edificio C (Gregorio XIII) es el más adecuado para el desarrollo del proyecto, ya que esta edificación es una de las más altas y cuenta con un área efectiva de instalación de 573 m². Gracias al análisis de sombras realizado, se establece que la cantidad de paneles que caben en dicho espacio con la mejor distribución es de 258 paneles.
- Según el diseño y la distribución de los 258 paneles, el sistema llegaría a producir 8942.8 kW mensuales y teniendo en cuenta que el consumo de la torre es de 33.589 kW, se determina que el sistema suple el 26.62% del consumo mensual del edificio.
- Respecto a la cantidad de energía producida por el sistema fotovoltaico que corresponde a 8942.8 kW con un valor de \$5´476.928 COP, y al valor total del proyecto que es \$275´931.000 COP, se establece que el retorno de la inversión se dará a los 4 años.
- Por medio de la implementación de paneles solares y el nivel de energía producida por el proyecto, se establece que el sistema tributa a reducir los niveles de CO₂. Dejando de emitir a la atmósfera 17 toneladas de CO₂ y hasta 441 toneladas de CO₂ en el transcurso de 25 años, contribuyendo así al medio ambiente y al desarrollo sostenible del país.
- De todo lo anterior, se concluye que la viabilidad del proyecto es positiva ya que la Universidad en el transcurso de 25 años se ahorra aproximadamente \$1380´185.856 COP. De igual manera contribuye a la producción de energía renovable y reducción a los altos índices de contaminación por CO₂. Por tal razón, se decidió concentrar el proyecto en soluciones y beneficios para la Universidad, proyectando el uso de energías alternativas en sus espacios y generar un impacto positivo a la comunidad.

5 RECOMENDACIONES

- Previamente a la instalación hacer un análisis de las superficies donde se instalará la estructura ya que existen ciertos materiales que no son favorables, lo ideal es hacer huso de superficies rígidas, estables y en lo posible planas para hacer una mejor sujeción estructural.
- Es de gran importancia dejar diferentes puntos de líneas de vida previamente y después de la instalación del sistema, para el debido mantenimiento de los paneles y seguridad de los operarios a la hora de hacer cualquier tipo de mantenimiento.
- El sistema de paneles será ajustado al techo o placa de forma permanente, por tal razón es de gran importancia que los agujeros realizados a la hora de la instalación no dejen ningún tipo de filtración, para esto se recomienda utilizar sellador en todas las perforaciones.
- El área de paneles solares necesita un sistema de limpieza de por lo menos dos veces al año con el fin de evitar la acumulación de polvo en la superficie de los mismos ya que se causa una reducción de la eficiencia del sistema.
- Se recomienda hacer un control y monitoreo periódicamente del rendimiento los paneles, las conexiones del sistema y funcionalidad de los equipos con el fin de prevenir fallas.

6 ANEXOS

Anexo 1. Área aproximada del edificio A.

En el anexo a se muestra el área aproximada de la torre, la cual fue utilizada para la evaluación del primer criterio al momento de seleccionar el edificio adecuado.



Anexo 2. Área aproximada del edificio B.

En el anexo b se muestra el área aproximada de la torre, la cual fue utilizada para la evaluación del primer criterio al momento de seleccionar el edificio adecuado.



Anexo 3. Área aproximada del edificio F.

En el anexo f se muestra el área aproximada de la torre, la cual fue utilizada para la evaluación del primer criterio al momento de seleccionar el edificio adecuado.



Anexo 4. Techo del edificio A.

El presente anexo muestra la cubierta del edificio a, el cual fue necesario para realizar la evaluación del segundo criterio, analizando las sombras generadas en el transcurso del día.



Anexo 5. Techo del edificio F.

El anexo f muestra el techo del edificio f, el cual fue necesario para realizar la evaluación del segundo criterio, analizando las sombras generadas en el transcurso del día.



Anexo 6. Techo del edificio B.

El presente anexo muestra la cubierta del edificio b, el cual fue necesario para realizar la evaluación del segundo criterio, analizando las sombras generadas en el transcurso del día.



