

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS		Código	FO-GS-15
			VERSIÓN	02
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		FECHA	03/04/2017
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): FABIÁN YECID APELLIDOS: FERREIRA CHACÓN

NOMBRE(S): JOHN DANI APELLIDOS: TORRADO MIRANDA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): CRISTIAN LEONARDO APELLIDOS: TARAZONA CELIS

CO-DIRECTOR:

NOMBRE(S): JULIÁN APELLIDOS: FERREIRA JAIMES

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EVALUACIÓN TECNICO-ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA COLEGIO NUESTRA SEÑORA DE BELÉN SEDE PRINCIPAL CÚCUTA

RESUMEN

Este proyecto se basó en la evaluación técnico-económica de un sistema de generación solar fotovoltaico para la institución educativa colegio nuestra señora de belén sede principal Cúcuta. Para ello, se implementó una investigación documental. La información se obtuvo mediante artículos científicos y bases de datos acerca de diseño de sistemas fotovoltaicos. La población y muestra correspondió a la institución educativa colegio nuestra Señora de Belén sede principal Cúcuta. Se logró establecer el lugar de instalación del sistema solar fotovoltaico para realizar una configuración conforme al área de trabajo disponible y su respectivo estudio de radiación solar. Posteriormente, se dimensionó el sistema fotovoltaico acorde a la energía que se puede suministrar bajo la norma vigente. Finalmente, se desarrolló un estudio de factibilidad económico entre un sistema solar fotovoltaico conectado a la red y un sistema solar fotovoltaico autónomo.

PALABRAS CLAVE: evaluación técnico-económica, generación solar fotovoltaico, energía renovable.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 152 PLANOS: ILUSTRACIONES: CD ROOM: 1

Copia No Controlada

EVALUACIÓN TECNICO-ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICO PARA LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA COLEGIO NUESTRA SEÑORA
DE BELÉN SEDE PRINCIPAL CÚCUTA

FABIÁN YECID FERREIRA CHACÓN

JOHN DANI TORRADO MIRANDA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

EVALUACIÓN TECNICO-ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICO PARA LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA COLEGIO NUESTRA SEÑORA
DE BELÉN SEDE PRINCIPAL CÚCUTA

FABIÁN YECID FERREIRA CHACÓN

JOHN DANI TORRADO MIRANDA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Electromecánico

Director:

Msc.IE. CRISTIAN LEONARDO TARAZONA CELIS

Codirector:

IE. PhD JULIÁN FERREIRA JAIMES

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

**ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO
MODALIDAD TRABAJO DIRIGIDO**

FECHA: 27 de agosto de 2021

HORA: 08:00 A.M

LUGAR: Sustentación Virtual

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO: “EVALUACIÓN TECNICO-ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA COLEGIO NUESTRA SEÑORA DE BELÉN SEDE PRINCIPAL CÚCUTA”.

JURADOS: Mgs: GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTINEZ
Mgs: GERMAN ENRIQUE GALLEGO RODRIGUEZ

DIRECTOR: Mgs: CRISTIAN LEONARDO TARAZONA CELIS

CODIRECTOR: PhD: JULIAN FERREIRA JAIMES

APROBADA

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	CÓDIGO	CALIFICACIÓN
FABIÁN YECID FERREIRA CHACÓN	1091237	4,2
JOHN DANI TORRADO MIRANDA	1091255	4,2

FIRMA DE LOS JURADOS

_____ 

_____ 

VOBO. COORDINADOR COMITÉ CURRICULAR

_____ 



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta,

Señores
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS
Ciudad

Cordial saludo:

Fabián Yecid Ferreira Chacón con C.C N° 1.005.340.495 de los Patios y John Dani Torrado Miranda con C.C N° 1.093.791.815 de los Patios autores de la tesis y/o trabajo de grado titulado EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA COLEGIO NUESTRA SEÑORA DE BELÉN SEDE PRINCIPAL CÚCUTA presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de ingeniero electromecánico, autorizamos a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que “**los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores**”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Fabian Yecid Ferreira C.
Fabián Yecid Ferreira Chacón
C.C 1.005.340.495


John Dani Torrado Miranda
C.C 1.093.791.815

Contenido

	pág.
Introducción	20
1. Problema	21
1.1 Título	21
1.2 Planteamiento del Problema	21
1.3 Formulación del problema	22
1.4 Justificación del Problema	23
1.5 Objetivos	24
1.5.1 Objetivo general	24
1.5.2 Objetivos específicos	25
1.6 Alcances y Delimitaciones	25
1.6.1 Alcances	25
1.6.2 Delimitaciones	25
2. Marco Referencial	27
2.1 Antecedentes	27
2.1.1 Internacionales	27
2.1.2 Nacionales	28
2.2 Marco Teórico	29
2.2.1 Mapa de radiación solar en Colombia	30
2.2.2 Métodos directos	31
2.2.3 Instalaciones solares fotovoltaicas autónomas	32
2.2.4 Instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red	32
2.2.5 Elementos de una instalación solar fotovoltaica	32

2.2.6 Célula solar	33
2.2.7 Panel solar	34
2.2.7.1 Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células y son fundamentalmente	34
2.2.8 Análisis de las tecnologías de los paneles solares	35
2.2.9 Funcionamiento los paneles solares fotovoltaicos	35
2.2.10 Paneles monocristalinos de celdas de silicio	36
2.2.11 Ventajas de los paneles solares monocristalinos	36
2.2.12 Desventajas de los paneles monocristalinos	37
2.2.13 Paneles policristalinos de silicio	38
2.2.14 Ventajas de los paneles policristalinos	38
2.2.15 Desventajas de los paneles policristalinos	39
2.2.16 Paneles solares fotovoltaicos de capa fina	39
2.2.17 Ventajas de los paneles fotovoltaicos de capa fina	40
2.2.18 Desventajas de los paneles de capa fina	40
2.2.19 Categorías de módulos de capa fina	41
2.2.20 Paneles solares flexibles	42
2.2.21 Tipos de paneles fotovoltaicos según el rendimiento	43
2.2.22 Los datos eléctricos más importantes de un panel fotovoltaico	43
2.2.23 Panel monocristalino vs policristalino - estudios científicos del comportamiento con temperatura	44
2.2.24 Componentes que lo forman	47
2.2.25 Eficiencia energética	47
2.2.26 Tecnologías de paneles solares	48

2.2.26.1 Células PERC (passivated emitter rear cell/ célula trasera del emisor pasivado)	48
2.2.26.2 Half-Cell	49
2.2.26.3 Multi Bus Bar (MBB)	50
2.2.26.4 Módulos bifaciales	50
2.2.27 Tecnologías de marcas propias con alto rendimiento	52
2.2.27.1 Serie NeON de LG	52
2.2.27.2 Panasonic HIT	53
2.2.27.3 SunPower	54
2.2.28 Otras tecnologías	55
2.2.28.1 AH60 de Abora paneles híbridos	55
2.2.29 Nuevas tecnologías de alto rendimiento	56
2.2.30 Regulador	59
2.2.31 Acumuladores (baterías)	59
2.2.32 Inversor	60
2.2.33 Factibilidad	61
2.3 Marco Contextual	61
2.4 Marco Legal	62
2.4.1 La CREG.	62
2.4.2 Capítulo 1 Condiciones para la integración	63
2.4.2.1 Artículo 4. Integración de los generadores distribuidos y autogeneración de pequeña escala al SIN	63
2.4.2.2 Artículo 5. Estándares técnicos de disponibilidad del sistema en el nivel de tensión 1	63

2.4.3 Capítulo 2 Condiciones para la conexión	63
2.4.3.1 Artículo 7. Condición para conectarse como AGPE o GD	63
2.4.4 Capítulo 3 Condiciones para la medición	63
2.4.4.1 Artículo 13. Sistema de medición para AGPE y GD	63
3. Diseño Metodológico	65
3.1 Tipo de Investigación	65
3.2 Técnicas de Recolección de Datos	65
3.3 Fuentes de Información	65
3.4 Actividad y Metodología	66
3.4.1 Actividad 1	66
3.4.1.1 Metodología	66
3.4.2 Actividad 2	66
3.4.2.1 Metodología	67
3.4.3 Actividad 3	67
3.4.3.1 Metodología	67
3.4.4 Actividad 4	67
3.4.4.1 Metodología	68
4. Desarrollo de la Propuesta	69
4.1 Datos Propuestos	69
4.2 Análisis de la Información	70
4.3 Descripción del Consumo	71
4.4 Radiación Solar en el Municipio de Cúcuta	72
4.5 Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico	77
4.5.1 Sistema On gris	77

4.5.2 Selección del panel	78
4.5.3 Cálculo del número de paneles utilizando la ecuación 1	79
4.5.4 Cálculo de la potencia del inversor	79
4.5.5 Cálculo de la potencia fotovoltaica	80
4.5.6 Selección del inversor	80
4.5.7 Cálculo de paneles en serie mínimo	81
4.5.8 Cálculo de paneles en serie máximo	82
4.5.9 Cálculo de número de series de paneles en paralelo	83
4.5.10 Cálculo de voltaje máximo del campo de paneles	83
4.5.11 Cálculo de voltaje mínimo del campo de paneles	84
4.5.12 Corriente máxima del campo de paneles	84
4.5.13 Cableado	85
4.5.14 Cable centelsa fotovoltaico tipo PV XLPE 2000V	86
4.5.15 Cálculo del conductor de panel a inversor	86
4.5.16 Cálculo del conductor de inversor a tablero principal	87
4.5.17 Tubería	88
4.5.18 Tubería Conduit	89
4.5.19 Tubería para conductores	89
4.5.20 Protecciones	90
4.5.20.1 Protecciones de panel a inversor	90
4.5.21 Cálculo de fusible	91
4.5.22 Protecciones de inversor a tablero principal	91
4.5.23 Sistema de puesta a tierra	92
4.5.24 Esquema de conexiones sistema On gris	92

4.5.25 Diagrama unifilar del sistema On gris	93
4.6 Dimensionamiento Sistema Off Grid	94
4.6.1 Cálculo del número total de paneles	95
4.6.2 Cálculo de la potencia del inversor	95
4.6.3 Cálculo de la potencia fotovoltaica	95
4.6.4 Selección del inversor	95
4.6.5 Cálculo de paneles en serie mínimo	96
4.6.6 Cálculo de paneles en serie máximo	96
4.6.7 Cálculo de número de series de paneles en paralelo	97
4.6.8 Cálculo de voltaje máximo del campo de paneles	97
4.6.9 Cálculo de voltaje mínimo del campo de paneles	98
4.6.10 Corriente máxima del campo de paneles	98
4.6.11 Cálculo de las baterías	98
4.6.12 Cálculo de baterías en serie y paralelo	99
4.6.13 Conductores	100
4.6.14 Cálculo del conductor de panel a inversor	100
4.6.15 Cálculo de los conductores de controlador a baterías	101
4.6.16 Cálculo de los conductores de baterías a inversor	101
4.6.17 Cálculo del conductor de inversor a tablero principal	101
4.6.18 Tubería para conductores	101
4.6.19 Protecciones	102
4.6.20 Sistema de puesta a tierra	103
4.6.21 Esquema de conexiones sistema Off gris	103
4.6.22 Diagrama unifilar sistema Off gris	104

4.7 Distancia Entre Paneles	105
4.7.1 Ubicación de paneles	107
4.8 Factibilidad Económica	112
4.8.1 Valor presente neto	112
4.8.2 Tasa interna de retorno (TIR)	113
4.8.3 Depreciación	114
4.8.3.1 Beneficio real	115
4.9 Análisis Económico	115
4.9.1 Costo del kilovatio hora (\$/KW-h)	115
4.9.2 Costo final del proyecto	118
4.9.3 Ingresos	119
4.9.4 Costos de operación y mantenimiento	120
4.9.5 Depreciación	120
4.9.6 Beneficio real	122
4.10 Evaluación de la Inversión	124
4.10.1 Análisis retorno de la inversión	124
4.10.2 Valor presente neto (VPN) y Tasa interna de retorno (TIR)	126
4.11 Presupuesto	129
5. Conclusiones	132
Referencias Bibliográficas	134
Anexos	142

Lista de Figuras

	pág.
Figura 1. Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia	30
Figura 2. Sistema conectado a red (a) e instalación fotovoltaica autónoma (b)	31
Figura 3. Elementos de una instalación solar fotovoltaica	32
Figura 4. Estructura de la célula solar	33
Figura 5. Constitución de un panel solar. Se destacan sus principales características	34
Figura 6. Diferencias entre paneles según la tecnología de fabricación	35
Figura 7. Panel solar fotovoltaico monocristalino	36
Figura 8. Panel solar fotovoltaico policristalino	38
Figura 9. Panel solar fotovoltaico de capa fina	40
Figura 10. Temperatura Células silicio monocristalino a lo largo de un año	45
Figura 11. Temperatura células silicio policristalino a lo largo del año	45
Figura 12. Eficiencia panel monocristalino, policristalino y amorfo	46
Figura 13. Célula estándar vs Célula PERC	49
Figura 14. Esquema de una célula con tecnología Half-Cut	50
Figura 15. Esquema panel bifacial	51
Figura 16. Panel solar NeON LG	53
Figura 17. Panel Panasonic HIT vs Panel convencional	54
Figura 18. Panel convencional vs Panel de SunPower	55
Figura 19. Panel solar híbrido	56
Figura 20. Degradación anual panel convencional vs Panel Maxisol	58
Figura 21. Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica	59
Figura 22. Acumuladores para instalaciones fotovoltaicas	60

Figura 23. Diferentes tipos de inversores	60
Figura 24. Vista aérea de la institución educativa colegio Nuestra Señora de Belén	61
Figura 25. Irradiación global horizontal anual	73
Figura 26. Irradiación promedió anual por ENERGIE	74
Figura 27. Ubicación Colegio Nuestra Señora de Belén	75
Figura 28. Radiación Solar Promedio	76
Figura 29. Radiación mensual a diferentes ángulos	77
Figura 30. Cable centelsa para diferentes calibres	86
Figura 31. Cable sentelsa fotovoltaico para diferentes calibres	88
Figura 32. Diámetro de tubería según la sección y número de conductores (RETIE)	89
Figura 33. Conexión de componentes para sistema fotovoltaico conectado a la red	93
Figura 34. Diagrama simplificado de sistema fotovoltaico conectado a la red	94
Figura 35. Conexión de componentes para sistema fotovoltaico aislado	104
Figura 36. Diagrama simplificado de sistema fotovoltaico aislado	105
Figura 37. Separación de placas (Espitia, 2017)	106
Figura 38. Colegio Nuestra Señora de Belén en 3D	108
Figura 39. Visualización zonas verdes Colegio Nuestra Señora de Belén	108
Figura 40. Ubicación del área seleccionada para los paneles	109
Figura 41. Trayectoria del sol 06:00 am	110
Figura 42. Trayectoria del sol 11:30 am	110
Figura 43. Trayectoria del sol 03:00 pm	111
Figura 44. Ubicación de paneles solares	112
Figura 45. Variación del costo de KW-h (Mayo 2019-Mayo 2021)	116

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. Características eléctricas	44
Tabla 2. Características eléctricas totalizador general	69
Tabla 3. Consumo eléctrico	70
Tabla 4. Consumo eléctrico sala de informática	71
Tabla 5. Consumo diario de energía eléctrica	71
Tabla 6. Comparativa de paneles en el mercado	78
Tabla 7. Datos eléctricos panel LR4-72HPH LONGI	79
Tabla 8. Comparativa de inversores On grid en el mercado	81
Tabla 9. % de caída de tensión admisible	85
Tabla 10. Datos eléctricos panel LR4-72HPH LONGI	94
Tabla 11. Comparativa de inversores Off grid en el mercado	95
Tabla 12 Depreciación	114
Tabla 13. Historial del costo de la energía CENS	116
Tabla 14. Proyección del costo del KW-h con el 7.5% de incremento	118
Tabla 15. Presupuesto final del sistema fotovoltaico	119
Tabla 16. Ahorro sistema On grid y Sistema Off grid	119
Tabla 17. Costo operación y mantenimiento del 3%	120
Tabla 18. Depreciación sistema On grid	121
Tabla 19. Depreciación sistema Off grid	122
Tabla 20. Beneficio real sistema On grid	123
Tabla 21. Beneficio real sistema Off grid	124
Tabla 22. Retorno de inversión sistema On grid	125

Tabla 23. Retorno de inversión sistema Off grid	126
Tabla 24. VPN-TIR sistema On grid	127
Tabla 25. VPN-TIR sistema Off grid	128
Tabla 26. Lista de materiales sistema On grid	130
Tabla 27. Lista de materiales sistema Off grid	131

Lista de Anexos

	pág.
Anexo 1. Consumo del auditorio	143
Anexo 2. Ficha técnica panel solar	144

Resumen

Este proyecto se basó en la evaluación técnico-económica de un sistema de generación solar fotovoltaico para la institución educativa colegio nuestra Señora de Belén sede principal Cúcuta. Para ello, se implementó una investigación documental, ya que consistió en el apoyo de fuentes de carácter documental, esto es, en documentos de cualquier especie. La información se obtuvo mediante de libros, artículos científicos y tesis, mediante una revisión bibliográfica en bibliotecas y bases de datos acerca de diseño de sistemas fotovoltaicos, de redes energéticas y de energía solar. La población y muestra correspondió a la institución educativa colegio nuestra Señora de Belén sede principal Cúcuta. Se logró determinar la carga demandada por la institución para realizar un diseño fotovoltaico acorde a la necesidad y las normativas vigentes. Seguidamente, se estableció el lugar de instalación del sistema solar fotovoltaico para realizar una configuración conforme al área de trabajo disponible y su respectivo estudio de radiación solar. Posteriormente, se dimensionó el sistema fotovoltaico acorde a la energía que se puede suministrar bajo la norma vigente determinando las características de los elementos a utilizar. Finalmente, se desarrolló un estudio de factibilidad económico entre un sistema solar fotovoltaico conectado a la red y un sistema solar fotovoltaico autónomo para seleccionar la opción más viable.

Abstract

This project was based on the technical-economic evaluation of a photovoltaic solar generation system for the educational institution Colegio Nuestra Señora de Belén, Cúcuta headquarters. For this, a documentary investigation was implemented, since it consisted of the support of documentary sources, that is, in documents of any kind. The information was obtained through books, scientific articles and theses, through a bibliographic review in libraries and databases about the design of photovoltaic systems, energy networks and solar energy. The population and sample correspond to the educational institution Colegio Nuestra Señora de Belén, Cúcuta headquarters. It was possible to determine the load demanded by the institution to carry out a photovoltaic design according to the need and current regulations. Next, the place of installation of the photovoltaic solar system was established to make a configuration according to the available work area and its respective study of solar radiation. Subsequently, the photovoltaic system was sized according to the energy that can be supplied under the current standard, determining the characteristics of the elements to be used. Finally, an economic feasibility study was developed between a grid-connected solar photovoltaic system and an autonomous solar photovoltaic system to select the most viable option.

Introducción

El siguiente proyecto tiene como finalidad el diseño de un sistema de generación solar fotovoltaico, el cual se realizó a partir voltaje (V), corriente (A) y potencia (W) datos obtenidos del proyecto de grado titulado “Diagnóstico de las instalaciones eléctricas en la institución educativa colegio Nuestra Señora de Belén” (Cuadros & Villada, 2017).

Mediante cálculos pertinentes se realizó la selección correcta de cada uno de los elementos a utilizar en sistemas fotovoltaicos On grid y sistemas fotovoltaicos Off grid, dejando una propuesta guía para el colegio Nuestra Señora de Belén el cual se encuentra ubicado en una zona urbana, con la posibilidad de una implementación a futuro dando beneficio a la institución como pioneros en la implementación de sistemas fotovoltaicos renovales.