Anexo 7. Recibo energético del edificio Gregorio XIII.

Este documento es necesario para la toma de datos del consumo mensual del edificio en el transcurso de un año, obteniendo así un promedio mensual, de esta manera establecer la cantidad de energía que se puede suplir con la instalación de paneles.



ENERTOTAL SA ESP
ENERGIA TOTAL
NIT 900039901-5




Edificio Santa Mónica Central
Calle 22 Norte No. 6 AN - 24 Piso 8
P8X: (57)(2) 661 82 90 - FAX (57)(2) 660 29 35
Línea Gratuita Nacional 018000 520066
Contact Center (057)(2) 608 47 47
E-mail: servicioalcliente@enertotalesp.com
Santiago de Cali - Colombia

04 JUN 2019 1 0 0 2 7 5 2

FACTURA DE VENTA
No.2572564
Referencia No. 0007157087 - 71

CÓDIGO CLIENTE: 82412

TOTAL A PAGAR: \$19.749.659

PAGUE ANTES DE: 10-06-2019

SUSPENSIÓN DESDE: 17-06-2019

INFORMACIÓN BÁSICA

Nombre: UNIVERSIDAD SANTO TOMAS -I
Dirección cobra: CLL 52 # 9 - 37
Dirección servicio: CLL 52 # 9 - 37

R.E: 40048-2
Teléfono: 5878797
Dpto cobra: CUNDINAMARCA
Dpto servicio: CUNDINAMARCA

Período facturador: **May 01 - May 31, 2019**

Días facturados: **31**

Facturas atrasadas: **0**

Fecha emisión de factura: **03-06-2019**

INFORMACIÓN DEL SERVICIO

Descripción: ESPECIAL EDUCATIVO
Equipo de Medición: CIRCUITOR_501515507
Nivel de Tensión: Nivel de Tensión 1

Operador de Red (O.R.): COOENSA
Tel O.R.: (1) 6016060 / 6015501
Dir O.R.: Carrera 13A # 93-66

IPP Proyectado: 118.86

CONSUMOS HISTÓRICOS DE ENERGÍA

	Actual	Mes2	Mes3	Mes4	Mes5	Mes6	Promedio
Activa [kwh]	40.544	34.656	40.830	36.032	24.485	24.441	33.501
Reactiva [KVarh]	0	0	0	0	0	0	0
Reactiva Penalizada	0	0	0	0	0	0	0

DETALLE DE LIQUIDACIÓN DE ENERGÍA

Componente	Cargos del mes	Notas y Ajustes	Total
Ingresos De Terceros (Transferencias)			\$19.330.869,00
Contribución Enertotal			\$0,00
TOTAL ENERGÍA			\$19.749.659,00

CONSUMOS Y TARIFAS FACTURADAS EN EL MES

Componentes de la Tarifa	\$ / Kwh	\$	
GENERACION (ENERCO S.A. E.S.P. - NIT 805.016.928-1)	\$205,24	\$8.321.001,00	
PERDIDAS A FACTURAR (ENERCO S.A. E.S.P. - NIT 805.016.928-1)	\$35,26	\$1.429.437,00	
STN (XM - NIT 900.042.857-1)	\$40,47	\$1.640.628,00	
STR CENTRO-SUR	\$24,37	\$988.085,00	
SDL (COOENSA-830037248)	\$150,10	\$6.085.432,00	
OTROS CARGOS REGULADOS	\$20,51	\$831.613,00	
COMERCIALIZACION (ENERTOTAL S.A. E.S.P. - NIT 900.039.901-5)	\$10,28	\$416.914,00	
CONTRIBUCION (COOENSA-830037248)	\$0,00	\$0,00	
TOTAL POR ENERGIA ACTIVA	40543	\$486,23	\$19.713.110,00
ENERGIA REACTIVA	0	\$0,00	\$0,00
AJUSTES CARGOS NO REGULADOS			\$72.028,00
AJUSTES CARGOS REGULADOS (*)	STN 0% STR 0% SDL 0% OC 100%		-\$35.479,00
AJUSTES CONTRIBUCION			\$0,00