Se realizó la evaluación técnico-económica de cada sistema fotovoltaico estudiados en el desarrollo del proyecto dando como conclusión en cuanto a costos y beneficios la selección del sistema fotovoltaico On grid el cual su funcionamiento es el más apropiado para zonas urbanas donde se cuenta con el abastecimiento y disponibilidad de energía eléctrica por parte de la empresa comercializadora CENS.

1. Problema

1.1 Título

EVALUACIÓN TECNICO-ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA COLEGIO NUESTRA SEÑORA DE BELÉN SEDE PRINCIPAL CÚCUTA.

1.2 Planteamiento del Problema

La institución educativa colegio Nuestra Señora de Belén sede principal ubicada en la calle 26 # 27-60 barrio Belén de Cúcuta, su actual infraestructura hoy en día cuenta con 14 aulas de clase cada una con 4 ventiladores, auditorio que tiene 2 aires acondicionados de 24.000 BTU, zona administrativa que tiene 1 aire acondicionado de 24.000 BTU y 1 aire acondicionado de 12.000 BTU, salón de profesores que cuenta con 1 aire acondicionado de 12.000 BTU, sala de informática que posee 1 aire acondicionado de 24.000 BTU y 1 aire acondicionado de 12.000 BTU, biblioteca entre otros. La sede trabaja doble jornada y se evidenció que los sectores que generan mayor consumo de energía eléctrica para brindar un mejor ambiente a la comunidad estudiantil, docentes, secretarias y demás personal que labora en la institución son: el área administrativa, auditorio, biblioteca y la sala de informática.

En la Institución Educativa Colegio Nuestra Señora de Belén cada año aumenta la población estudiantil, la ampliación de las instalaciones en infraestructura y la dotación de equipos, debido a esto la institución tiene un alto consumo de energía eléctrica que representa un alto costo de dinero que se debe pagar mensualmente por la alcaldía municipal.

Actualmente Colombia es un país que goza de riqueza en recursos naturales su distribución y utilización ha hecho de estos un uso poco eficiente en hidroeléctricas y combustibles fósiles por la generación eléctrica de energía convencional contaminada y limitada del sistema interconectado para cumplir con la demanda eléctrica del país, en Colombia la emisión de dióxido de carbono hoy en día es de 168.34 gramos de CO₂ por KWh esta es la principal fuente de contaminación que contribuye al aumento del efecto invernadero y a su vez el calentamiento global.

El sector eléctrico colombiano ha venido generando estrategias por medio de entes reguladores como: Ministerio de Minas y Energía (MME), la Unidad de Planificación Minero Energética (UPME) y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para mejorar las condiciones de abastecimiento y disponibilidad de energía eléctrica de carácter renovable.

Con el análisis estadístico de la radiación solar en la ciudad de Cúcuta, se puede inferir que la ciudad de Cúcuta tiene un gran potencial de radiación solar, contando con una insolación media de 5.335 KWh/m² día (bajo una distribución normal), comparado con el promedio de radiación solar de Colombia que es de 4,5 KWh/m² día, y el promedio mundial de 3,9 KWh/m² día. Además, se pudo observar en las gráficas y en la información suministrada en los resultados, que la radiación solar global en la ciudad de Cúcuta permite hacer una explotación energética de este potencial solar a través del aprovechamiento por energía térmica y por fotovoltaica (Mora, Pineda & Sepúlveda, 2018).

1.3 Formulación del problema

¿Es sustentable técnica y económicamente sustituir la alimentación del sistema eléctrico de la Institución Educativa Colegio Nuestra Señora de Belén, de CENS por un sistema de generación

solar fotovoltaico?

1.4 Justificación del Problema

El uso de las fuentes de energía no convencionales es una tendencia creciente cada año, debido a que se ha centrado en la utilización de estos recursos naturales para la implementación de energía limpia no contaminante e ilimitada a partir de la luz solar que es una fuente de energía con un gran potencial energético, inagotable y natural, con el uso de esta fuente renovable se busca disminuir la contaminación de medio ambiente y la reducción de emisión de CO₂, según Mauricio Sarria, CEO de la italiana Refeel (dedicada a las energías renovables), un sistema con paneles solares puede hacer que el costo del kilovatio baje hasta 70%. Esto significa que no solo se disminuye el costo del recibo de la luz, sino que genera una reducción de más de 50% en sus emisiones de carbono.

La Ley 1715 de 2014 tiene por 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. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2014, p.1)

En busca de un beneficio económico y contribuyendo con el medio ambiente, el colegio Nuestra Señora de Belén quiere optar por la utilización de las energías renovables y las nuevas tecnologías para el abastecimiento de demanda eléctrica en la institución, promoviendo el desarrollo auto sostenible y la reducción de costos a pagar por los servicios prestados de la

empresa distribuidora de energía eléctrica en la región CENS.

Ser pionero de las fuentes de energía no convencionales trae como beneficios según la ley 1715 de 2014 la deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta, la depreciación acelerada, exclusión de bienes y servicios de IVA y exención de gravámenes arancelarios. Además de estos beneficios también están los de reducir la demanda en la red eléctrica, reducción de fuentes de energías convencionales y larga vida útil del sistema.

Los paneles solares aprovechan la energía del sol para la generación de energía renovable, limpia y no contaminante, lo cual contribuye a un desarrollo sostenible y mediante diferentes aplicaciones puede aprovecharse de la siguiente manera: venderse a la empresa que distribuye la energía eléctrica, en distintos lugares donde no se cuenta con el servicio de energía eléctrica convencional, en sitios donde el consumo de energía es muy elevado para la reducción de costos en electricidad y entre otros.

Este proyecto tuvo como finalidad realizar una propuesta en la cual se planteó una posible solución a la problemática central de la institución mediante la aplicación de la anteriormente mencionada energía solar fotovoltaica.

En conclusión, se realizó el análisis para desarrollar el diseño de un sistema de generación solar fotovoltaico que sea sustentable técnica y económicamente para el colegio Nuestra Señora de Belén.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general. Evaluar técnica y económicamente un sistema de generación solar fotovoltaico para la institución educativa colegio Nuestra Señora de Belén sede principal Cúcuta.

1.5.2 Objetivos específicos. Los objetivos específicos se plantean a continuación:

Determinar la carga demandada por la institución para realizar un diseño fotovoltaico acorde a la necesidad y las normativas vigentes.

Establecer el lugar de instalación del sistema solar fotovoltaico para realizar una configuración conforme al área de trabajo disponible y su respectivo estudio de radiación solar.

Dimensionar el sistema fotovoltaico acorde a la energía que se puede suministrar bajo la norma vigente determinando las características de los elementos a utilizar.

Desarrollar un estudio de factibilidad económico entre un sistema solar fotovoltaico conectado a la red y un sistema solar fotovoltaico autónomo para seleccionar la opción más viable.

1.6 Alcances y Delimitaciones

1.6.1 Alcances. La realización del proyecto brinda información detallada sobre el diseño de un sistema de generación solar, realizando un análisis de cada uno de los componentes que abarca el sistema fotovoltaico, dejando una propuesta argumentada con la posibilidad de ser implementada a futuro por la institución, contribuyendo con el medio ambiente, el calentamiento global y reducción de costos en energía eléctrica.

1.6.2 Delimitaciones. La realización del proyecto se dio en la sede principal de la institución educativa colegio Nuestra Señora de Belén ubicada en el barrio belén de Cúcuta Norte de Santander, así mismo el diseño solo se aplicó a las áreas de interés específicas como lo son: la biblioteca, auditorio y sala de informática.

El desarrollo del proyecto se ejecutó en un periodo de 4 meses a partir de la aprobación del mismo por el comité del programa de ingeniería electromecánica.

El proyecto va dirigido a la comunidad del sector, estudiantes, docentes, administrativos y demás personal que permanecen en la institución durante la jornada de estudio y trabajo.

2. Marco Referencial

2.1 Antecedentes

Uno de los problemas al que nos enfrentamos actualmente es la contaminación del medio ambiente por el uso continuo de combustibles fósiles que generan elevados niveles de dióxido de carbono CO₂, para la obtención de energía eléctrica. Una solución a esta problemática es la energía solar, “el sol es una fuente renovable, no contaminante y disponible en todo el planeta. Por cada 100 KW de potencia solar instalada se evita la emisión de 75.000 kg de CO₂ al año” (Gana Energía, 2019, p.1).

La luz solar es gratis, infinita y fácilmente accesible, gracias a ello se realizan estudios y trabajos con sistemas fotovoltaicos:

2.1.1 Internacionales. En su “Proyecto de instalación solar fotovoltaica para bloque de viviendas” Tabascar (2016). Plantea el cálculo y diseño de las etapas de una instalación fotovoltaica, teniendo en cuenta costos y normatividad vigente, así como el ahorro que producirá dicha instalación. El trabajo está dividido en 4 capítulos. El capítulo 1 denominado “memoria” donde está plasmado toda la teoría que usara para la realización del proyecto, el segundo llamado “pliego de condiciones” se incluyen las características técnicas legales de los materiales como de la normativa a los que refiere, haciendo la instalación una instalación que garantice una seguridad tanto para el instalador como para el usuario, el tercero “planos” el objetivo es plasmar todos los planos que intervienen en la instalación solar fotovoltaica y el ultimo capitulo “presupuesto” donde está plasmado el estudio económico del proyecto.

Tanto los costes de los materiales como los costes de instalación son para una única vivienda. Para adaptarlo al objetivo del proyecto, el total habrá que multiplicarlo por 4.

Igualmente Gustavo (2014), con su proyecto llamado “Estudio, diseño e implementación de un sistema de energía solar en la comuna puerto roma de la isla Mondragón del golfo de Guayaquil, provincia de guayas” donde plantean el estudio, diseño e implementación de una instalación fotovoltaica para una comuna vulnerable la cual no cuenta con los servicios básicos necesarios para una vida digna.

El trabajo consta de 4 capítulos, en el primero se encuentra plasmado toda la teoría, en el segundo el estudio de la situación eléctrica actual de la comuna, el tercero encontramos el diseño del sistema de energía solar fotovoltaico de la comuna y en el último encontramos la implementación del sistema solar fotovoltaico.

2.1.2 Nacionales. A nivel nacional Guevara & Pérez (2015) en su estudio “Análisis de viabilidad del suministro de energía eléctrica a la granja la fortaleza ubicada en melgar-Tolima mediante la implementación de un sistema solar fotovoltaico” muestran los resultados del análisis de la viabilidad técnica, financiera y ambiental de un sistema solar fotovoltaico conectado a red, tomando como punto de partida la demanda energética de la granja, la disponibilidad del recurso solar y costos por el uso de la energía solar fotovoltaica.

Se realizó un análisis financiero y evaluaron los beneficios ambientales de sustituir el suministro energético actual por energía solar. Se concluye que la instalación del sistema solar fotovoltaico es viable para las condiciones climáticas diagnosticadas como radiación solar, temperatura y precipitación del lugar y las condiciones técnicas requeridas.

De acuerdo con los resultados del análisis financiero, el ahorro por costo de electricidad no es suficiente para amortizar la inversión.

Del mismo modo Acero & Puentes (2019), en su proyecto “Guía metodológica para la implementación y selección de paneles solares fotovoltaicos para edificios y viviendas en la ciudad de Bogotá D.C.” en este proyecto se desarrolla una guía metodológica para la implementación y selección de paneles para lograr que más edificios y viviendas de la ciudad de Bogotá obtén por implementar esta tecnología. Con esto se busca orientar brindar información necesaria, clara y didáctica para que pueda ser leída por cualquier persona sin conocimiento técnico, que, a través de la lectura y los gráficos, puedan entender cómo se genera la electricidad, como funciona, como se aplica y como se distribuye a partir de los paneles solares fotovoltaicos.

2.2 Marco Teórico

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del Sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014).

Como sabemos Colombia está muy cerca de la línea ecuatorial, en medio de una vasta franja conocida como zona intertropical, es decir, entre el trópico de Cáncer al norte y el trópico de Capricornio al sur. Allí la radiación solar alcanza sus picos máximos y se mantienen sin grandes altibajos a lo largo de todo el año. Sin embargo, la radiación solar no es uniforme.

2.2.1 Mapa de radiación solar en Colombia. Es un conjunto de mapas donde se representa la distribución espacial del potencial energético solar de Colombia; en estos mapas se establece el valor promedio diario de radiación solar global, brillo y radiación ultravioleta solar que incide sobre una superficie plana por metro cuadrado.

Desde el año 2002 el IDEAM y la UPME han venido trabajando en la elaboración de un Atlas de radiación solar figura 1, para todo el territorio nacional. Como fruto del esfuerzo de sus investigaciones se han publicado dos versiones impresas del Atlas y ahora han creado una página web donde se pueden consultar fácilmente los datos obtenidos (Energía Solar Colombiana, 2004).

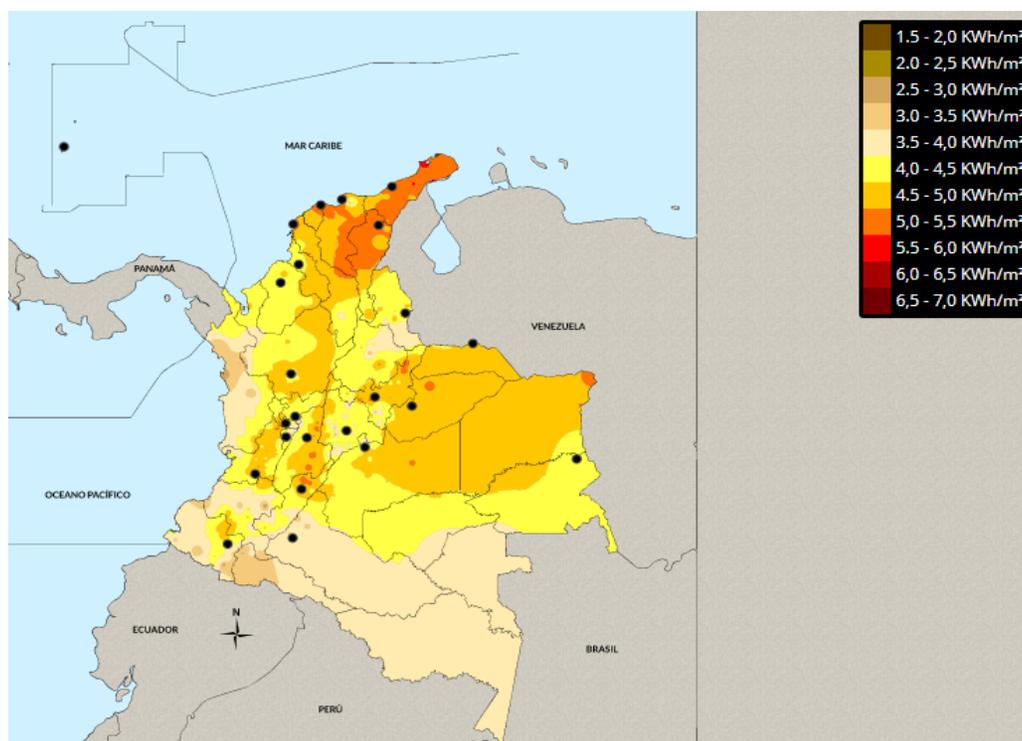


Figura 1. Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia

Fuente: IDEAM, 20201.

El fundamento de la energía solar fotovoltaica es el efecto fotoeléctrico o fotovoltaico, es un tipo de energía renovable que se obtiene de la radiación solar para generar electricidad.

El proceso de conversión de la energía solar a energía eléctrica se consigue a través de ciertos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. (Energía Fotovoltaica, 2014, p.1)

Los siguientes conceptos se realizaron en base al archivo Mheducation (2020), unidad 1.

2.2.2 Métodos directos. La luz del sol es convertida directamente a electricidad mediante el uso de células solares, se distingue entre sistemas conectados a red y sistemas aislados en la figura 2.

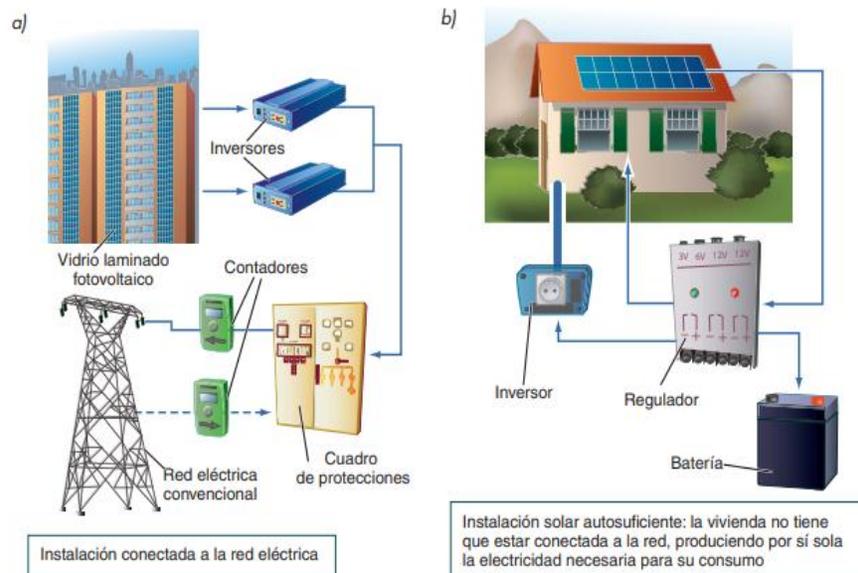


Figura 2. Sistema conectado a red (a) e instalación fotovoltaica autónoma (b)

Fuente: Mheducation, 2020.

2.2.3 Instalaciones solares fotovoltaicas autónomas. Producen electricidad sin ningún tipo de conexión con la red eléctrica, a fin de dotar este de energía al lugar donde se encuentren ubicadas.

2.2.4 Instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red. Las instalaciones de energía solar fotovoltaica conectadas a la red eléctrica son instalaciones donde la energía generada se vierte directamente a la red eléctrica. Este tipo de instalación de energía solar funciona como si fuera una central de producción de electricidad.

2.2.5 Elementos de una instalación solar fotovoltaica. Los elementos de una instalación solar fotovoltaica (ISF) se ajustan al esquema mostrado en la figura 3.

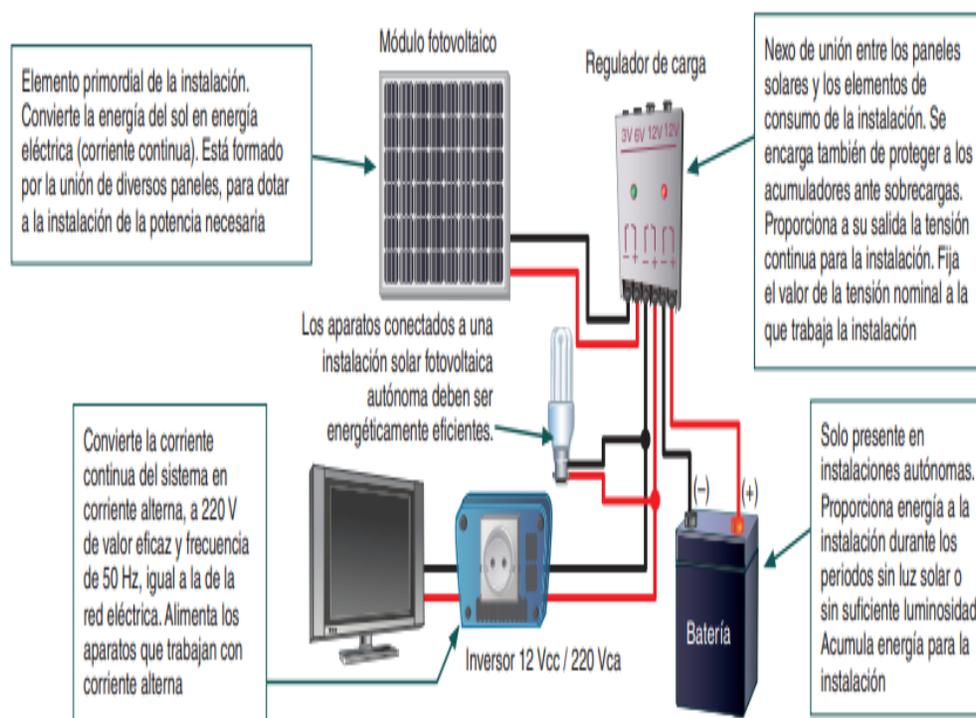


Figura 3. Elementos de una instalación solar fotovoltaica

Fuente: Mheducation, 2020.

2.2.6 Célula solar. El elemento principal de cualquier instalación de energía solar es el generador. Se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz solar, su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico.

Una célula solar se comporta como un diodo: la parte expuesta a la radiación solar es la N, y la parte situada en la zona de oscuridad, la P. Los terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor figura 4.

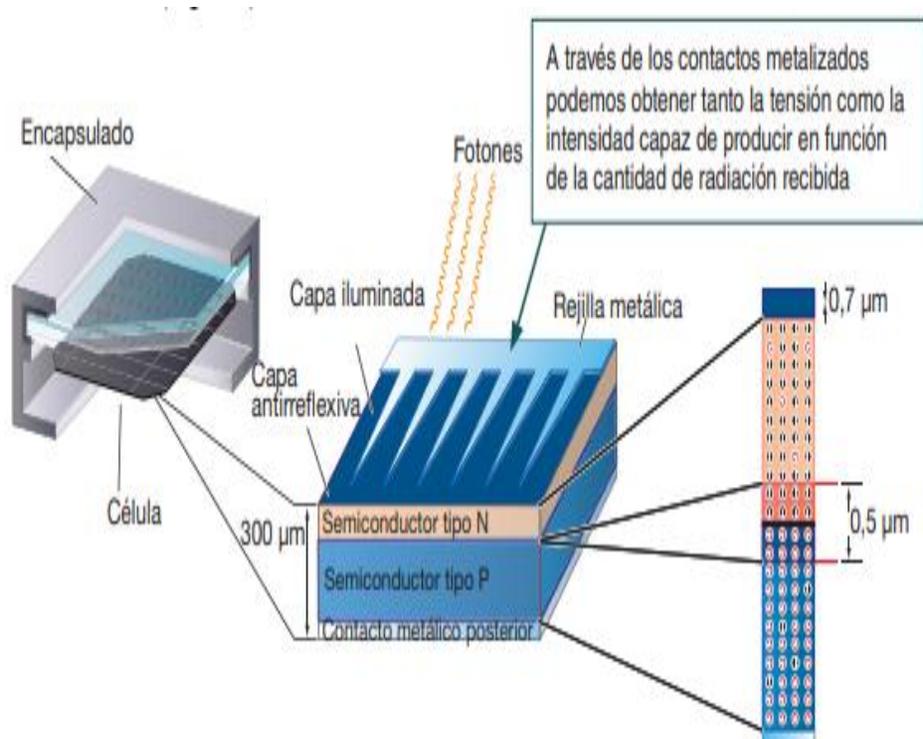


Figura 4. Estructura de la célula solar

Fuente: Mheducation, 2020.

2.2.7 Panel solar. Un panel solar está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua y se diseña para valores concretos de tensión (6V, 12V, 24V...).

En la figura 5 se destacan las principales características de todo panel solar y puede verse un esquema típico de su construcción.

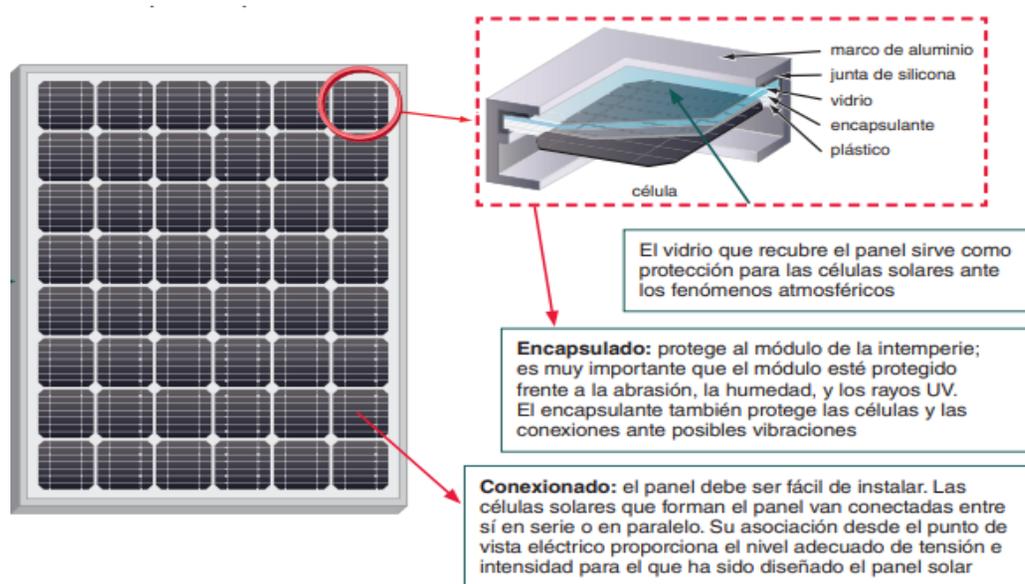


Figura 5. Constitución de un panel solar. Se destacan sus principales características

Fuente: Mheducation, 2020.

2.2.7.1 Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células y son fundamentalmente:

Silicio cristalino monocristalino.

Silicio cristalino policristalino.

Silicio amorfo.

En la figura 6 podemos observar las diferencias que existen entre ellos.

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocrystalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, 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.

Figura 6. Diferencias entre paneles según la tecnología de fabricación

Fuente: Mheducation, 2020.

2.2.8 Análisis de las tecnologías de los paneles solares. Existen dos tipos de paneles solares: los paneles solares fotovoltaicos, que generan electricidad por reacciones químicas, y los paneles solares térmicos, aquellos que utilizan la energía del sol para calentar agua, y permiten utilizar el agua caliente para la obtención de energía o para su uso doméstico.

2.2.9 Funcionamiento los paneles solares fotovoltaicos. Los paneles solares fotovoltaicas funcionan mediante la incidencia de los rayos solares sobre su superficie, lo que obliga a que estos estén correctamente orientados en todo momento hacia el Sol para captar toda la luz posible. Esta luz transmite energía a los electrones, lo que provoca que estos se separen de protones y neutrones y sean liberados del panel en forma de electricidad.

Existen varios tipos de paneles solares fotovoltaicos: de silicio puro monocristalino, de silicio puro policristalino, de silicio amorfo, de arseniuro de galio, de telurio de cadmio, de diseleniuro de cobre en indio o tándem (Isabel Burgos Costalago, 2014).

2.2.10 Paneles monocristalinos de celdas de silicio. El modo más común de fabricación de células de silicio monocristalino (sc-Si) consiste en partir de un lingote de un único cristal de silicio, obtenido por los métodos de Czochralski (Cz) o zona flotante (FZ), y cortarlo en obleas que constituyen el sustrato sobre el que tendrá lugar todo el proceso restante (unión “p-n”, metalización, etc.).



Figura 7. Panel solar fotovoltaico monocristalino

Fuente: SunFields Europe, 2007.

La figura 7 es un ejemplo de este tipo de célula que comentamos. Además de esto, señalar que los paneles solares monocristalinos son los que mayor eficiencia tienen de entre todos los disponibles en el sector (SunFields Europe, 2007).

2.2.11 Ventajas de los paneles solares monocristalinos. Los paneles solares monocristalinos tienen las mayores tasas de eficiencia puesto que se fabrican con silicio de alta

pureza. La eficiencia en estos paneles está por encima del 15% y en algunas marcas supera el 21%.

La vida útil de los paneles monocristalinos es más larga. De hecho, muchos fabricantes ofrecen garantías de hasta 25 años.

Suelen funcionar mejor que paneles policristalinos de similares características en condiciones de poca luz.

Aunque el rendimiento en todos los paneles se reduce con temperaturas altas, esto ocurre en menor medida en los policristalinos que en los monocristalinos.

2.2.12 Desventajas de los paneles monocristalinos. Son más caros. Valorando el aspecto económico, para uso doméstico resulta más ventajoso usar paneles policristalinos o incluso de capa fina.

Si el panel se cubre parcialmente por una sombra, suciedad o nieve, el circuito entero puede averiarse. Si decide poner paneles monocristalinos pero cree que pueden quedar sombreados en algún momento, lo mejor es usar micro inversores solares en vez de inversores en cadena o centrales. Los micros inversores aseguran que no toda la instalación solar se vea afectada por sólo un panel afectado.

El proceso Czochralski es el usado para la fabricación de silicio monocristalino. Como resultado, se obtienen bloques cilíndricos. Posteriormente, se recortan cuatro lados para hacer las láminas de silicio. Se derrocha una gran cantidad de silicio en el proceso (Isabel Burgos Costalago, 2014).

2.2.13 Paneles policristalinos de silicio. Los primeros paneles solares policristalinos de silicio aparecieron en el mercado en 1981. A diferencia de los paneles monocristalinos, en su fabricación no se emplea el método Czochralski. El silicio en bruto se funde y se vierte en un molde cuadrado. A continuación se enfría y se corta en láminas perfectamente cuadradas como se muestra en la figura 8 (Isabel Burgos Costalago, 2014).



Figura 8. Panel solar fotovoltaico policristalino

Fuente: Energía Solar, 2020.

Este tipo de elaboración es menos costoso que el anterior, pero reduce considerablemente la eficiencia de las células y su rendimiento. Pueden ser interesantes cuando el factor precio sea determinante para el proyecto, pero a largo plazo son más rentables los monocristalinos (SunFields Europe, 2007).

2.2.14 Ventajas de los paneles policristalinos. El proceso de fabricación de los paneles fotovoltaicos policristalinos es más simple, lo que redonda en menor precio. Se pierde mucho menos silicio en el proceso que en el monocristalino.

2.2.15 Desventajas de los paneles policristalinos. Los paneles policristalinos suelen tener menor resistencia al calor que los monocristalinos. Esto significa que en altas temperaturas un panel policristalino funcionará con menos eficiencia que un monocristalino. El calor además puede afectar a su vida útil, acortándola.

La eficiencia de un panel policristalino se sitúa típicamente entre el 13-16%, debido a que no tienen un silicio tan puro como los monocristalinos.

Mayor necesidad de espacio. Se necesita cubrir una superficie mayor con paneles policristalinos que con monocristalinos.

Una de las formas más sencillas para saber si tenemos delante un panel solar monocristalino o policristalino, es que en el policristalino las celdas son perfectamente rectangulares y no tienen esquinas redondeadas (Isabel Burgos Costalago, 2014).

2.2.16 Paneles solares fotovoltaicos de capa fina. El fundamento de estos paneles es depositar varias capas de material fotovoltaico en una base. Dependiendo de cuál sea el material empleado podemos encontrar paneles de capa fina de silicio amorfo (a-Si), de telururo de cadmio (CdTe), de cobre, indio, galio y selenio (GIS/CIGS) o células fotovoltaicas orgánicas (OPC).

Dependiendo del tipo, un módulo de capa fina presenta una eficiencia del 7-13%. Debido a que tienen un gran potencial para uso doméstico, son cada vez más demandados un ejemplo se puede apreciar en la figura 9.



Figura 9. Panel solar fotovoltaico de capa fina

Fuente: Energía Solar, 2020.

2.2.17 Ventajas de los paneles fotovoltaicos de capa fina. Se pueden fabricar de forma muy sencilla y en grandes remesas. Esto hace que sean más baratos que los paneles cristalinos.

Tienen una apariencia muy homogénea.

Pueden ser flexibles, lo que permite que se adapten a múltiples superficies.

El rendimiento no se ve afectado tanto por las sombras y altas temperaturas.

Son una gran alternativa cuando el espacio no es problema.

2.2.18 Desventajas de los paneles de capa fina. Aunque son muy baratos, por su menor eficiencia requieren mucho espacio.

Un panel monocristalino puede producir cuatro veces más electricidad que uno de capa fina por cada metro cuadrado utilizado.

Al necesitar más paneles, también hay que invertir más en estructura metálica, cableado, etc.

Los paneles de capa fina tienden a degradarse más rápido que los paneles monocristalinos y policristalinos, por ello los fabricantes también ofrecen menor garantía. (Costalago, 2014).

2.2.19 Categorías de módulos de capa fina. Los módulos de película delgada se subdividen en varias categorías según los materiales semiconductores depositados en él, entre los más comunes encontramos:

Silicio amorfo, en el que los átomos de silicio se depositan químicamente en forma amorfa, o estructuralmente desorganizados, sobre la superficie de soporte. Esta tecnología utiliza cantidades muy pequeñas de silicio (espesores del orden de micras). Los módulos de silicio amorfo generalmente muestran una eficiencia menos constante de las otras tecnologías en comparación con los valores nominales, a pesar de tener garantías en línea con el mercado. El dato más interesante se refiere al EROEI, que proporciona valores muy altos (en algunos casos incluso llega a 9), lo que demuestra la eficiencia económica de esta tecnología.

Teluro de cadmio (CdTe): estos son paneles solares más delgados con un precio más bajo y una menor eficiencia termodinámica.

El sulfuro de cadmio micro cristalino (CdS), que tiene costos de producción muy bajos debido a que la tecnología utilizada para su producción no requiere el logro de las temperaturas muy altas requeridas en lugar de la fusión y purificación del silicio. Se aplica a un soporte de metal para recubrimiento por pulverización, es decir, se pulveriza literalmente

como una pintura. Entre las desventajas asociadas con la producción de este tipo de células fotovoltaicas está la toxicidad del cadmio y la baja eficiencia del dispositivo.

Arseniuro de galio (GaAs), se trata de una aleación binaria con propiedades semiconductoras, capaz de garantizar rendimientos muy altos, debido a la propiedad de tener una brecha directa (a diferencia del silicio). Se utiliza principalmente para aplicaciones militares o científicas avanzadas (como misiones de exploración planetaria automatizada o foto-detectores especialmente sensibles). Sin embargo, el costo prohibitivo del material monocristalino a partir del cual se fabrican las células lo ha destinado a un uso específico.

Diseleniuro de cobre indio (CIS), con una opacidad que va del 100% al 70% obtenida a través de orificios hechos directamente en la película.

Indio cobre galio diseleniuro (CIGS).

Heterounión, literalmente unión entre diferentes sustancias, en la que se emplea una capa de silicio cristalino como superficie de soporte de una o más capas amorfas o cristalinas, cada una de las cuales está optimizada para una sub-banda de radiación específica.

El silicio micro-esférico, en el que se utiliza silicio policristalino reducido en esferas con un diámetro de aproximadamente 0,75 mm enjaulado en un sustrato de aluminio.

2.2.20 Paneles solares flexibles. Aunque no sería en si un tipo, sino quizá una categoría, también merece la pena mencionarlos. Son un tipo de panel, con una particularidad, su capacidad para ser flexibles. Esto es debido a que no usan marco, ni vidrio, sino que van encapsulados en polímeros para poder facilitar esa flexibilidad.

Eso sí, una placa solar flexible tiene que disponer de células solares que sean flexibles, y el 99% de las que existen, no lo son. Por ese motivo, para este tipo de panel, hay que elegir siempre aquellos que sean con células solares tipo Maxeon, que será la manera de asegurarse que la placa solar sea realmente flexible y que no haya microrroturas en las células al doblar el panel (SunFields Europe, 2007).

2.2.21 Tipos de paneles fotovoltaicos según el rendimiento. En primer lugar, por orden de mayor rendimiento, tendríamos los módulos fotovoltaicos monocristalinos. Formados por células monocristalinas, que son ese tipo de célula que podemos diferenciar por su color “negro” y con las esquinas recortadas con un chaflán (resultado del corte de la célula).

En segundo lugar, con menor eficiencia y rendimiento, vendrían los paneles solares policristalinos. Compuestas por células policristalinas que podemos diferenciar por su color “azul” y no poseen ese chaflán en las esquinas como los monocristalinos, sino que son perfectamente cuadradas.

En tercer y último lugar, y con cada vez menos presencia, los paneles de tecnología amorfa.

2.2.22 Los datos eléctricos más importantes de un panel fotovoltaico. De entre todos los datos y especificaciones, los más importantes son los que encontramos en las hojas técnicas de los productos.

Aquí puedes ver una explicación de los parámetros habituales en una ficha técnica de un panel:

Tabla 1. Características eléctricas

Parámetro	Datos Eléctricos	Explicación
Potencia Nominal (Pnom)	400 W	Es la máxima potencia pico que puede entregar el panel en condiciones óptimas de temperatura y radiación.
Tolerancia de Potencia	+5/0%	Generalmente expresada en Vatios o en %, es la potencia pico real que puede llegar a tener el panel. Generalmente todos los paneles vienen hoy en día con tolerancia positiva.
Eficiencia de Panel	22.6%	Eficiencia: relación entre la potencia eléctrica entregada por el panel solar y la potencia de la radiación que incide sobre él.
Tensión máxima potencia (Vmpp)	65,8V	Es la tensión, en voltios, que proporcionará el panel cuando esté su punto de máxima potencia (Pmpp)
Corriente máxima potencia (Impp)	6.08A	Es la corriente, en amperios, que proporcionará el panel cuando esté su punto de máxima potencia (Pmpp)
Tensión Circuito Abierto (Voc)	75,6V	Tensión de circuito abierto (VOC): la mayor tensión que se puede obtener de la placa cuando trabaja como generador.
Corriente de Corto Circuito (Isc)	6.58 ^a	Corriente de cortocircuito (ISC): valor de la corriente que circula cuando la tensión en los terminales de la placa es nula, $V = 0$. Además de esto, es la máxima corriente que se podría llegar a obtener (en un caso ideal) de la placa cuando trabaja como generador.
Coefficiente de Temperatura	-0,29% / °C	Es el % de pérdida de potencia que tiene el panel por cada °C por encima de los 25°C de temperatura a la que se encuentra el panel.

2.2.23 Panel monocristalino vs policristalino - estudios científicos del comportamiento

con temperatura. Fíjate en esta comparativa entre temperaturas alcanzadas por células de silicio monocristalino vs policristalino, realizada por la Universidad de Santiago de Cali en 2017:

En la figura 10 se muestran las temperaturas, medidas a lo largo del año, alcanzadas por las células monocristalinas sometidas al estudio:

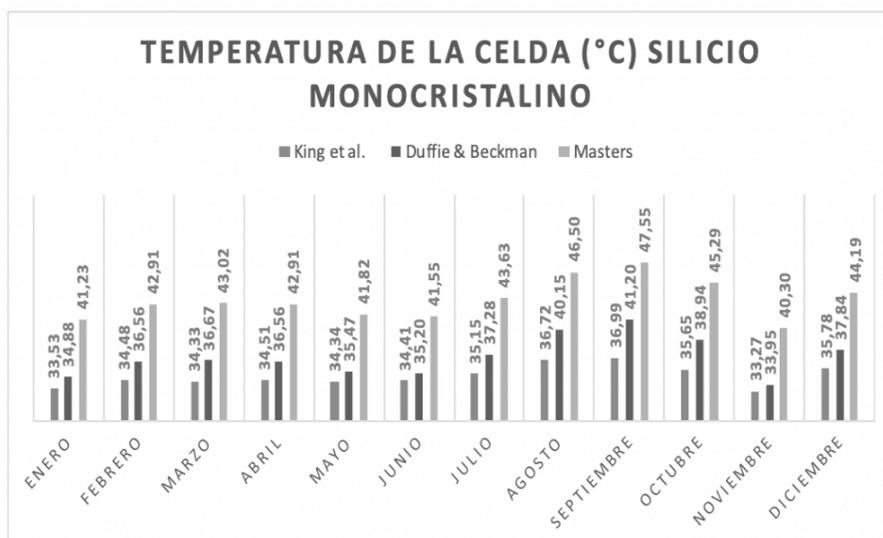


Figura 10. Temperatura Células silicio monocristalino a lo largo de un año

Fuente: Ecoticias, 2021.