FACTURACIÓN OTROS COBROS

TOTAL OTROS COBROS \$0,00

FACTURACIÓN OTRAS ENTIDADES

TOTAL OTRAS ENTIDADES \$0,00

VALORES FINANCIADOS EN EL MES

Conceptos	No. Total de Cuotas a Diferir	Valor Total	Conceptos	No. Total de Cuotas a Diferir	Valor Total
TOTAL VALORES FINANCIADOS EN EL MES		\$0,00			\$0,00
Total Financiado a la Fecha		\$0,00	Total Cuotas de Financiaciones		\$0,00

INDICADORES DE CALIDAD DEL SUMINISTRO

Acumulado Primer Trimestre Año 2019

NIU: 428421 CRO (\$/KWH): Grupo: CMp (KWH): Duración: Transf.: Circuito:

ENERTOTAL S.A. ESP. Informa a sus clientes que los derechos económicos derivados del contrato de servicios públicos fueron cedidos de manera irrevocable al Patrimonio Autónomo PAFC-Enerototal NIT No. 830.053.994-4. La entrega de conformidad con la restablecida en la cláusula séptima del Contrato de Condiciones Uniformes. La prestación del servicio continuará en cabeza de ENERTOTAL S.A. ESP.

Acreditación/numeración de facturación No. 1876300/054394 Fecha: 2018/01/09 Vigencia 18 meses. Numeración autorizada: 2000001/0/062674. Somos Acreditados en Ramo según Resolución Dcm No. 0126 de fecha 08/01/2008. Somos autorizados para el Ingreso de Industria y Comercio en el Municipio de Cali según Resolución No. 4133-1-13-2013 de fecha 04 de 2013. Información para el usuario: www.enertotalesp.com

Cierra la llave del agua mientras enjabonas, ábrela sólo para enjuagar. Amplíe información sobre el CODIGO DE DEFENSA en la página Web - El no pago de los consumos de energía cobrados a través de la presente factura, conllevará a la suspensión de servicio de energía, hasta esta decisión proceda los recursos de reposición ante ENERTOTAL S.A. E.S.P. y en subsidio de apelación, los cuales deberán ser presentados dentro de las 5 días siguientes a partir de la entrega de esta factura.

RESUMEN DE FACTURA

Valor Por Energía	\$19.749.659,00
Valor Otros Conceptos	\$0,00
Total Facturado Otros entidades	\$0,00
Total Valores Financiados en el Mes	\$0,00
Total Cuotas de Financiaciones	\$0,00
Alumbrado Público	\$0,00
Rede ICA	\$0,00
Saldo Anterior	\$0,00
Refocturaciones Anteriores	\$0,00
Reclamos	\$0,00
TOTAL A PAGAR	\$19.749.659
Saldo a favor del contrato:	\$0,00
Acumulado Fondo Capitalización:	\$0,00
Pague antes de:	10-06-2019
Suspensión desde:	17-06-2019
Tasa interés Mora:	2,14
A partir de esta fecha se cobrará interés de mora a la tasa máxima permitida por la ley.	
Todo cheque devuelto causa una sanción del 20%.	



ENERTOTAL SA ESP
ENERGIA TOTAL
NIT 900039901-5



(415)7709998007888(8020)0007157087(3900)00000019749659(94)20190610

Energía Comprometida con el Futuro de Nuestro Planeta.

Factura amigable con el medio ambiente, en papel 100% de fibra de caña de azúcar y libre de cloro.



Anexo 8. Ficha técnica de paneles solares TQ-C104-10.

Las características técnicas son de gran importancia ya que brinda información necesaria para un óptimo desarrollo, organización y trabajo del sistema paneles.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICA

MEDIDA	TQ-C104-10	TQ-C103N	TQ-C090-15	TQ-250-17
POTENCIA MÁXIMA (P _{MAX})[W]	370	370	470	480
VOLTAJE DE POTENCIA MÁXIMA (V _{MAX})[V]	31.3-32	31.6-32.4	43.21	51.2
INTENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA (I _{MAX})[A]	8.64-8.91	8.56-8.84	10.84	9.18
VOLTAJE EN CIRCUITO ABIERTO (V _{OC})[V]	38.4-39.1	38.4-39.1	52.14	62.64
INTENSIDAD EN CORTOCIRCUITO (I _{SC})[A]	9.09-9.27	9.04-9.31	11.62	9.71

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

MEDIDA	TQ-C104-10	TQ-C103N	TQ-C090-15	TQ-250-17
CÉLULAS	MONOCRISTALINA	MONOCRISTALINA	MONOCRISTALINA	MONOCRISTALINA
CONECTORES	MC4 COMPATIBLE	MC4 COMPATIBLE	MC4 COMPATIBLE	MC4 COMPATIBLE
CAJA DE CONEXIÓN	TÜV CERTIFICADO	TÜV CERTIFICADO	TUV 1×4.0MM ² (+): 290MM , (-): 145 MM	IP68
CABLEADO	LONGITUD 900MM	LONGITUD 900MM	LONGITUD 1200MM	LONGITUD 1000MM
DIMENSIONES (MM)	A: 1038; B: 1755;c:35	A: 1038; B: 1755;c:35	A: 2182; B: 1029;c:35	A: 1956; B: 1260;c:45
PESO (KG)	20	20	25	22.6
AÑOS DE VIDA ÚTIL	25	25	25	26
CERTIFICACIONES	IEC 61215, IEC 61730	IEC 61215, IEC 61731	IEC 61215, IEC 61730	IEC 61215, IEC 62941

Anexo 9. Ficha técnica de Inversores TQ-A150N.

Las características técnicas son de gran importancia ya que brinda información necesaria para un óptimo desarrollo, organización y trabajo del sistema de inversores.

DATOS TÉCNICOS

Datos de entrada	TQ-A150N	TQ-B057-02	TQ-H003-18	TQ-S199T2
Potencia máxima (kW)	37.5	30	20.6	27
Voltaje máximo (V)	1000	1000	1000	600
Corriente máxima (A)	72	66	25	70
Tensión MPPT	4	2	2	2

Datos de salida	TQ-A150N	TQ-B057-02	TQ-H003-18	TQ-S199T2
Potencia (kW)	37.5	30	20	20
Tensión (V)	240-480	240-480	277-480	240-480
Corriente (A)	30.1	24	29	24
Frecuencia (Hz)	60	60	60	60

Datos generales	TQ-A150N	TQ-B057-02	TQ-H003-18	TQ-S199T2
Dimensiones (mm)	535*966*358	665*650*265	650*550*250	1058*554*215
Peso (Kg)	57.7	55	55	64
Autoconsumo (noche)	<1 W	=1 W	< 1W	<2 W
Humedad relativa (%)	0-100	0-100	4-100	0-95
Eficiencia máxima (%)	98.6	98.5	97.5	97

Anexo 10. Método APH para calcular el peso de cada criterio en los paneles solares.

En la siguiente tabla se establece el método analítico jerárquico, sistema que permite agregarle un valor porcentual a los criterios según su importancia, estableciendo una comparación entre los mismos con el fin de tener un proceso de selección adecuada para los paneles.

METODO ANALITICO JERARQUICO PARA CALCULAR EL PESO DE CADA CRITERIO EN LOS PANELES SOLARES											
	POTENCIA MÁXIMA	INTENSIDAD DE CORTO CIRCUITO	CERTIFICACIONES	TENSIÓN	ÁREA	PESO	A	A/PESO	IC	IA	RC
Potencia máxima	1.00	5.00	5.00	3.00	3.00	0.45	2.49	5.59135451	0.09638239	1.188	0.08112996
Intensidad de corto circuito	0.20	1.000	5.00	1.00	0.33	0.14	0.71	5.25513238			
Certificaciones	0.20	0.200	1.00	0.33	0.33	0.06	0.29	5.20594202			
Tensión	0.33	1.0000	3.00	1.00	0.33	0.12	0.66	5.27530518			
Área	0.33	3.000	3.00	3.00	1.00	0.24	1.33	5.59991368			
Total	2.07	10.20	17.00	8.33	5.00	5.38552955					

Anexo 11. Método APH para calcular el peso de cada criterio en los inversores.