Y la figura 11 muestra las temperaturas, medidas a lo largo del año, alcanzadas por las células policristalinas sometidas al estudio:

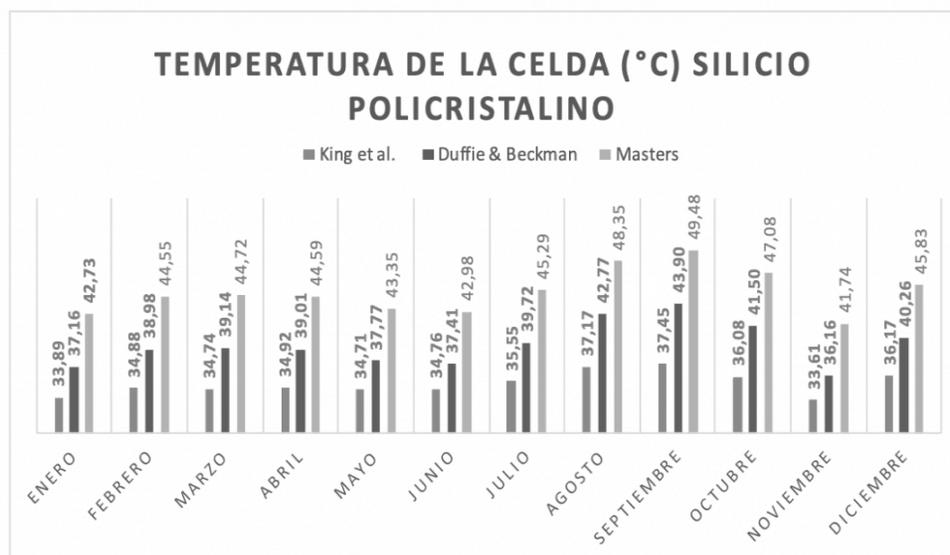


Figura 11. Temperatura células silicio policristalino a lo largo del año

Fuente: Ecoticias, 2021.

Para el experimento se utilizaron varias fórmulas (modelo King, Duffle y Masters) para el cálculo de las temperaturas, y el resultado fue inaplicable:

Como resultado de la investigación realizada, es posible concluir que existe una relación inversamente proporcional entre la temperatura de la celda calculada por los tres modelos de desempeño y la eficiencia de conversión, es decir que a mayor temperatura de la celda, la eficiencia de conversión de energía es menor.

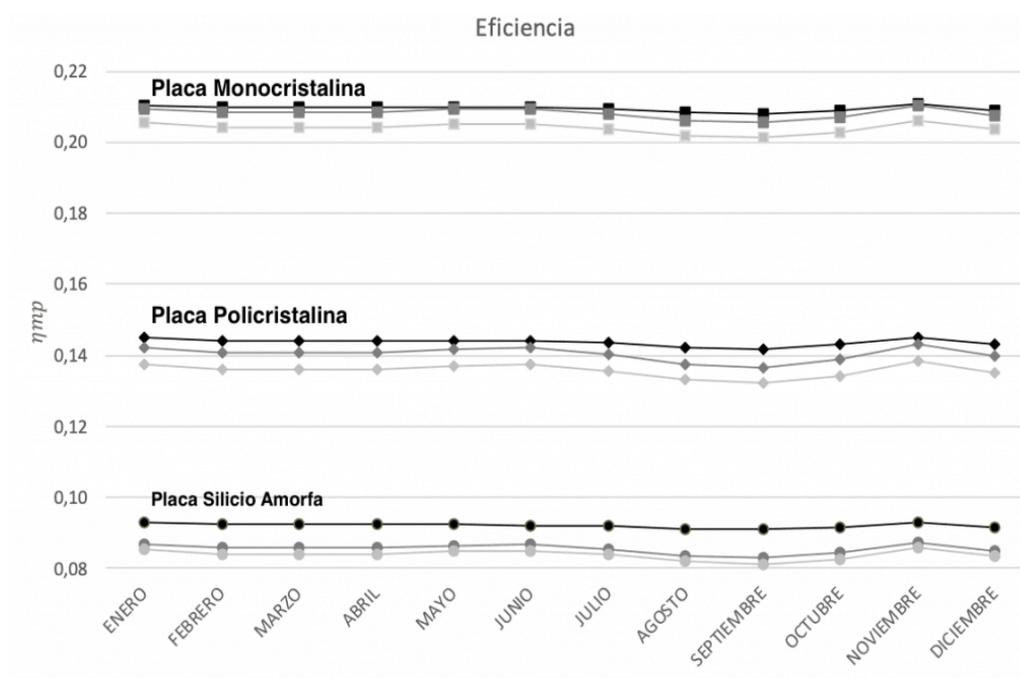


Figura 12. Eficiencia panel monocristalino, policristalino y amorfo

Fuente: Ecoticias, 2021.

Por otro lado, al comparar en la figura 12 los tipos de tecnologías de paneles, se evidencia que el panel de silicio monocristalino es el que mayor eficiencia de conversión de energía presenta, seguido del panel de silicio policristalino y por último el panel de silicio amorfo.

Los paneles policristalinos alcanzaron siempre una temperatura de célula más alta que los monocristalinos.

2.2.24 Componentes que lo forman. Los paneles fotovoltaicos están siempre integrados por los siguientes componentes:

Un cubierta de vidrio templado, generalmente de unos 3mm de espesor, que protege al panel de las inclemencias del tiempo.

Las celdas fotovoltaicas conectadas generalmente en serie y que son las encargadas de transformar la energía solar en electricidad.

Encapsulamiento en EVA, para agrupar las células y darle solidez como grupo.

Tedlar trasero para proteger al panel fotovoltaico de la intemperie.

Caja de conexiones, con sus respectivos diodos de protección. Es por donde extraer la electricidad.

Marco de aluminio que da solidez a todo el grupo y para facilitar su instalación.

2.2.25 Eficiencia energética. Muchos de los nuevos desarrollos de la tecnología fotovoltaica están pensados fundamentalmente para maximizar la eficiencia de las placas solares. No en vano, consumidores y profesionales del sector de la energía fotovoltaica suelen señalar a la eficiencia energética como el criterio más importante –si bien no el único- a la hora de establecer la calidad de un panel solar. Pero ¿en qué consiste exactamente la eficiencia? ¿Y cómo se mide? Explicado de forma simple, el rendimiento o la eficiencia de un panel solar describen qué porcentaje de la luz solar que incide sobre el panel se convierte realmente en electricidad. Lógicamente, cuanto

mayor sea este porcentaje, mayor será la potencia (expresada en KWh) del panel y, por tanto su rendimiento, que es lo que al final nos interesa de cara al ahorro en nuestra factura de la luz. Así, a simple vista, los porcentajes de eficiencia que ofrecen la mayoría de fabricantes –entre un 15% y 22% en los mejores casos- puede parecer poca cosa pero tened en cuenta que el récord de eficiencia en la conversión de energía solar en electricidad está establecido en torno a un 24%.

2.2.26 Tecnologías de paneles solares. Como se muestra a continuación:

2.2.26.1 Células PERC (passivated emitter rear cell/ célula trasera del emisor pasivado).

Se trata de una de las tecnologías que más rápidamente se están popularizando, merced a su capacidad de aumentar la eficiencia de los paneles solares (17-21%, según modelos) sin que los costes se disparen. Quizá la mejor manera de entender el secreto de las células fotovoltaicas PERC es comenzar describiendo la anatomía de una célula convencional. Esta se compone de tres capas con propiedades eléctricas distintas: una capa exterior de silicio, denominada emisora, en contacto directo con la radiación solar, una capa intermedia (capa base), también de silicio, y una última capa inferior de aluminio BSF (Back Surface Field) que absorbe la radiación infrarroja que atraviesa las capas anteriores.

La tecnología PERC introduce en sus células fotovoltaicas una lámina adicional entre la capa intermedia y la capa inferior. Esta capa extra es reflectante, de manera que es capaz de evitar que los electrones de luz infrarroja penetren hasta la capa inferior de aluminio, donde se absorberían. En su lugar, la capa PERC figura 13 los rebota hacia las capas superiores, generando mayor cantidad de electricidad y, en consecuencia, mayor potencia (llegando a superar los 300W en algunos modelos de 60 células) algo que resulta especialmente útil durante las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde o en días de cielo nublado.

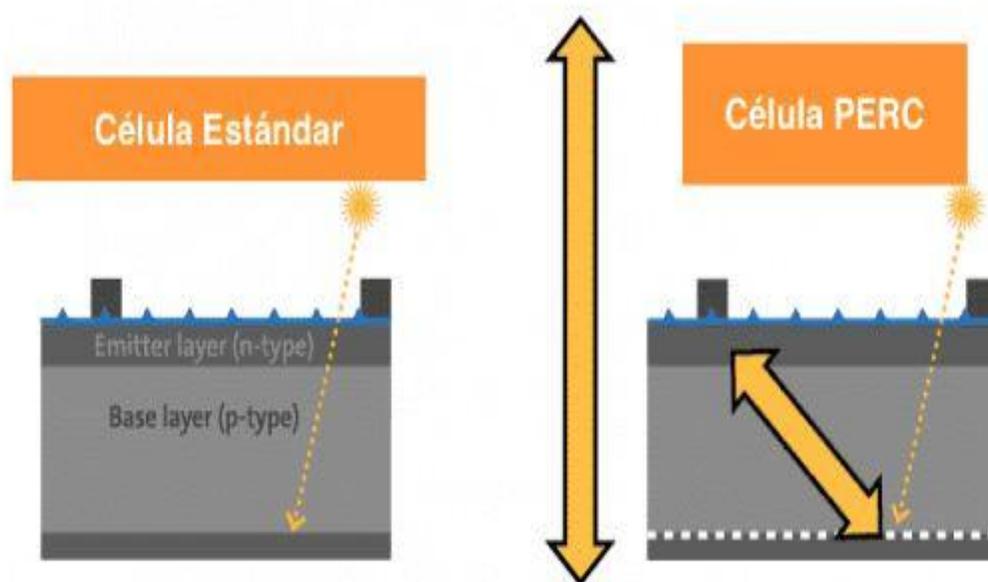


Figura 13. Célula estándar vs Célula PERC

Fuente: Refacsol, 2020.

2.2.26.2 Half-Cell. También denominada tecnología de célula partida o de célula cortada figura 14, hace referencia al corte y conexión de múltiples células divididas que se distribuyen en el mismo espacio que ocupaban las células convencionales. De este modo, el panel solar queda cortado en 2 partes, con el 50% de capacidad cada una. Estas células cortadas dividen el flujo de la corriente en dos partes que se unen en serie. Esto consigue reducir la resistencia interna de los paneles con menores pérdidas de corriente al ser transportada por pistas conductoras. Además, asegura una producción continua a pesar de que la placa esté sombreada, ya que las sombras parciales en una mitad no afectan al rendimiento de todo el módulo.

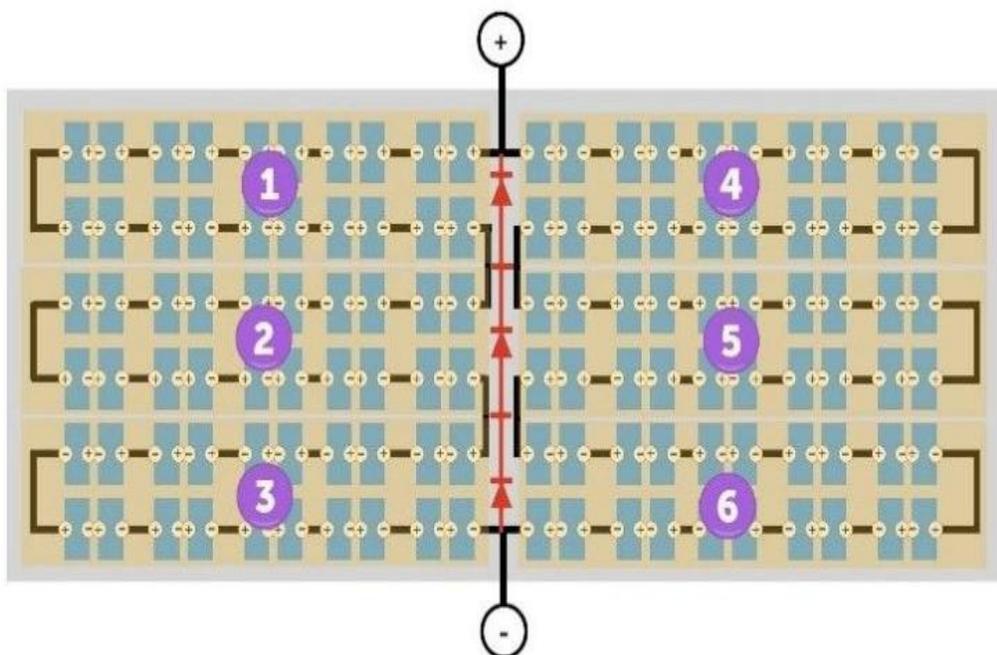


Figura 14. Esquema de una célula con tecnología Half-Cut

Fuente: Tecnosolab, 2021.

2.2.26.3 Multi Bus Bar (MBB). Se trata de una de las tecnologías más efectivas para reducir costes y aumentar la eficiencia de las células fotovoltaicas. Las conexiones que atraviesan las células solares, conocidas como Bus Bars o BB, han evolucionado en los últimos años, aumentando de 2BB hasta 5 busbars. El aumento en el número de estas conexiones consigue reducir la distancia de conducción de la corriente en las conexiones, lo que reduce las pérdidas de resistencia y mejora, considerablemente, la eficiencia de la célula. De este modo, se mejora la potencia de salida de los paneles hasta 10 W. Esta tecnología consigue, además, celdas menos propensas a sufrir microgrietas y ruptura de conexiones, por lo que se garantiza una vida útil más segura (Muñoz, 2020).

2.2.26.4 Módulos bifaciales. Como su propio nombre ya deja intuir, los módulos fotovoltaicos bifaciales están diseñados de manera que puedan producir energía solar por ambas

caras de cada panel. Los paneles convencionales son “monofaciales”, es decir, capturan la luz del sol por su cara superior, mientras que la cara inferior es opaca. La energía que no se captura en las células fotovoltaicas de la cara superior simplemente se refleja y se pierde. Los paneles bifaciales, por el contrario, cuentan con células fotovoltaicas en ambas caras del panel figura 15, de manera que aprovechan la radiación solar directa y también a la reflejada. Esto se traduce en un incremento de la producción energética en función de factores como que los módulos se instalen en superficies reflectantes o de colores claros, el ángulo de inclinación o la altura de la instalación, entre otros.

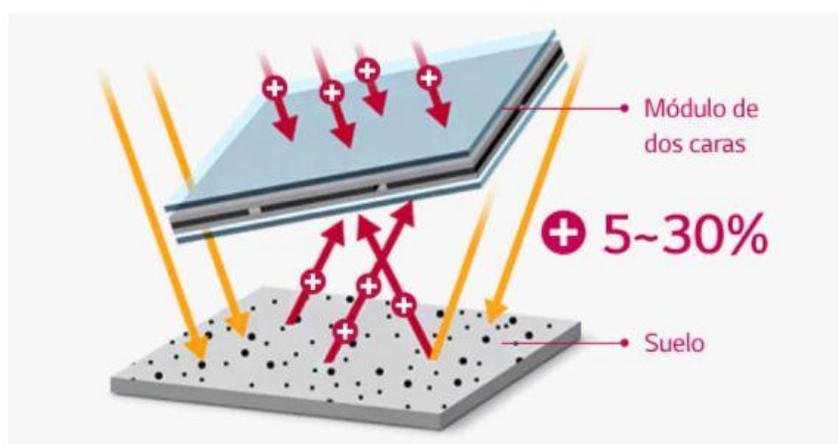


Figura 15. Esquema panel bifacial

Fuente: Padrón, Gutiérrez, Hidalgo & De la Incera, 2020.

Los paneles bifaciales pueden incorporar perfectamente células PERC pero es importante entender que el objetivo de la tecnología bifacial no es tanto incrementar el porcentaje de eficiencia del módulo solar como que éste genere más electricidad y, por tanto, más potencia. En este sentido, algunos fabricantes como LG, Longi o Lumos, entre otros, tienen en el mercado módulos bifaciales de 72 células alcanza los 350-395W de potencia. La forma de instalar este tipo de módulos es crucial para lograr un buen rendimiento. De este modo, una inclinación

elevada -casi vertical- de los paneles consigue reducir la superficie sombreada y expone más fácilmente las dos caras de cada panel a la radiación solar, obteniendo así una mayor eficiencia energética. Por otro lado, esta forma de disponer la instalación hace que, por lo general, esta tecnología se tienda a utilizar más en superficies industriales planas o en instalaciones ancladas al suelo, no tanto en tejados residenciales.

2.2.27 Tecnologías de marcas propias con alto rendimiento. Tanto las células fotovoltaicas PERC como los paneles solares bifaciales ya están presentes en una gran variedad de módulos fotovoltaicos de distintos fabricantes. Sin embargo, también están convergiendo en el mercado un buen número de desarrollos que podríamos denominar “de marca”, puesto que son propios de cada fabricante. Suelen ofrecer un rendimiento energético muy avanzado, si bien es cierto que duelen más al bolsillo, llegando en ocasiones a doblar el precio de los módulos convencionales. Veamos algunos ejemplos:

2.2.27.1 Serie NeON de LG. La última generación de módulos fotovoltaicos LG figura 16, como los NeON R o los NeON 2 (que incluyen un modelo bifacial) consigue un alto rendimiento energético gracias a soluciones innovadoras propias del fabricante surcoreano. El módulo NeON R (60 células), buque insignia de catálogo solar de LG, presenta placas solares de 60 células que carecen de electrodos en su parte frontal, aumentando así la superficie útil de cada panel y ofreciendo un porcentaje de rendimiento que llega al 21.4% (370W). Por su parte, los NeON 2 y NeON 2 Black consiguen un 19.6% de eficiencia (330W) en sus módulos estándar de 60 células, merced a que incorporan la tecnología Cello, que mejora la ingeniería de los módulos sustituyendo las barras colectoras de energía convencionales por 12 alambres circulares que permiten dispersar más fácilmente la luz solar a todo el módulo y reducir las fugas de electricidad.



Figura 16. Panel solar NeON LG

Fuente: Lg, 2021.

2.2.27.2 Panasonic HIT. Varios fabricantes de equipos fotovoltaicos han explorado en los últimos años el uso de la denominada tecnología de heterounión en la fabricación de células solares, si bien es Panasonic quien, en su serie de paneles solares HIT figura 17, ha apostado más por este tipo de desarrollo, con excelentes resultados (los modelos N330 o N325K superan ampliamente los 300W con un porcentaje de eficiencia que supera el 19%). Es común que las células fotovoltaicas convencionales puedan experimentar pérdidas en la generación de energía debidas a zonas defectuosas en su estructura interna. Panasonic, sin embargo, usa una base de silicio monocristalino común a la que añade otras capas adicionales de silicio amorfo en ambas caras de la célula. Este procedimiento, denominado heterounión, no sólo consigue reducir las zonas defectuosas, incrementando así el rendimiento de los paneles, sino que arroja un excelente coeficiente de temperatura en los paneles del gigante tecnológico japonés. Pongamos esto en un cuadro, destacado: El coeficiente de temperatura mide de reducción de potencia energética que se produce en las células fotovoltaicas a medida que la temperatura de estas se incrementa (debido, por ejemplo, a un día de mucho calor).