En la siguiente tabla se establece el método analítico jerárquico, sistema que permite agregarle un valor porcentual a los criterios según su importancia, estableciendo una comparación entre los mismos con el fin de tener un proceso de selección adecuada para los inversores.

METODO ANALITICO JERARQUICO PARA CALCULAR EL PESO DE CADA CRITERIO EN INVERSORES INTERCONECTADOS											
Producir la máxima energía	POTENCIA MÁXIMA	AÑOS DE FUNCIONAMIENTO	EFICIENCIA	CORRIENTE MÁXIMA	MPPT	PESO	A	A/PESO	IC	IA	RC
Potencia máxima	1.00	3.00	2.00	2.00	0.33	0.24	1.31	5.40109121	0.08437756	1.188	0.07102488
Años de funcionamiento	0.33	1.000	2.00	0.50	0.33	0.11	0.58	5.18412887			
Eficiencia	0.50	0.500	1.00	0.33	0.33	0.08	0.45	5.36842163			
Corriente máxima	0.50	2.0000	3.00	1.00	1.00	0.22	1.16	5.18590744			
Mppt	3.00	3.000	3.00	1.00	1.00	0.34	1.88	5.54800206			
Total	5.33	9.50	11.00	4.83	3.00	5.33751024					

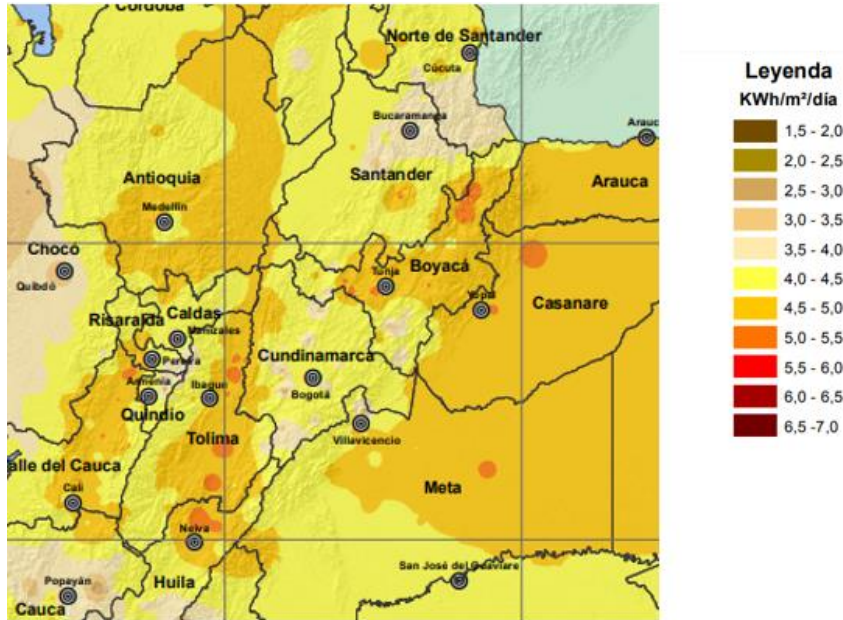
Anexo 12. Rango de evaluación según matriz PUGH.

La siguiente tabla muestra los diferentes criterios y los rangos de selección, para determinar cuál es la mejor opción para el proyecto, en cuanto a paneles e inversores según la metodología PUGH.

Criterio	-1	0	1
Área aprovechar	250 m ² a 500 m ²	501 m ² a 1000 m ²	1001 m ² a 1500 m ²
Cantidad de sombras que afectan el espacio	Nivel de sombra alta	Nivel de sombra media	Nivel de sombra baja
Acceso a la zona de instalación	Accesibilidad baja	Accesibilidad media	Accesibilidad alta
Requisitos legales	Tiene requisitos que impiden la instalación	-	No tiene requisitos que impiden la instalación
Nivel de prioridad asignada	Prioridad alta	Prioridad media	Prioridad baja
Potencia máxima	Entre 360 A y 365 A		Entre 365 A y 370 A
Intensidad de corto circuito	Menor a 9.09 A	Entre 9.10 A y 9.20 A	Mayor a 9.21 A
Certificaciones	Sin certificado		Con certificado
Parámetros eléctricos	Entre 42.1 v y 44 v	Entre 40.1v y 42 v	Entre 38 v y 40 v
Área del panel	Entre 1.94 m ² y 2.04 m ²	Entre 1.83 m ² y 1.93 m ²	Entre 1.73 m ² y 1.82 m ²
Potencia máxima	Entre 20 kW y 25 kW	Entre 25 kW y 30 kW	Entre 30 kW y 35 kW
Años de funcionamiento optimo	Entre 0 años y 5 años	Entre 5 años y 10 años	Entre 10 años y 15 años
Eficiencia	Entre 98.0 % y 98.3%	Entre 98.4% y 98.6%	Entre 98.7% y 99%
Corriente máxima	Entre 20 A y 44 A	Entre 45 A y 64 A	Entre 65 A y 84 A
Maximum Power Point Tracking	Entre 0 MPPT y 1 MPPT	Entre 2 MPPT y 3 MPPT	Entre 3 MPPT y 4 MPPT

Anexo 13. Horas solares pico en Bogotá [32].

Este anexo muestra las horas solares pico y su intensidad según el punto geográfico, con el fin de establecer la capacidad energética que tiene el punto donde se desee desarrollar el proyecto.



Anexo 14. Reducción de capacidad según “National Renewable Energy Laboratory”[33].

En la siguiente tabla se muestra el factor de degradación de los componentes de la instalación y sus diferentes rangos, dando así un valor de eficiencia para el sistema.

Componentes	Factor de Degradación	Rango
Tolerancias C.D. según placa de datos	0.95	0.80 - 1.05
Inversor y transformador	0.92	0.88 - 0.98
Disparidad de módulos	0.98	0.97 - 0.995
Diodos y conexiones	0.995	0.99 - 0.997
Cableado en DC	0.98	0.97 - 0.99
Cableado en AC	0.99	0.98 - 0.993
Suciedad en módulos	0.95	0.30 - 0.995
Disponibilidad del sistema	0.98	0.00 - 0.995
Sombreado	1	0.00 - 1.00
Instalación adecuada (orientación)	1	0.95 - 1.00
Envejecimiento	1	0.70 - 1.00
FACTOR NREL (degradaciones totales)	0.77	

Anexo 16. Cotización de central de aluminios.

En el anexo 16 se muestra la cotización brindada por la compañía Central De Aluminios, empresa en la cual fueron cotizadas las estructuras de los paneles, los elementos de sujeción y los elementos de unión de riel.

Bogotá 17 de Mayo de 2021

Señor(es):

YOR HAUWER OROZCO

REF. COTIZACION

Atendiendo su solicitud ponemos a consideración la siguiente propuesta para el suministro de materiales. Debido al requerimiento de dicha obra solicitada por el contratante.

CANT.	PRODUCTO	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
43	Sistema de estructura por cada 6 paneles solares	571.428	24.571.404
600	Elemento de sujeción para paneles solares (End Clamp, Mid Clamp)	2.521	1.512.600
90	Elemento de unión de riel para conexión estructural de paneles solares	5.042	453.780
		SUBTOTAL	26.537.784
		IVA	5.042.178
		TOTAL	31.579.962

VALOR TOTAL..... \$ 31.579.962

FORMA DE PAGO: Pendiente definir.

TIEMPO DE ENTREGA: Pendiente por definir

Agradecemos de antemano haber sido tenidos en cuenta por ustedes para el desarrollo de su proyecto.

Cordialmente.



Reg. COMUN NIT: 5861528-9

www.centraldealuminios.com

e-mail centraldealuminiosapa@gmail.com

AV ABASTOS CR 80 # 57 A 61 SUR TEL: 796 32 49 – 310 775 4659

Anexo 18. Cotización de parte eléctrica.