Figura 17. Panel Panasonic HIT vs Panel convencional

Fuente: Alabamafasr410, 2021.

2.2.27.3 SunPower. El fabricante de tecnología fotovoltaica SunPower brinda también innovaciones interesantes al mercado, todas ellas encaminadas a incrementar el rendimiento de las placas solares. En particular, la compañía estadounidense apuesta por aumentar al máximo el área de captación de cada panel eliminando las conexiones metálicas entre células solares en la cara superior de los paneles. Se trata de un nuevo modo de plantear la estructura del panel fotovoltaico que evita que estas interconexiones resten espacio “útil” al panel y lo expongan a los efectos de la corrosión.

El resultado, que puede verse en su serie de paneles Performance, es un diseño innovador en el que las células se colocan en cascada y simulan una superficie de baldosas (Shingled Cells, en inglés). Las conexiones entre las células están en la cara posterior del panel y son flexibles y redundantes, de manera que el flujo de energía es constante. SunPower también ha desarrollado un nuevo modelo propio de célula fotovoltaica Maxeon figura 18, con fondo de aluminio y

superficie plana que optimiza notablemente la eficiencia de los paneles. Sirvan como ejemplo algunos modelos del fabricante americano de las Series X y Performance con porcentajes de eficiencia del 17-21% y entre 335 y 350W de potencia.

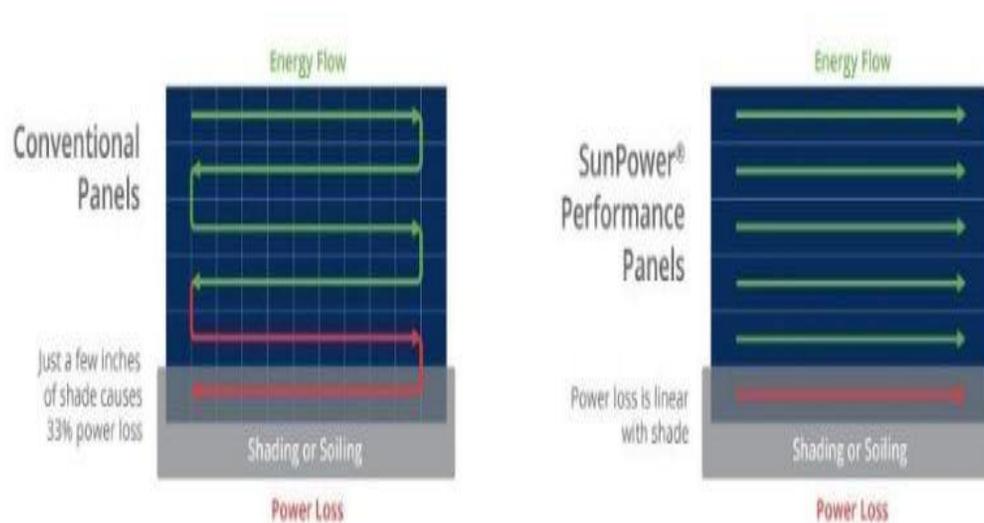


Figura 18. Panel convencional vs Panel de SunPower

Fuente: Sfe-Solar, 2021.

2.2.28 Otras tecnologías. Como se evidencia a continuación:

2.2.28.1 AH60 de Abora paneles híbridos. Uno de los desarrollos tecnológicos más interesantes del mercado en materia de eficiencia de paneles solares es español. Se trata los paneles híbridos figura 19, como el AH60 de la empresa Abora. Su porcentaje de eficiencia (16% y 260W para un módulo de 60 células) es menor que la que ofrecen módulos avanzados como los descritos antes pero este tipo de panel híbrido introduce una novedad muy interesante desde el punto de vista de la eficiencia energética entendida como ahorro, y es que los paneles híbridos son capaces de generar electricidad y agua caliente simultáneamente. Para ello disponen de células fotovoltaicas que producen electricidad, un sistema hidráulico que calienta el agua y

una tecnología que consigue reducir al mínimo las pérdidas térmicas (Cambio Energético, 2019).

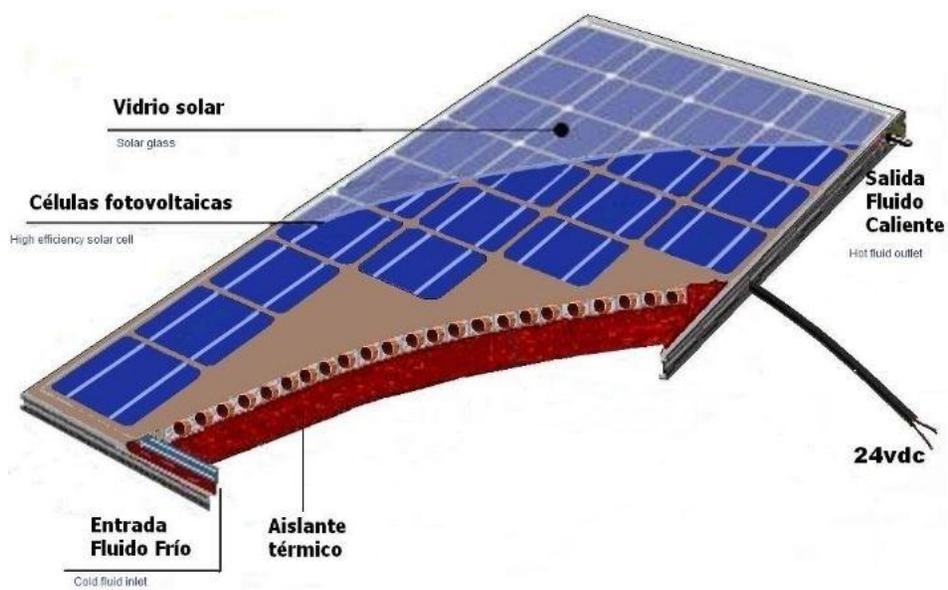


Figura 19. Panel solar híbrido

Fuente: Diario Renovables, 2017.

2.2.29 Nuevas tecnologías de alto rendimiento. El fabricante chino de paneles solares JinkoSolar Holding Co., Ltd. anunció que había logrado una eficiencia del 24,2% para las células solares de silicio monocristalino Topcon de tipo N de área grande, y que el resultado fue confirmado por el Centro de Ensayos Calidad Sistemas de Energía eólica y fotovoltaica en la Academia China de Ciencias (CAS).

El fabricante enfatizó que la célula se basa en su propio diseño de célula HOT, que se basa en una tecnología de contacto de pasivación TOPCon. El nuevo resultado fue posible, agregó la empresa, a través del uso de obleas de alta calidad tipo N, tecnología de dopaje selectivo y tecnología avanzada de impresión en línea fina.

'La tecnología HOT type N también demuestra la competitividad de los productos JinkoSolar en comparación con las tecnologías HIT e IBC', dijo la empresa en su comunicado, sin proporcionar más detalles técnicos. 'El módulo de media célula del tipo N (60P) de 387,6W fue fabricado gracias a la célula HOT', añadió. En mayo, Jinko dijo que su módulo de tipo n alcanzó un máximo de 378,6 W, y que este resultado fue confirmado por la TÜV Rheinland Shanghai Co., Ltd.

En el mismo mes, JinkoSolar rompió su propio histórico de eficiencia de células monocristalinas del tipo p, produciendo una célula con una eficiencia del 23,95%. Este resultado, que también fue certificado por el Centro de Calidad Test de Sistemas eólica y fotovoltaica en la Academia de Ciencias de China, mejoró el récord anterior de la empresa del 23,45%, establecido en noviembre de 2017, que en el momento fue el quinto registro de célula o módulo establecido por Jinko en aquel año (AutoSolar, 2019).

Los paneles solares Maxeon de SunPower ostentan el récord de eficiencia figura 20 a nivel de módulo, 22,6%. Se trata de una tecnología basada en una arquitectura de célula completamente diferente. Y radicalmente mejor. Una tecnología que consigue minimizar, una a una, las fuentes de pérdidas de eficiencia y de fiabilidad de la tecnología solar tradicional. Y que permite a SunPower ofrecer una garantía de producto y de potencia de 25 años.

La primera diferencia, detectable a simple vista, entre la tecnología SunPower y la convencional es la disposición en la parte trasera de la célula de los contactos eléctricos, que convierten en superficie útil de captación toda la parte frontal además, en el caso de la célula Maxeon, las conexiones y los contactos eléctricos de la parte trasera de la célula descansan sobre una base de cobre resistente a la corrosión, que además de su alta conductividad, proporciona a la

célula la capacidad de continuar con su funcionamiento aún en caso de rotura.

Y como los contactos eléctricos están en la parte de atrás y no interrumpen la llegada de los fotones y su conversión en electricidad, las conexiones entre las células pueden ser mucho más anchas y robustas que las de la tecnología con contactos frontales estándar. Este diseño, es el que permite a los paneles solares SunPower soportar de manera fiable, tanto el estrés mecánico como las oscilaciones térmicas que se producen a lo largo de cada día y de cada estación, y la razón por la que su garantía es mucho más larga, 25 años, que la mayoría del resto de la tecnología solar. (Maxeon Solar Technologies).

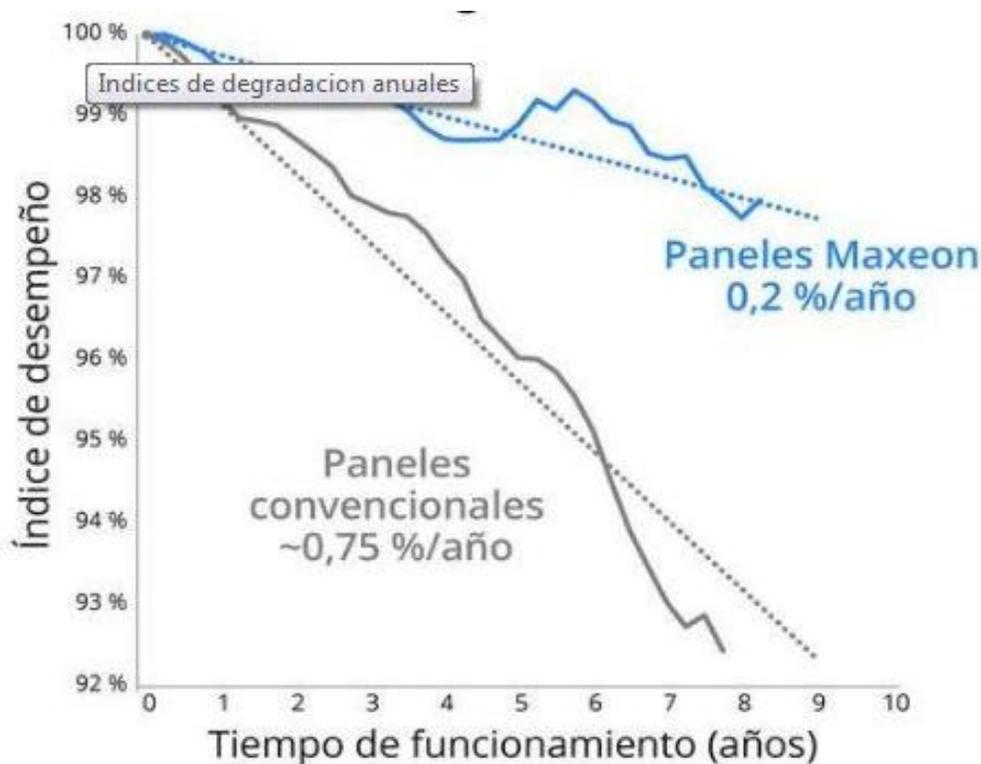


Figura 20. Degradación anual panel convencional vs Panel Maxeon

Fuente: Ecovattios, 2020.

2.2.30 Regulador. Toda la energía que se genere mayor a la energía que es posible inyectar en la batería se pierde por efecto Joule (calor) en el regulador.

Por tanto, el regulador figura 21 de carga solar es un dispositivo que protege la batería contra sobrecargas, llenándola según le resulte más conveniente en cada momento.



Figura 21. Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica

Fuente: Mheducation, 2020.

2.2.31 Acumuladores (baterías). “Las baterías solares figura 22, son almacenes de electricidad. Almacenan la electricidad generada por los paneles solares en momentos de baja demanda y la suministran en momentos de mayor demanda. Estos elementos son capaces de transformar la energía eléctrica en energía química en el momento de carga. En el momento de descarga transforman, de nuevo, la energía química en electricidad”. (ENERGIA SOLAR , 2015).



Figura 22. Acumuladores para instalaciones fotovoltaicas

Fuente: Ecofener, 2020.

2.2.32 Inversor. Un inversor de corriente figura 23 es un aparato electrónico.” La función del inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario” (Energía Solar, 2016, p.1).



Figura 23. Diferentes tipos de inversores

Fuente: Ecofener, 2020.

2.2.33 Factibilidad. El estudio de factibilidad es un análisis que se hace para determinar si un proyecto es o no viable teniendo en cuenta los recursos invertidos como: tiempo, dinero, materia prima y equipos necesarios, ya que estos son limitados a la hora de realizar un proyecto. Par a la toma de buenas decisiones es necesario basarse en estudios, cálculos, datos históricos y evidencias que demuestren la factibilidad de un proyecto a realizar, de tal manera que se tenga la certeza de que el negocio se desempeñara correctamente y producirá ganancias (García, 2016).

2.3 Marco Contextual

La sede principal de la institución educativa colegio Nuestra Señora de Belén figura 24 es una institución de carácter oficial, en el cargo de rector se encuentra actualmente el Magister Carlos Luis Villamizar Ramírez; está ubicada en la calle 26 N° 27-60 barrio belén de la comuna 9, parte sur occidental de la ciudad de Cúcuta, departamento de Norte de Santander.



Figura 24. Vista aérea de la institución educativa colegio Nuestra Señora de Belén

Fuente: Google Earth, 2021.

2.4 Marco Legal

Ley 1715 de 2014:

Tiene por 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. (UMPPE, 2014, p.1).

Ley 697 de 2001 “Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas.” (Alcaldía mayor de Bogotá, 2001).

Guía Técnica Colombiana GTC 114: Especificaciones de sistemas fotovoltaicos para suministro de energía rural dispersa en Colombia “establece directrices sobre las especificaciones y características técnicas que se deberían tener en cuenta en el proceso de selección, instalación, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos (SFV) que se emplean en la energización rural” (ICONTEC, 2004, p.12).

2.4.1 La CREG. De acuerdo con la Comisión de Regulación de Energía y Gas resolución No. 030 de 2018 por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional y en ejercicio de sus atribuciones constitucionales y legales, en especial las conferidas por las leyes 142 y 143 de 1994, la Ley 1715 de 2014, y en desarrollo de los decretos 1524 y 2253 de 1994, Decreto 1260 de 2013, y Decreto

348 de 2017 resuelve:

2.4.2 Capítulo 1 Condiciones para la integración. Como se muestra a continuación:

2.4.2.1 Artículo 4. Integración de los generadores distribuidos y autogeneración de pequeña escala al SIN. Cuando la cantidad de energía anual exportada por GD y AGPE supere el 4% de la demanda comercial nacional del año anterior, la CREG revisará y podrá modificar las condiciones de conexión y remuneración de las exportaciones de energía que se establecen en esta resolución.

2.4.2.2 Artículo 5. Estándares técnicos de disponibilidad del sistema en el nivel de tensión 1. a) La sumatoria de la potencia instalada de los GD o AGPE que entregan energía a la red debe ser igual o menor al 15% de la capacidad nominal del circuito, transformador o subestación donde se solicita el punto de conexión. La capacidad nominal de una red está determinada por la capacidad del transformador.

2.4.3 Capítulo 2 Condiciones para la conexión. Como se muestra a continuación:

2.4.3.1 Artículo 7. Condición para conectarse como AGPE o GD. Cualquier usuario que se encuentre conectado a la red y que quiera convertirse en un AGPE lo podrá hacer una vez cumpla con los requisitos establecidos en la presente resolución y se verifique la disponibilidad técnica del sistema al cual se va a conectar según los estándares definidos en el artículo 5. También aplica para nuevos usuarios y generadores distribuidos.

2.4.4 Capítulo 3 Condiciones para la medición. Como se muestra a continuación:

2.4.4.1 Artículo 13. Sistema de medición para AGPE y GD. a) AGPE que entrega excedentes: debe cumplir con los requisitos establecidos para las fronteras de generación en el

Código de Medida, a excepción de las siguientes obligaciones: i) contar con el medidor de respaldo de que trata el artículo 13 de la Resolución CREG 038 de 2014, ii) la verificación inicial por parte de la firma de verificación de que trata el artículo 23 de la Resolución CREG 038 de 2014 y iii) el reporte de las lecturas de la frontera comercial al Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales, ASIC, cuando se vende la energía al comercializador integrado con el OR al cual se conecta.

3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

La metodología a que se uso es la investigación documental “Este tipo de investigación es la que se realiza, como su nombre lo indica, apoyándose en fuentes de carácter documental, esto es, en documentos de cualquier especie” (Tamala, 2016, p.12), la investigación cuantitativa “es una forma estructurada de recopilar y analizar datos obtenidos de distintas fuentes. La investigación cuantitativa implica el uso de herramientas informáticas, estadísticas, y matemáticas para obtener resultados” (Universidad de Alcala, 2020, p.5), y también se usara la investigación descriptiva “busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice” (Slideshare, 2015, p.1).

3.2 Técnicas de Recolección de Datos

Las técnicas de recolección de datos se basaron en una investigación cuantitativa, apoyándose con la documentación de registros estadísticos históricos encontrados en bases de datos, artículos, catálogos, libros, manuales y sitios web tanto locales como nacionales e internacionales.

3.3 Fuentes de Información

Se buscó y se recopilo la información de libros, artículos científicos y tesis, mediante una revisión bibliográfica en bibliotecas y bases de datos acerca de diseño de sistemas fotovoltaicos, de redes energéticas y de energía solar.

Atlas de radiación solar de Colombia.

Bases de datos meteorológicos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Libros relacionados con energías alternativas especializándose en energía solar fotovoltaica.

Sitios Web.

3.4 Actividad y Metodología

3.4.1 Actividad 1. Determinar la carga demandada por la institución para realizar un diseño fotovoltaico acorde a la necesidad y las normativas vigentes.

3.4.1.1 Metodología. Se estudió el proyecto “Diagnóstico de las instalaciones eléctricas en la institución educativa Colegio Nuestra Señora de Belén sede principal” (Cuadros & Villada, 2017), el trabajo de grado ya hecho cuenta con toda la información necesaria para este proyecto.

Se tomó la información correspondiente a datos eléctricos de interés para el diseño a desarrollar.

Se analizó la información recolectada para realizar los cálculos correspondientes a la demanda de energía eléctrica por la institución.

Se analizó la carga eléctrica de las instalaciones eléctricas de la institución.

3.4.2 Actividad 2. Establecer el lugar de instalación del sistema solar fotovoltaico para realizar una configuración conforme al área de trabajo disponible y su respectivo estudio de radiación solar.

3.4.2.1 Metodología. Se realizó una visita cumpliendo con los debidos protocolos de bioseguridad y de acuerdo a los horarios de atención establecidos por la institución para determinar el área de instalación del diseño.

Se seleccionó la topología del sistema fotovoltaico a realizar.

Se consultó datos meteorológicos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

3.4.3 Actividad 3. Dimensionar el sistema fotovoltaico acorde a la energía que se puede suministrar bajo la norma vigente determinando las características de los elementos a utilizar.

3.4.3.1 Metodología. Se analizó el funcionamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red y el sistema fotovoltaico aislado.

A partir de la carga se calcula la potencia, voltaje y corriente de los elementos que conforman el sistema.

Se estudió cada uno de los elementos que componen una instalación solar fotovoltaica.

Se seleccionó los elementos de acuerdo a los datos obtenidos mediante los cálculos realizados.

A partir de los datos recolectados se realizó un esquemático de la conexión y ubicación del sistema solar fotovoltaico.

3.4.4 Actividad 4. Desarrollar un estudio de factibilidad económico entre un sistema solar fotovoltaico conectado a la red y un sistema solar fotovoltaico autónomo para seleccionar la opción más viable.

3.4.4.1 Metodología. Se realizó un estudio de cada uno de los sistemas solar analizando los costos y beneficios del proyecto.

Se analizó la viabilidad en relación con el retorno de capital invertido.

Se evaluó cada uno de los estudios para escoger el más adecuado.

4. Desarrollo de la Propuesta

En esta primera parte se recopiló todos los datos eléctricos correspondientes al consumo eléctrico de la Institución como cuadros de cargas que incluyen los parámetros de potencia, voltaje y corriente cuyos datos se encuentran plasmados en el proyecto “Diagnostico de las instalaciones eléctricas en la institución educativa colegio nuestra Señora de Belén” (Cuadros & Villada, 2017), estos parámetros se analizaron con el fin de realizar los cálculos pertinentes para desarrollar el diseño fotovoltaico que pueda suplir las necesidades de las instalaciones eléctricas y el cumplimiento del objetivo general.

4.1 Datos Propuestos

Tabla 2. Características eléctricas totalizador general

Totalizador	Descripción	Potencia (W)	S (KVA)	I (A)
1	Tablero H	3320	3616,4	30,14
	Tablero I	4488	5280	24
	Tablero B	26881	31444,9	152,04
	Tablero C	3649	4009,7	33,4
2	Tablero D	11220	13200	60
	Tablero F	1575	1717,4	14,3
	Tablero G	8378	9229	76,9
	Tablero J	21762	24550,8	167,9
3	Tablero A	16322	18331,1	140,4
TOTAL		97595	111379,3	699,08

La tabla 2 muestra los datos eléctricos del totalizador general y su distribución en la Institución en el cual se puede observar que el consumo a plena carga es de 111.379 KVA con una corriente total de 699.08 A.

De acuerdo con la Comisión de Regulación de Energía y Gas resolución No. 030 de 2018 en el capítulo 1, artículo 5; la potencia instalada por los auto generadores que entregan energía a la red debe ser igual o menor al 15% de la capacidad nominal del circuito, transformador o

subestación.

En la zona del colegio Nuestra Señora de Belén se encuentra instalado un transformador de 112.5 KVA, el cual proporciona la capacidad de la red y al obtener el 15% se cuenta con una potencia de 16.875 KVA la cual será el límite establecido para realizar el diseño del sistema fotovoltaico.

4.2 Análisis de la Información

Del proyecto “Diagnóstico de las instalaciones eléctricas en la institución educativa colegio Nuestra Señora de Belén” (Cuadros & Villada, 2017), se observó el consumo en las áreas de sala de informática, auditorio y biblioteca tabla 3, cuyas áreas tienen un consumo alto de energía eléctrica que se muestra a continuación.

Tabla 3. Consumo eléctrico

Nº	Área	Carga Total (W)
1	Sala de informática	14.695
2	Auditorio	18.976
3	Biblioteca	14.080

Se tomó como área de estudio para la realización del diseño fotovoltaico la sala de informática debido a que el consumo en esta área no supera la potencia límite y su aprovechamiento se daría en su totalidad, ya que la sala de informática trabaja 12 horas al día en comparación con la biblioteca que trabaja 8 horas al día y el auditorio 4 horas por día, sin contar que tanto la biblioteca como el auditorio no trabajan los 23 días hábiles del mes como la sala de informática.

En el Anexo A se encuentra detallado el consumo en Watts de las áreas de interés, la cantidad de equipos, la potencia nominal, el uso en horas por día y el uso en horas por mes.

Se recopilaron los equipos que consumen energía eléctrica en la sala de informática los cuales se muestran en la tabla 4 con sus respectivas características.

Tabla 4. Consumo eléctrico sala de informática

No.	Equipo	Potencia Nominal (W)	Cantidad (U)	Carga total (W)
1	Aire acondicionado	5610	2	11220
2	Computador portátil	65	35	2275
3	Luminaria fluorescente	75	16	1200
Total		5750	53	14695

4.3 Descripción del Consumo

Para realizar un análisis más detallado del consumo eléctrico de los equipos que están presentes en la sala de informática se tomó un total de 23 días hábiles por mes ya que la Institución trabaja en jornada continua y de lunes a viernes, con estos datos y el consumo de energía eléctrica en watts de cada uno de los equipos junto con el tiempo de uso estimado por día se realizaron los cálculos para determinar la demanda de energía eléctrica necesaria del área de interés como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Consumo diario de energía eléctrica

Descripción del equipo	Días de uso/mes	Número de equipos	Potencia Nominal W	Tiempo de uso Horas/día	Tiempo de uso Horas/mes	Potencia Wh/día	Potencia Máxima W
Computador portátil	23	35	65	12	9660	27300	2275
Lámpara fluorescente	23	16	75	12	4416	14400	1200
Aire Acondicionado	23	2	5610	10	460	112200	11220
Total		53	5750	34	14536	153900	14695

De la anterior tabla se observa que la energía necesaria en la sala de informática es de 153.900 KW-h para cubrir la demanda diaria.

4.4 Radiación Solar en el Municipio de Cúcuta

La irradiación global horizontal es la suma de las componentes directa y difusa, es el parámetro más importante para la evaluación del potencial de la energía solar en una región en particular. Esta magnitud de radiación instantánea está expresada en unidades de potencia por unidad de superficie ($\text{Energía}/\text{Área} \cdot \text{Tiempo}$) y es medida en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Las cantidades de radiación expresadas en términos de irradiancia son generalmente integradas en el tiempo como ($\text{Energía}/\text{Área}$) \square y las unidades utilizadas son el KWh/m^2 por día (si es integrada en el día) o por año (si es integrada en el año). También se utiliza el MJ/m^2 por día (o por año).

La siguiente información se recopiló de la página del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) con el apoyo de la (UPME), la cual es una entidad del gobierno de Colombia dependiente del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Se encarga del manejo de la información científica, hidrológica, meteorológica y todo lo relacionado con el medio ambiente en Colombia, junto con ENERGIE que es una consultora creada por profesionales con más de 2 décadas trabajando en el rubro energético quienes trabajan para que la transformación energética traiga progreso y desarrollo para la industria y la población, tanto en Chile como en el resto de los países de la región y el Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA), un equipo de colaboradores que trabajan con libertad de aportar sus ideas, conocimientos, desarrollos y proyectos para que cualquier persona pueda tener acceso a una fuente de energía limpia y a bajo costo.

La figura 25 muestra la irradiación en todo el territorio nacional colombiano obtenida del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Donde se observa un promedio de radiación solar en el departamento de Norte de Santander.

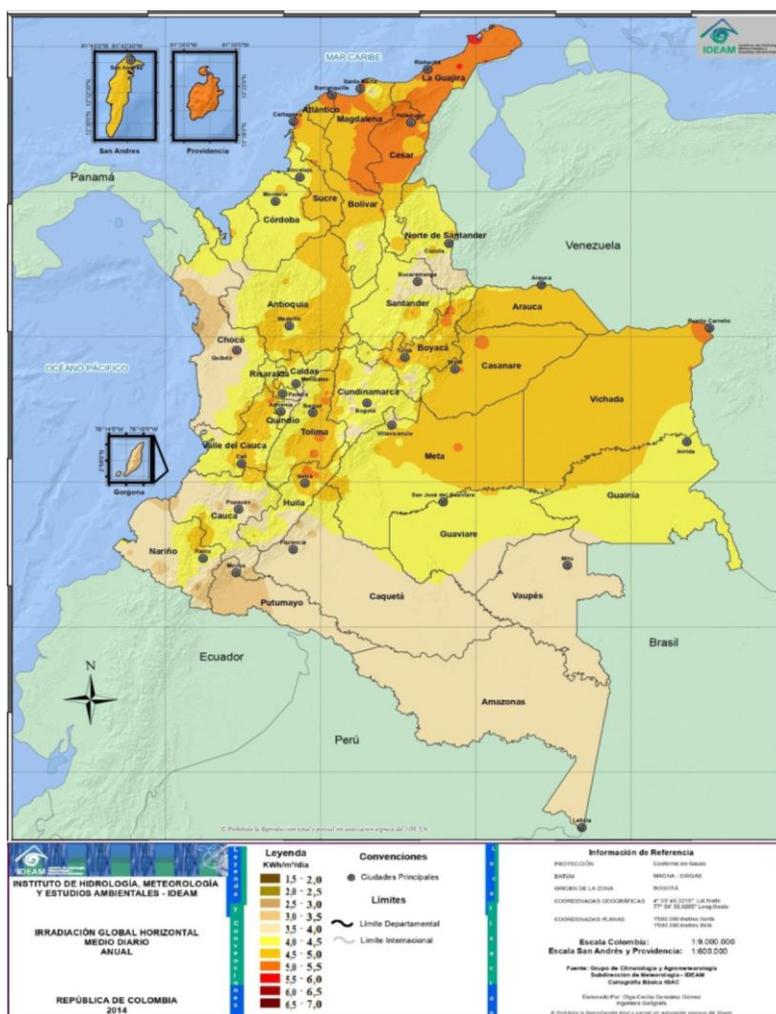


Figura 25. Irradiación global horizontal anual

Fuente: IDEAM, 20201.

La figura 26 muestra la irradiación solar promedio anual ya ubicada en el departamento Norte de Santander con una latitud de 7.92 grados, una longitud de -72.5 grados y una elevación de 250 metros, basado en un historial obtenido por ENERGIE, esta gráfica nos indica el promedio de

irradiación solar mes a mes en KW-h/m² para la determinación promedio anual de la irradiación solar en Cúcuta Norte de Santander que es de 4.4438 KW-h/m² por día.

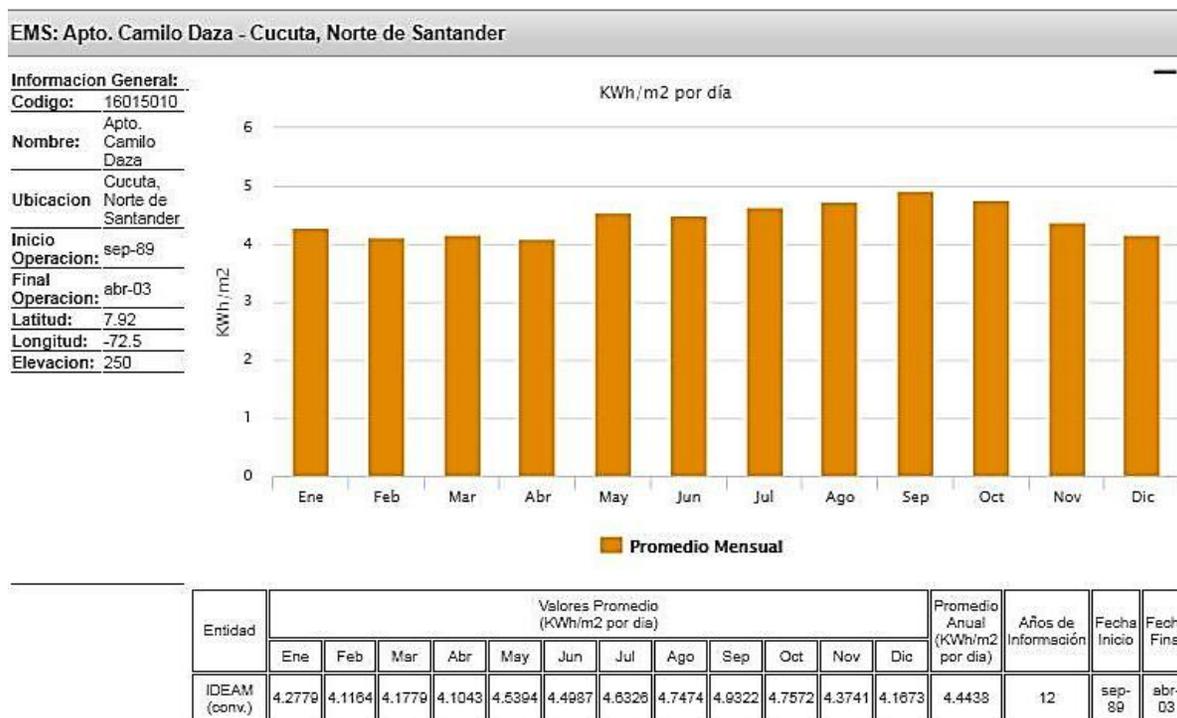


Figura 26. Irradiación promedio anual por ENERGIE

Fuente: Informa Colombia, 2021.

Las siguientes figuras proporcionan una información más precisa del lugar de estudio para la realización del diseño solar fotovoltaico, las cuales se tomaron de la plataforma de CCEEA.

La figura 27 muestra la ubicación exacta del colegio Nuestra Señora de Belén donde se observa una perspectiva de su construcción.

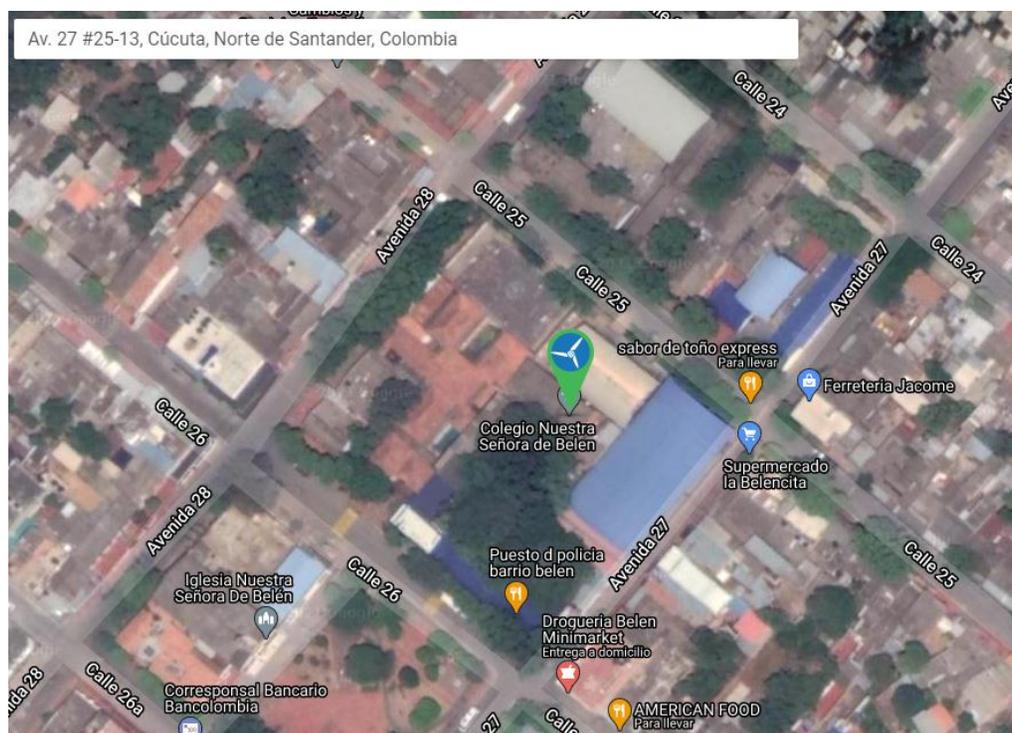


Figura 27. Ubicación Colegio Nuestra Señora de Belén

Fuente: Cceea, 2021.

La figura 28 muestra un promedio de horas solares mes a mes del departamento Norte de Santander Cúcuta barrio Belén donde se observa que esta zona cuenta con una latitud de 7.8750, un ángulo óptimo de 7 grados, la insolación promedio con un valor de 4.75 horas solar a 7 grados y una insolación promedio en ángulo óptimo de 4.93 horas solar , todos estos datos corresponden al colegio Nuestra Señora de Belén los cuales proporciona CCEEA con una precisión adecuada para la realización de los cálculos del diseño del proyecto.

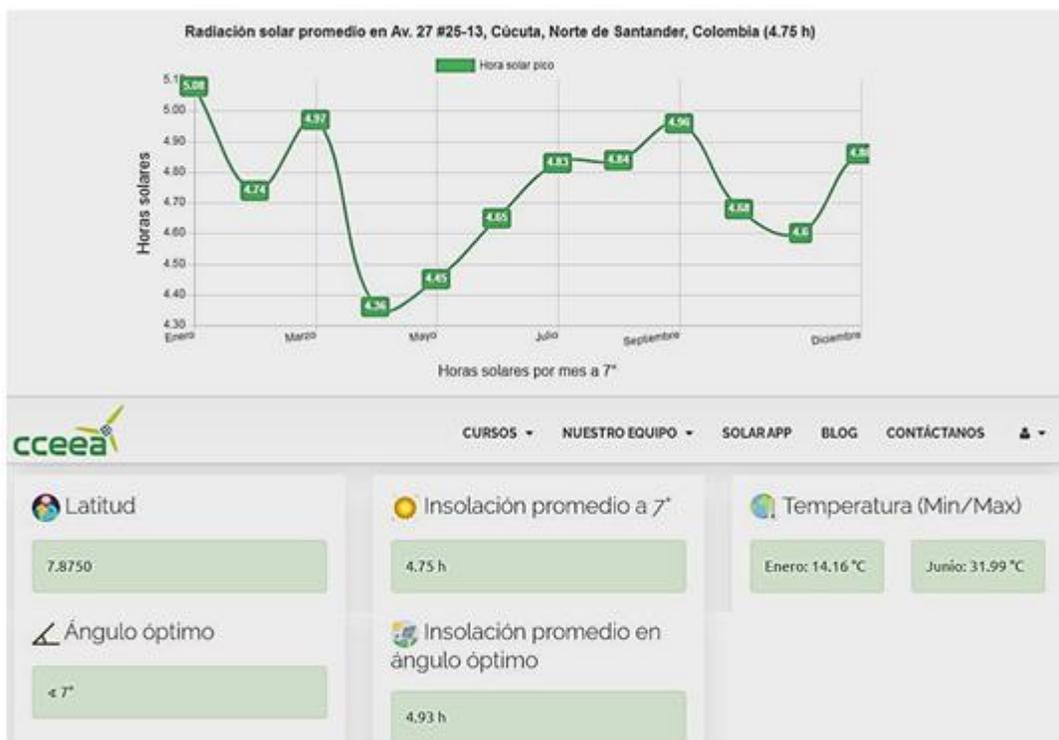


Figura 28. Radiación Solar Promedio

Fuente: Cceea, 2021.