En el anexo 18 se muestra la cotización brindada por Electric Center La 18, empresa en la cual fueron cotizados los componentes eléctricos requeridos para la instalación.



MATERIAL ELECTRICO INDUSTRIAL
LEIDY AVILA RAMIREZ
 NIT 53.010.258-9
 Calle 18 No 12 - 38 PBX: 286 1524 / 3162571425
 e-mail: electriccenter1870@hotmail.com
 BOGOTA D.C.

CLIENTE : BRAVO HAMILTON
DIRECCION : CL 135 93 B 85
CIUDAD : BOGOTA
VENDEDOR : AVILA RAMIREZ LEIDY
TEL : 30235539472

COTIZACION

No. 2100162

FECHA: mm/dd/aa
 11/05/2021

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	DESCTO	SUBTOTAL
CABPRO0004	MTR CABLE AWG #10	1.00	4,200	0.00	4,200
ABBPRO0030	PORTA FUSIBLE ABB E 91-32	1.00	17,650	0.00	17,650
ABBPRO0007	FUSIBLE ABB E 9F15PV	1.00	16,000	0.00	16,000
VEHPRO0060	GABINETE METALICO	1.00	201,700	0.00	201,700
OBSERVACIONES :			SUBTOTAL		239,550
PRECIOS SUJETOS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO			DESCUENTO	0.00 %	0
			I.V.A.	19.00 %	45,514
			VALOR TOTAL		285,064

Para realizar pagos según negociación por favor consignar a la cuenta corriente bancolombia 053.857.917-44

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] IRENA “International Renewable Energy Agency,” “Climate Change.” <https://www.irena.org/climatechange> (accessed Mar. 03, 2020).
- [2] EL ESPECTADOR, “Al año Colombia emite 237 millones de toneladas de CO2 hacia la atmósfera - ELESPECTADOR.COM,” Sep. 25, 2019. <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/al-ano-colombia-emite-237-millones-de-toneladas-de-co2-hacia-la-atmosfera-articulo-882932> (accessed Mar. 03, 2020).
- [3] UPME “Unidad de Planeación Minero Energetica,” *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. 2015.
- [4] LR“La Republica”, “Meta de capacidad instalada de fuentes renovables no convencionales es de 1.500 MW a 2022,” Mar. 20, 2019. <https://www.larepublica.co/especiales/minas-y-energia-marzo-2019/meta-de-capacidad-instalada-de-fuentes-renovables-no-convencionales-es-de-1500-mw-a-2022-2841810> (accessed Mar. 03, 2020).
- [5] El Espectador, “Se fortalece la energía solar en Colombia - ELESPECTADOR.COM,” Apr. 07, 2019. <https://www.elespectador.com/economia/se-fortalece-la-energia-solar-en-colombia-articulo-849271> (accessed Mar. 03, 2020).
- [6] Energema, “Departamento Renovables Hora Solar Pico (Hsp),” pp. 1–8, 2014.
- [7] Oriol Planas, “Efecto fotovoltaico,” 2020. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico> (accessed Mar. 24, 2020).
- [8] Significados, “Significado de Energía solar (Qué es, Concepto y Definición) - Significados.” <https://www.significados.com/energia-solar/> (accessed Mar. 11, 2021).
- [9] IDEAM, “CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN SOLAR - IDEAM.” <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar> (accessed May 09, 2022).