Por último la figura 29 proporciona información de la radiación solar mes a mes así como su promedio anual para los diferentes ángulos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7.8750,-72.5280	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio anual
Difusa	1,82	2,13	1,94	1,78	2,11	2,05	2,24	2,33	2,23	2,13	2,13	2,24	2,25
Directa	4,88	3,67	3,94	4,63	4	4,21	3,93	3,02	3,49	4,1	4,31	3,94	3,92
Ángulo HORIZONTAL	4,82	4,6	4,93	4,41	4,58	4,84	5,01	4,94	4,96	4,58	4,41	4,59	4,72
Ángulo LATITUDE	5,08	4,74	4,97	4,36	4,45	4,65	4,83	4,84	4,96	4,68	4,6	4,86	4,75
Ángulo LAT_MINUS15	4,54	4,43	4,84	4,41	4,64	4,94	5,11	4,97	4,9	4,44	4,2	4,31	4,65
Ángulo LAT_PLUS15	5,37	4,81	4,87	4,12	4,05	4,13	4,32	4,48	4,78	4,69	4,78	5,18	4,63
Ángulo VERTICAL	3,43	2,6	2,09	1,53	1,45	1,41	1,45	1,48	1,75	2,37	2,94	3,47	2,16
Rad opt	5,41	4,82	4,97	4,42	4,66	5,01	5,16	4,97	4,97	4,71	4,79	5,24	4,93
Ang opt	31	20,5	9	3,5	12,5	18	16,5	8	4	16,5	27,5	33,5	7

Figura 29. Radiación mensual a diferentes ángulos

Fuente: Cceea, 2021.

4.5 Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

4.5.1 Sistema On gris. Para instalaciones de uso diario como lo son los sistemas On grid se determinaron cada uno de los elementos que conforman dicho sistema para lo cual se parte de la energía total necesaria 153.900 KW-h y mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Nro. de paneles} = \text{Etn}/(\text{HSP} * \text{Pppanel} * \text{Rendimiento de trabajo}) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

Etn = Energía total necesaria (Wh)

HSP = Horas solar pico (H)

Pppanel = Potencia pico del panel (W)

El rendimiento de trabajo tiene en cuenta debido a las pérdidas por temperatura, suciedad, eficiencia del panel, cableado y eficiencia del inversor. En instalaciones con inversor se tomó como valor típico 0.8 (Callejon & Santamaria).

Las HSP en sistemas fotovoltaicos se trabaja en condiciones más desfavorables para asegurarnos que el diseño cumpla con la demanda de energía eléctrica requerida durante el día, para el diseño se tomó 4.36 horas.

4.5.2 Selección del panel. La selección del panel para el diseño fotovoltaico se basó en los criterios que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Comparativa de paneles en el mercado

Criterios		Panel JAM72S20-450/MR HALF CELL	Panel LR4-72HPH LONGI	Panel ERA SOLAR 72CELL
1	Potencia (W)	450	450	340
2	Eficiencia (%)	20,2	20,7	17,5
3	Tecnología	MBB- HALFCCELL	PERC-HALF CELL	MBB
4	Durabilidad (Años)	25	25	25
5	Coefficiente de temperatura para la potencia (%/°C)	-0,35	-0,35	-0,38
6	Tipo	Monocristalino	Monocristalino	Policristalino
7	Tamaño LxWxH (mm)	2120*1052*40	2094*1038*35	1956*992*40
8	Precio (\$)	674,492	660,000	552,160

En base a estos criterios en condiciones de prueba estándar (STC) la opción más apropiada para el sistema fotovoltaico es el panel monocristalino LR4-72HPH LONGI el cual tiene una mayor eficiencia, es de menor tamaño, costo accesible y una gran combinación de tecnología PERC-HALF CELL, sus respectivos datos eléctricos se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Datos eléctricos panel LR4-72HPH LONGI

Parámetro eléctricos	Valor
Potencia máxima Pmax (W)	450
Voltaje de circuito abierto Voc (V)	49,3
Corriente de corto circuito Isc (A)	11,6
Voltaje a máxima potencia Vmp (V)	41,5
Corriente a máxima potencia Imp (A)	10,85

4.5.3 Cálculo del número de paneles utilizando la ecuación 1. Como se muestra a continuación:

$$\text{Nro. de paneles} = \frac{153.900\text{Wh}}{(4.36\text{h} * 450\text{w} * 0.8)} = 98.05 \approx 99$$

Con la cantidad de paneles se realizaron los demás cálculos correspondientes al sistema fotovoltaico On grid.

4.5.4 Cálculo de la potencia del inversor. Como se muestra a continuación:

$$\text{Potencia del inversor} = D_{\text{max}} * C_s \quad \text{Ecuación (2)}$$

Dónde:

D_{max} = Demanda máxima (KW)

C_s = La potencia del convertidor de CC/AC la tendremos que elegir en función de la suma de todas las potencias nominales de los equipos consumidores multiplicado por el coeficiente de simultaneidad de uso de estos, normalmente valores que van de 0,5-0,7 (Click Renovables, 2015).

Para el sistema On grid se tomó el coeficiente de simultaneidad 0.7 de tal manera que la potencia del convertidor es:

$$\text{Potencia del inversor} = 14.695\text{KW} * 0.7 = 10.286\text{KW}$$

4.5.5 Cálculo de la potencia fotovoltaica. Como se muestra a continuación:

$$P.Fv = \text{Nro. de paneles} * P_{\text{panel}} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Dónde:

P.Fv = Potencia fotovoltaica (KW)

Nro. De paneles = Cantidad de paneles calculados

P_{panel} = Potencia pico del panel (W)

$$P.Fv = 99 * 450\text{W} = 44.55\text{KW}$$

En base a esta potencia fotovoltaica se selecciona el inversor on grid que soporte una potencia fotovoltaica mínima de 45KW para el sistema On grid.

4.5.6 Selección del inversor. Para la selección del inversor conectado a la red para el diseño fotovoltaico se basó en los criterios que se muestran a en la tabla 8.

Tabla 8. Comparativa de inversores On grid en el mercado

	Criterios	Inversor GROWATT MAX 50-80KTL3	Inversor CSP 50/60KW	Inversor SOLIS 50K
1	Potencia (W)	50000	50000	50000
2	Potencia Fotovoltaica (W)	65000	75000	60000
3	Eficiencia (%)	98,8	98,8	98,8
4	Rango de temperatura (°C)	(-25 a 60)	(-30 a 60)	(-25 a 60)
5	String por MPPT	2	5	3
6	Tipo	Trifásico	Trifásico	Trifásico
7	Rastreador de punto máximo de potencia (MPPT)	6	3	4
8	Rango de Voltaje por MPPT (Vdc)	200-1000	480-850	200-1000
9	Máxima corriente de entrada por MPPT (A)	25	36	28,5
10	Precio (\$)	11,411,910	19,900,000	8,999,325

En esta selección se tuvo en cuenta la corriente de nuestro panel seleccionado la cual es de 10.85 A, debido a que el número de string por MPPT da la corriente total de entrada, se debe tomar en cuenta que cada MPPT soporta una corriente máxima de entrada.

Con relación a lo anterior y basado en los criterios de selección la opción más conveniente es el inversor GROWATT MAX 50-80KTL3 que por su número de string y nuestra corriente del panel nos da como resultado 21.7 A, valor que no supera el límite de máxima corriente de entrada por MPPT que es 25 A.

4.5.7 Cálculo de paneles en serie mínimo. Como se muestra a continuación:

$$N_{min_ps} = V_{min_inv} / V_{min_p} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Dónde:

N_{min_ps} = Número mínimo de paneles en serie

V_{min_inv} = Voltaje mínimo del inversor (V)

V_{min_p} = Voltaje mínimo del panel (V)

$$N_{min_ps} = \frac{200v}{41.5v} = 4.81 \approx 5$$

4.5.8 Cálculo de paneles en serie máximo. Como se muestra a continuación:

$$N_{max_ps} = (V_{max_inv})/(V_{max_p}) \quad \text{Ecuación (5)}$$

Dónde:

N_{max_ps} = Número máximo de paneles en serie

V_{max_inv} = Voltaje máximo del inversor (V)

V_{max_p} = Voltaje máximo del panel (V)

$$N_{max_ps} = \frac{1000v}{49.3v} = 20.28 \approx 20$$

El número de paneles en serie a utilizar esta en el rango de 5 a 20 paneles según la ecuación 4 y 5, dependiendo del número máximo de paneles a utilizar en el sistema fotovoltaico y con relación al número de serie de paneles en paralelo se seleccionó un número adecuado y se ajustó para que cada string quede de igual número de paneles en serie.

4.5.9 Cálculo de número de series de paneles en paralelo. Como se muestra a

continuación:

$$N_{spp} = \text{Nro. de paneles} / N_{ps} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Dónde:

N_{spp} = Numero de series de paneles en paralelo

Nro. de paneles = Numero de paneles

N_{ps} = Numero de paneles en serie

Se realizó el cálculo tomando como 13 el número de paneles en serie.

$$N_{spp} = \frac{99}{13} = 7.615 \approx 8$$

En total serian 8 series de paneles en paralelo, cada serie de 13 paneles para un total de 104 paneles en total para el sistema fotovoltaico.

4.5.10 Cálculo de voltaje máximo del campo de paneles. Como se muestra a continuación:

$$V_{\text{max_camp}} = N_{ps} * V_{\text{max_p}} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Dónde:

$V_{\text{max_camp}}$ = Voltaje máximo de campo (V)

N_{ps} = Numero de paneles en serie

V_{\max_p} = Voltaje mínimo del panel (V)

$$V_{\max_camp} = 13 * 49.3v = 640.9v$$

4.5.11 Cálculo de voltaje mínimo del campo de paneles. Como se muestra a continuación:

$$V_{\min_camp} = Nps * V_{\min_p} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Dónde:

V_{\min_camp} = Voltaje mínimo de campo (V)

Nps = Numero de paneles en serie

V_{\min_p} = Voltaje mínimo del panel (V)

$$V_{\min_camp} = 13 * 41.5v = 539.5v$$

4.5.12 Corriente máxima del campo de paneles. Como se muestra a continuación:

$$I_{\max_camp} = Nspp * I_{\max_p} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Dónde:

I_{\max_camp} = Corriente máxima del campo de paneles (A)

$Nspp$ = Numero de series de paneles en paralelo

I_{\max_p} = Corriente máxima del panel (A)

$$I_{\max_camp} = 8 * 10.85A = 86.8 A$$

4.5.13 Cableado. El cableado es el encargado de conectar los distintos paneles solares con las cajas de conexiones y otros elementos. Este cableado de paneles se debe realizar con materiales de alta calidad para que asegure la durabilidad y la confiabilidad del sistema a la intemperie. El cableado evidentemente tendrá que cumplir con el reglamento técnico de baja tensión. Los cables utilizados tendrán una capa de protección con un material resistente a la intemperie y la humedad, de tal forma que no le afecten internamente los agentes atmosféricos (Espitia, 2017).

Para el cálculo del cableado se consideró la caída de tensión admisible en cada uno de los tramos del sistema fotovoltaico los cuales se muestran en la tabla 9:

Tabla 9. % de caída de tensión admisible

Subsistema	Caída tensión Máxima	Recomendada
Paneles – Regulador	3%	1%
Regulador – Baterías	1%	0,50%
Baterías – Inversor	1%	1%

Se seleccionó el calibre del conductor adecuado con relación a la siguiente figura 30.

CABLE CENTELSA FOTOVOLTAICO TIPO PV XLPE 2000V 90°C SR				
Calibre	Área nominal de la sección transversal	Espesor nominal del aislamiento	Diámetro total aproximado	Peso total aproximado
AWG/kcmil	mm ²	mm	mm	Kg/Km
14	2,08	1,91	6,0	47
12	3,31	1,91	6,5	62
10	5,26	1,91	7,1	84
8	8,37	2,16	8,3	126
6	13,30	2,16	9,2	177
4	21,15	2,16	10,4	260
2	33,62	2,16	11,9	386
1	42,41	2,67	14,2	510
1/0	53,48	2,67	15,2	602
2/0	67,43	2,67	16,4	739
3/0	85,01	2,67	17,6	912
4/0	107,2	2,67	19,1	1128
250	126,7	3,05	21,0	1346
300	152,0	3,05	22,4	1592
350	177,3	3,05	23,6	1837
400	202,7	3,05	24,8	2081
500	253,4	3,05	26,9	2567
600	304,0	3,43	29,7	3085
750	380,0	3,43	32,3	3810
1000	506,7	3,43	36,1	5011

Figura 30. Cable centelsa para diferentes calibres

Fuente: Centelsa, 2021.

4.5.14 Cable centelsa fotovoltaico tipo PV XLPE 2000V. Cable formado por un conductor de cobre suave flexible, aislado en un material termoestable de polietileno reticulado (XLPE), resistente a la intemperie apto para enterrado directo (Dir Bur – Direct Burial), con una temperatura máxima de operación de 90°C en ambientes secos húmedos o mojados y un nivel de tensión máximo de 2000 V (Centelsa, 2021).

4.5.15 Cálculo del conductor de panel a inversor. Como se muestra a continuación:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\Delta U \cdot K} \quad \text{Ecuación (10)}$$

Dónde:

S = Sección del conductor (mm²)

L = Longitud del conductor considerado (m)

I = Corriente que circula por el conductor (A)

ΔU = Caída de tensión máxima permitida en el tramo (V)

K = Conductividad del conductor del cable, 56 Cu, 35 Al (S/m)

$$S = \frac{2 * 20m * 86.8A}{(0.03 * 640.9v) * (56 \frac{S}{m})} = 3.22 \text{ mm}^2$$

Se tomó con base a la sección del conductor de 3.22 mm² el calibre 12 AWG para la interconexión de los diferentes elementos.

4.5.16 Cálculo del conductor de inversor a tablero principal. Considerando la corriente de salida del inversor en AC la cual es de 80.5 A y en base a la normatividad RETIE (protecciones contra sobre corrientes) la sección del cableado es 6AWG tomando en cuenta la figura 31 de centelsa la cual estipula la máxima capacidad de corriente para la sección transversal del tramo inversor-tablero principal.

CENTElsa PV FOTOVOLTAICO Cu 90°C XLPE 2 kV SR

CABLE CENTELSA FOTOVOLTAICO PV XLPE 2000 V 90 °C SR

Conductor		Aislamiento		Peso Total Aproximado	Ampacidad ⁽¹⁾	
Calibre	Resistencia Eléctrica DC a 20 °C	Espesor Nominal	Diámetro Aproximado		Un Cable al Aire	Hasta Tres Conductores en Ducto
AWG	Ω/km	mm	mm	kg/km	A	
14	8,4443	1,90	5,92	50	30	23
12	5,3149	1,90	6,42	65	41	30
10	3,3436	1,90	7,06	88	56	41
8	2,1021	2,16	8,36	126	78	55
6	1,3226	2,16	9,42	182	106	73
4	0,8478	2,16	10,44	263	141	96
2	0,5332	2,16	11,98	389	190	129
1/0	0,3351	2,67	14,94	604	259	172
2/0	0,2659	2,67	16,08	739	300	194
4/0	0,1688	2,67	19,52	1140	405	260
250	0,1429	3,05	21,56	1365	455	290
500	0,0728	3,05	30,69	2650	703	430

Figura 31. Cable sentelsa fotovoltaico para diferentes calibres

Fuente: Centelsa, 2021.

4.5.17 Tubería. Para la selección de la tubería se tuvo en cuenta la siguiente figura 32, la cual dependiendo de la sección del conductor y el número de conductores que deben pasar por el ducto se obtuvo el diámetro adecuado para la tubería.

Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	16
2,5	12	12	16	16	20
4	12	16	20	20	20
6	12	16	20	20	25
10	16	20	25	32	32
16	16	25	32	32	32
25	20	32	32	40	40
35	25	32	40	40	50
50	25	40	50	50	50
70	32	40	50	63	63
95	32	50	63	63	75
120	40	50	63	75	75
150	40	63	75	75	--
185	50	63	75	--	--
240	50	75	--	--	--

Figura 32. Diámetro de tubería según la sección y número de conductores (RETIE)

Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013.

4.5.18 Tubería Conduit. La tubería Conduit, tubos de 3 metros con campana para uniones soldadas, cumplen para instalaciones eléctricas embebidas en placas de concreto, en muros de mampostería y en muros de placas planas que le provean resistencia al fuego de mínimo 15 minutos.

Fabricada bajo la Norma Icontec 979 y garantizada para la conducción de cables en instalaciones eléctricas de acuerdo a lo establecido en el Código Colombiano de Instalaciones Eléctricas NTC 2050 (PAVCO).

4.5.19 Tubería para conductores. Debido a la sección de 3.22 mm² de los conductores en corriente directa anteriormente calculada la tubería que se tomó considerando un número total de

dos conductores es de 12 mm de diámetro exterior.

Para la tubería en corriente alterna con una sección de 41.55mm² de los conductores y considerando un número total de 3 conductores corresponde a la tubería de 40 mm de diámetro exterior.

4.5.20 Protecciones. Las protecciones se muestran a continuación:

4.5.20.1 Protecciones de panel a inversor. Para esta parte se tuvo en cuenta el voltaje máximo del campo de paneles (V_{max_campo}), la corriente total del campo de paneles (I_{max_campo}) y la corriente del panel (I_{max_p}).

$$V_{max_campo} = 640.9V$$

$$I_{max_campo} = 86.8A$$

$$I_{max_p} = 10.85A$$

El Artículo 210-22 literal c) de la NTC2050 y 210.20 de la NEC expresa lo siguiente:

c) Otras cargas.

La corriente nominal de los dispositivos de protección contra sobre corriente de los circuitos ramales que alimentan cargas continuas, como la iluminación de las tiendas y otras cargas similares, no debe ser menor a la carga no continua más el 125 % de la carga continua. El calibre mínimo de los conductores del circuito ramal, sin aplicación de ningún factor de ajuste, deberá tener una capacidad de corriente igual o superior al de carga no continua más el 125 % de la carga continua.

Se acepta aplicar factores de demanda para cargas de estufas según la tabla 220-19, incluyendo la nota 4.

Excepción. Los circuitos alimentados por un conjunto de conductores y conectores que, junto con sus dispositivos de protección contra sobre corriente, estén certificados para funcionamiento continuo al 100% de su corriente nominal.” Debido a que comúnmente no sabemos con exactitud si las cargas a conectar son continuas o no continuas, se toma la peor condición, ósea que se asume que las cargas son continuas, aplicando el 125% de la corriente nominal para calcular la protección (RETIE, Reglamento tecnico de instalaciones electricas, 2013).

4.5.21 Cálculo de fusible. Como se muestra a continuación:

$$C_{fus} = I_{maxc} * 1.25 \quad \text{Ecuación (11)}$$

C_{fus} = Capacidad del fusible (A)

I_{maxc} = Corriente máxima que circula por el conductor (A)

$$C_{fus} = 10.85A * 1.25 = 13.45A$$

Con lo anterior se seleccionó para un total de 8 string de 13 paneles 16 fusibles tipo riel con caja de 15A y 1000Vdc considerando uno por cada conductor y un DPS de 1000Vdc con una corriente de 25KA.

4.5.22 Protecciones de inversor a tablero principal. Para esta selección se tomó el voltaje en corriente alterna (V_{ac}), la potencia (P_{inv}) y la corriente (I_{ac}).

$$V_{ac} = 230V$$

$$P_{inv} = 50KW$$

$$I_{ac} = 125 A$$

De acuerdo con la normatividad RETIE, establece que las protecciones contra sobre corrientes, debe ser 1.25 veces la corriente nominal del ramal que alimenta las cargas. Por tanto, tomando en cuenta que la corriente nominal es 125 Amperios, y el 1.25 de esta corriente nominal, corresponderá a 156 A.

Con estos parámetros eléctricos se seleccionó para las protecciones en corriente alterna un total de tres DPS VCL SLIM 275VAC 20KA y un interruptor automático EasyPact CVS250B TMD de 175-250 A.