- [10] TODO FOTOVOLTAICA, “INVERSORES DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. ¿QUE ES EL MPPT? - Todo Fotovoltaica,” 2020. <https://www.todofotovoltaica.com/inversores-de-energia-solar-fotovoltaica-que-es-el-mpp-o-mppt/> (accessed May 06, 2022).
- [11] AutoSolar, “¿Qué es un string en una instalación?,” Jan. 04, 2022. <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-string> (accessed Jan. 13, 2022).
- [12] Mheducation, “Componentes de una instalación solar fotovoltaica 1,” 2019.
- [13] Delta Volt, “Paneles Solares, Tipos y Eficiencias - Energía solar y eólica en Peru.” <https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares> (accessed Mar. 24, 2020).
- [14] Selectra, “Definición de inversor y tipos de inversores ,” Mar. 04, 2021. <https://selectra.es/autoconsumo/info/componentes/inversor-solar> (accessed Mar. 11, 2021).
- [15] CCEEA, “¿Cómo funciona el medidor bidireccional de CFE? - CCEEA,” 2019. <https://ccee.co/blog/energia-solar-fotovoltaica/como-funciona-el-medidor-bidireccional-de-cfe> (accessed Mar. 11, 2021).
- [16] Bussmann, “Protección de circuitos solares completa y fiable,” 2014.
- [17] CONGRESO DE COLOMBIA, “LEY 1715 DE 2014 (Mayo 13) Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.,” 2014. .
- [18] Comision de Regulacion de Energia y Gas CREG, “Resolución No. 30 de mayo de 2018,” *Mme.* p. 13, 2018, [Online]. Available: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/\\$FILE/Creg030-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/$FILE/Creg030-2018.pdf).
- [19] CELSIA, “BENEFICIOS DE IMPLEMENTAR SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS,” Sep. 2018. <https://blog.celsia.com/new/normatividad-energia-solar-empresas-colombia/> (accessed May 09, 2022).
- [20] D. N. de P. DNP, “Ley 1955 del 25 de mayo de 2019 - Plan Nacional de Desarrollo,” *D. Of.*, no. 50964, pp. 1–472, 2019.

- [21] Masters in Solar, “¿Cuál es el ángulo de inclinación óptimo de los paneles solares?” 2021. <https://mastersinsolar.es/base-de-conocimiento/blog-energia-solar/cual-es-el-angulo-de-inclinacion-optimo-de-los-paneles-solares/> (accessed May 09, 2022).
- [22] M. Tenés Hernández, “Cálculo del factor de eficacia,” *Ing. Quim.*, vol. 34, no. 396, pp. 127–132, 2002.
- [23] Gonzalez Rodrigo, “Matriz de Pugh,” 2012. <https://www.pdcahome.com/2569/matriz-de-pugh-ayuda-a-la-toma-de-decisiones/> (accessed May 09, 2022).
- [24] TRINA SOLAR, “Trina Solar.” <https://www.trinasolar.com/es/our-company> (accessed Apr. 07, 2020).
- [25] Enel Green Power, “PARQUE SOLAR EL PASO,” Apr. 08, 2019. <https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/d/2019/04/planta-fotovoltaica-el-paso-colombia-puesto-marcha> (accessed Apr. 07, 2020).
- [26] Enel Green Power, “Energía renovable para el futuro.” <https://www.enelgreenpower.com/es/sobre-nos> (accessed Apr. 07, 2020).
- [27] SEMANA, “Universidad Santo Tomás se suplirá de energía solar,” 2018. <https://www.semana.com/pais/articulo/universidad-santo-tomas-aumenta-su-sistema-de-energia-solar/257169/> (accessed Mar. 11, 2021).
- [28] Alcaldía mayor de Bogotá, “Decreto Distrital 606-2001,” 2001.
- [29] ENEL-CODENSA, “Tarifario de energía 2022.” .
- [30] V. M. Fthenakis, “Beneficios ambientales de los paneles solares : Aportes al mundo,” 2008. <https://panellisolarifv.com/beneficios-ambientales-de-los-paneles-solares/> (accessed May 11, 2022).
- [31] CAMBIO ENERGÉTICO, “EL RECICLAJE DE LAS PLACAS SOLARES ,” 2019. <https://www.cambioenergetico.com/blog/reciclaje-placas-solares/> (accessed May 11, 2022).
- [32] Atlas, “Atlas Interactivo - Radiación IDEAM.” <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html> (accessed Mar. 24, 2020).
- [33] National Renewable Energy Laboratory, “Calculator PVWatts.”

<http://rredc.nrel.gov/solar/calculators/PVWATTS/derate.cgi> (accessed Apr. 13, 2018).