4.5.23 Sistema de puesta a tierra. Toda instalación eléctrica objeto del RETIE, excepto donde se indique expresamente lo contrario, tiene que disponer de un sistema de puesta a tierra (SPOT), para evitar que personas en contacto con la misma, tanto en el interior como en el exterior de la edificación, queden sometidas a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano, cuando se presente una falla. La exigencia de puestas a tierra para instalaciones eléctricas cubre el sistema eléctrico como tal y los apoyos o estructuras metálicas que, ante una sobretensión temporal, puedan desencadenar una falla permanente a frecuencia industrial, entre la estructura puesta a tierra y la red (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, s,f).

4.5.24 Esquema de conexiones sistema On gris. En la figura 33 se muestran las diferentes conexiones entre los componentes principales del sistema fotovoltaico On grid.

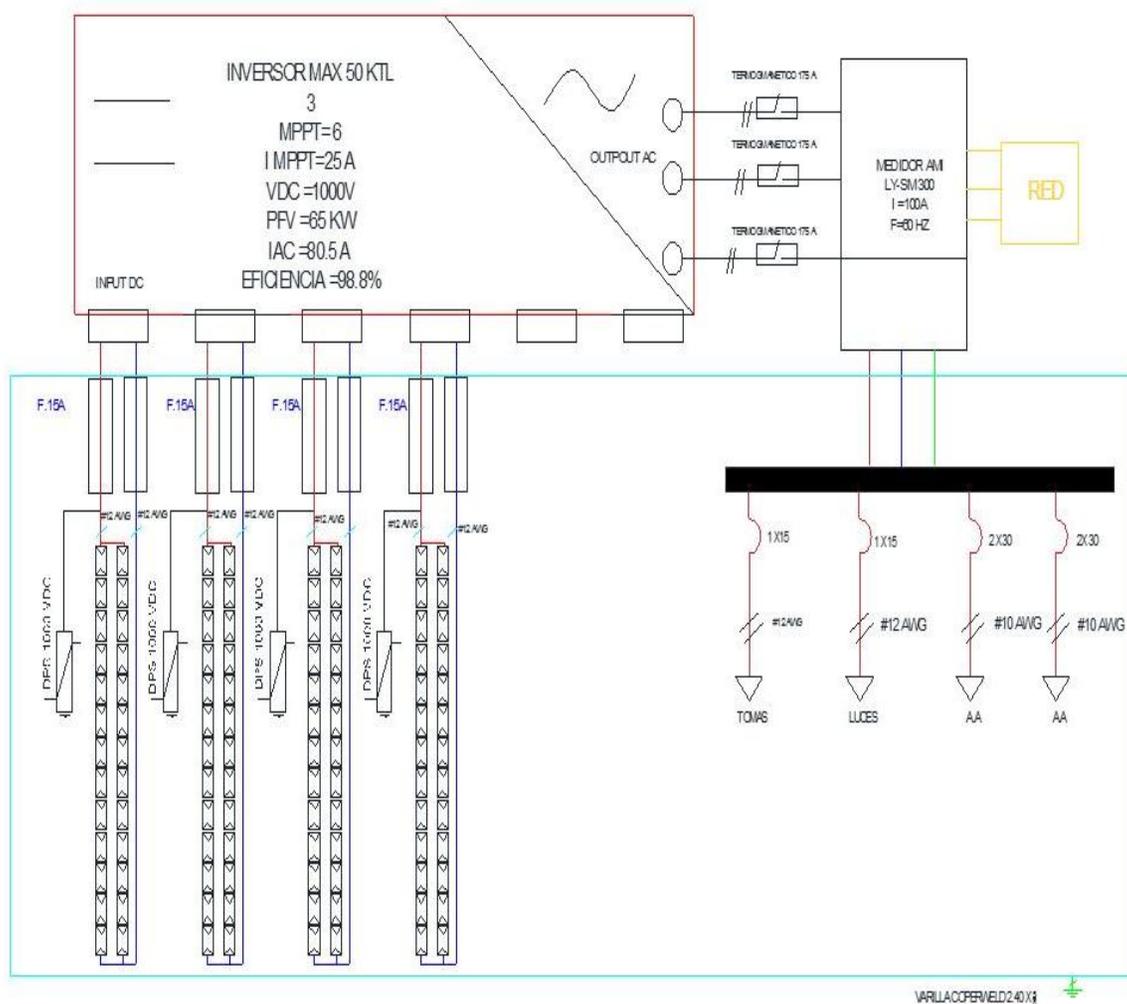


Figura 33. Conexión de componentes para sistema fotovoltaico conectado a la red

4.5.25 Diagrama unifilar del sistema On gris. En la figura 34 se muestra una representación gráfica integral y sencilla de las conexiones eléctricas entre componentes del sistema fotovoltaico On grid.

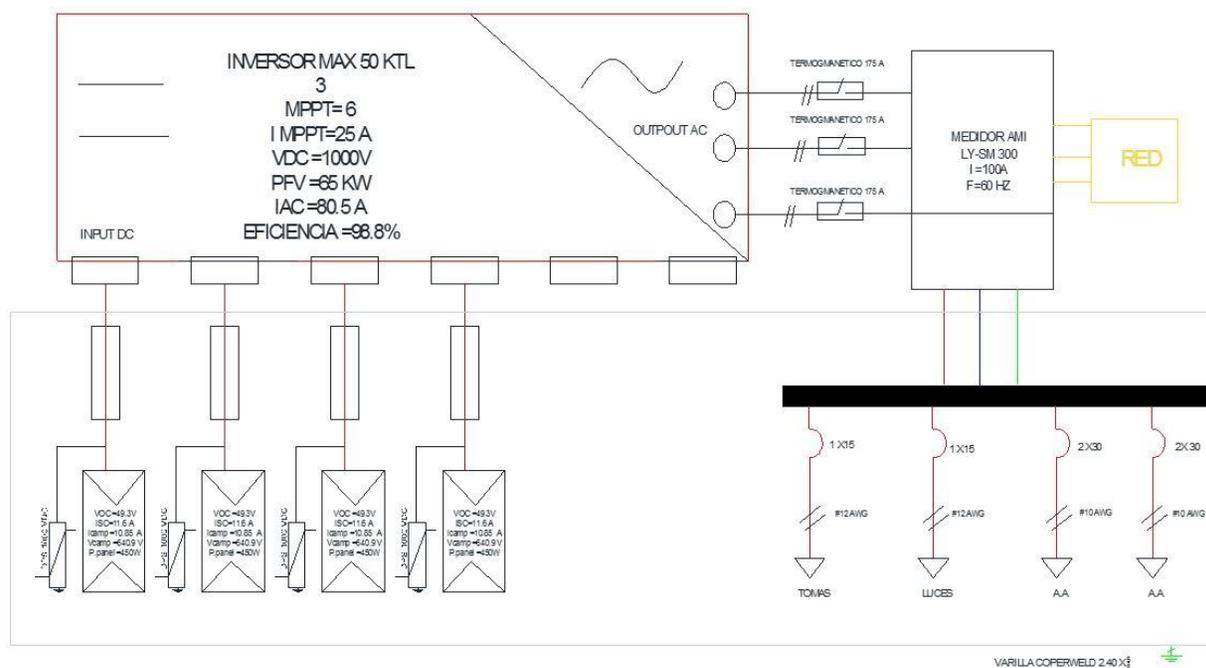


Figura 34. Diagrama simplificado de sistema fotovoltaico conectado a la red

4.6 Dimensionamiento Sistema Off Grid

Para el sistema Off grid se tomaron en cuenta las ecuaciones anteriormente mencionadas en el sistema On grid, ya que la energía total necesaria es la misma 153.900 KW-h, también se tomó el mismo panel monocristalino LR4-72HPH LONGI.

Tabla 10. Datos eléctricos panel LR4-72HPH LONGI

Parámetros eléctricos	Valor
Potencia máxima Pmax (W)	450
Voltaje de circuito abierto Voc (V)	49,3
Corriente de corto circuito Isc (A)	11,6
Voltaje a máxima potencia Vmp (V)	41,5
Corriente a máxima potencia Imp (A)	10,85

4.6.1 Cálculo del número total de paneles. De la ecuación 1:

$$\text{Nro. de paneles} = \frac{153.900\text{Wh}}{(4.36\text{h} * 450\text{w} * 0.8)} = 98.05 \approx 99$$

4.6.2 Cálculo de la potencia del inversor. De la ecuación 2:

$$\text{Potencia del inversor} = 14.695\text{KW} * 0.6 = 8.817\text{KW}$$

4.6.3 Cálculo de la potencia fotovoltaica. De la ecuación 3:

$$P.F_v = 99 * 450\text{W} = 44.55\text{KW}$$

En base a esta potencia fotovoltaica se debe seleccionar el inversor off grid que soporte una potencia fotovoltaica mínima de 45KW para el sistema Off grid.

4.6.4 Selección del inversor. Para la selección del inversor fuera de red para el diseño fotovoltaico se basó en los criterios que se muestran a en la tabla 11.

Tabla 11. Comparativa de inversores Off grid en el mercado

Criterios	Inversor Híbrido 10KW 48V 80A Infinisolar	Inversor Híbrido 48V SPH5000TLBL-Growatt	Inversor Híbrido 48V 8KW	Inversor Híbrido 6.5kW 48V Voltronic Axpert VMIII
1 Potencia (W)	10000	6000	8000	6500
2 Potencia Fotovoltaica (W)	14850	8000	10400	8000
3 Eficiencia (%)	96	97,5	97,6	93
4 Rango de temperatura (°C)	(-10 a 55)	(-25 a 60)	(-25 a 60)	(-10 a 50)
5 Conexión en paralelo (Unidades)	6	N/A	N/A	6
6 Tipo	Trifásico	Fase partida	Monofásico	Monofásico
7 Numero de MPPT (Unid)	2	2	2	2
8 Rango de Voltaje por MPPT (Vdc)	400-800	150-550	125-425	90-230
9 Corriente de entrada (A)	2/2*18,6	13	18+18	120
10 Precio (\$)	15,465,240	7,070,000	3,255,075	6,138,757

En esta selección se tuvo en cuenta la corriente del panel seleccionado la cual es de 10.85 A, debido a que el número de string por MPPT da la corriente total de entrada, se debe tomar en cuenta que cada MPPT soporta una corriente máxima de entrada.

Con relación a lo anterior y basado en los criterios de selección se tomó el inversor híbrido 10KW 48V 80A infinisolar el cual soporta una potencia fotovoltaica de 14850W, como se debe cubrir la demanda del campo de paneles la cual es de 44.5KW se deben utilizar tres unidades de este tipo ya que por sus características de conexiones en paralelo se pueden conectar hasta seis unidades.

Tomando las tres unidades en paralelo son 44.550KW lo cual está al límite con la potencia del campo de paneles, debido a que en el sistema fotovoltaico se realizó un sobredimensionamiento por pérdidas que se tienen en cuenta no afecta que la potencia de los inversores en paralelo y la potencia del campo de paneles estén en el mismo valor.

4.6.5 Cálculo de paneles en serie mínimo. De la ecuación 4:

$$N_{\min_{ps}} = \frac{400}{41.5v} = 9.63 \approx 10$$

4.6.6 Cálculo de paneles en serie máximo. De la ecuación 5:

$$N_{\max_{ps}} = \frac{800v}{49.3v} = 16.227 \approx 16$$

El número de paneles en serie a utilizar está en el rango de 10 a 16 paneles según la ecuación 4 y 5, dependiendo del número máximo de paneles a utilizar en el sistema fotovoltaico y con relación al número de serie de paneles en paralelo se seleccionó un número adecuado y se ajustó para que cada string quede de igual número de paneles en serie.

4.6.7 Cálculo de número de series de paneles en paralelo. De la ecuación 6:

$$N_{spp} = \frac{99}{13} = 7.615 \approx 8$$

En total serían 8 series de paneles en paralelo, cada serie de 13 paneles para un total de 104 paneles en total para el sistema fotovoltaico.

Debido a que el número en paralelo de string es de 8 se consideró nuevamente la cantidad de inversores a conectar en paralelo ya que cada inversor cuenta con dos MPPT con capacidad de conectar máximo dos string en paralelo por cada MPPT sin sobrepasar la potencia fotovoltaica límite del inversor la cual es de 14850W.

Con relación a lo anterior se tomó un total de cuatro inversores para conectar en paralelo cubriendo la potencia fotovoltaica requerida y se obtuvo un total de ocho MPPT para conectar un string por cada MPPT.

Se tuvo en cuenta que el rango de string está entre 10 y 16 paneles, para lo cual si se tiene que la potencia del panel es de 450W con 10 paneles en serie se obtiene 4500W y con 16 paneles en serie 7200W con esto se determinó que si se debe conectar 8 paralelos de 13 paneles cada uno según los cálculos realizados lo más conveniente es conectar un string por MPPT de esta manera cada string recibe 5850W y como son dos MPPT en total da 11700W valor que está por debajo de la potencia fotovoltaica límite del inversor.

4.6.8 Cálculo de voltaje máximo del campo de paneles. De la ecuación 7:

$$V_{maxcamp} = 13 * 49.3 = 640.9 \text{ V}$$

4.6.9 Cálculo de voltaje mínimo del campo de paneles. De la ecuación 8:

$$V_{\text{mincamp}} = 13 * 41.5v = 539.5v$$

4.6.10 Corriente máxima del campo de paneles. De la ecuación 9

$$I_{\text{max_camp}} = 8 * 10.85A = 86.8 A$$

4.6.11 Cálculo de las baterías. Como se muestra a continuación:

Cálculo del total de amperios/horas:

$$Tot_Ah = (E_{\text{tn}} / \eta_{\text{inv}}) / V_{\text{sist}} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Dónde:

Tot_Ah = Capacidad total para las baterías (Ah)

Ent = Energía total necesaria (KW)

η_{inv} = Eficiencia del inversor Dc/Ac (%)

Vsist = Voltaje de alimentación del sistema (V)

$$Tot_Ah = \frac{153.900KW}{\frac{91\%}{48v}} = 3523.35 Ah$$

Se tomó la batería en GEL 6V-500Ah/C100 Tensite para la implementación del banco de baterías.

La batería en GEL 6V-500Ah/C100 Tensite es una batería mono-bloc de tecnología GEL sellada sin mantenimiento ideal para ser destinada a la alimentación de sistemas fotovoltaicos, es

necesario que la batería llegue a su máximo nivel de energía cada cierto tiempo. No tenemos que agotar al máximo la capacidad de la batería. Recomendamos que la profundidad de descarga esté en torno al 10% y 60% como tope máximo. De esta manera, la duración de la batería GEL 6V 500Ah Tensite será la dispuesta por el fabricante (Centelsa, 2021).

La ubicación para el banco de baterías se estableció en el aula AG101 , el cual se encuentra en la parte posterior donde se situó el inversor del sistema fotovoltaico, asegurando que el área seleccionada tenga la ventilación adecuada y el espacio idóneo para el almacenamiento del banco sin problemas de espacio y fuera del alcance de personal no autorizado.

4.6.12 Cálculo de baterías en serie y paralelo. Como se muestra a continuación:

Baterías en serie:

$$T_{bat_s} = V_{sist}/V_b \quad \text{Ecuación (13)}$$

Dónde:

T_{bat_s} = Total de baterías en serie

V_{sist} = Voltaje del sistema (V)

V_b = Voltaje de la batería (V)

$$T_{bat_s} = \frac{48v}{6v} = 8$$

Baterías en paralelo:

$$T_{bat_p} = (Tot_Ah * D / P_{des}) / C_{bat} \quad \text{Ecuación (14)}$$

Para los días de autonomía se tomó 1 día ya que el sector de estudio para el sistema fotovoltaico se encuentra en el departamento Norte de Santander el cual cuenta con un gran potencial de energía solar diaria.

Dónde:

Tbat_p = Total de baterías en paralelo

Tot_Ah = Capacidad total para las baterías (Ah)

D = Días de autonomía

Pdes = Profundidad de descarga (%)

Cbat = Capacidad de la batería (Ah)

Realizando los cálculos se obtuvo

$$T_{bat_p} = \frac{3523.35 \text{ Ah} * 1}{\frac{60\%}{500\text{Ah}}} = 11.744 \approx 12$$

El total de baterías utilizado es de 96 teniendo 12 paralelos de 8 baterías en serie.

4.6.13 Conductores. Para la selección de los conductores se consideró las figuras 30 y 31 de centelsa y la tabla de caída de tensión admisible para cada tramo del sistema fotovoltaico.

4.6.14 Cálculo del conductor de panel a inversor. De la ecuación 10:

$$S = \frac{2 * 20\text{m} * 86.8\text{A}}{(0.03 * 48\text{v}) * (56 \frac{\text{S}}{\text{m}})} = 43.055 \text{ mm}^2$$

Se tomó con base a la sección del conductor de 43.055 mm² el calibre 1 AWG para la interconexión del panel a inversor.

4.6.15 Cálculo de los conductores de controlador a baterías. De la ecuación 10:

$$S = \frac{2*6m*25A}{(0.01*48v)*(56\frac{S}{m})} = 11.16 \text{ mm}^2$$

Se tomó con base a la sección del conductor de 11.16 mm² el calibre 8 AWG para la interconexión del inversor a baterías.

4.6.16 Cálculo de los conductores de baterías a inversor. De la ecuación 10:

$$S = \frac{2*6m*208.3A}{(0.01*48v)*(56\frac{S}{m})} = 92.99 \text{ mm}^2$$

Se tomó con base a la sección del conductor de 92.99 mm² el calibre 3/0 AWG.

4.6.17 Cálculo del conductor de inversor a tablero principal. De la ecuación 10:

$$S = \frac{2*60m*45.45A}{(0.03*220v)*(56\frac{S}{m})} = 14.75 \text{ mm}^2$$

Se tomó con base a la sección del conductor de 14.75 mm² el calibre 6 AWG.

4.6.18 Tubería para conductores. Para esta selección se tomó en cuenta la figura de sección del conductor y la misma tubería mencionada anteriormente en el sistema On grid.

Para el primer tramo de panel a inversor se obtuvo una sección del conductor de 43.055 mm²

y un total de dos conductores para lo cual corresponde el tubo de diámetro exterior de 32mm.

Para el tramo de controlador y/o inversor a baterías se obtuvo una sección del conductor de 11.16 mm^2 y un total de dos conductores para lo cual corresponde el tubo de diámetro exterior de 20mm.

Para el tramo de baterías a controlador y/o inversor se obtuvo una sección del conductor de 92.99 mm^2 y un total de dos conductores para lo cual corresponde el tubo de diámetro exterior de 50mm.

Por último el tramo de inversor a tablero principal se obtuvo una sección del conductor de 14.75 mm^2 y un total de tres conductores para la cual corresponde el tubo de diámetro exterior de 25mm.

4.6.19 Protecciones. Como se muestra a continuación:

Cálculo de fusible. De la ecuación 11:

$$C_{\text{fus}} = 10.85A * 1.25 = 13.45A$$

Con lo anterior se seleccionó para un total de 8 string de 13 paneles 16 fusibles tipo riel con caja de 15A y 1000Vdc considerando uno por cada conductor y un DPS de 1000Vdc con una corriente de 25KA.

Para el tramo de inversor y/o controlador a baterías se consideró ya corriente total del MPPT la cual es de 25A y se tomó un total de 2 fusibles de 30A con caja tipo riel.

Par el tramo de baterías a inversor y/o controlador se cuenta con la potencia del inversor de 10KW y voltaje del sistema de 48V lo cual se obtuvo una corriente de 208.33A y se seleccionó

un total de dos fusibles de 250A-1000Vdc.

Para el tramo de inversor a tablero principal se tuvo en cuenta la potencia del inversor que es de 10KW y el voltaje que es de 220V con estos parámetros se eligió un DPS VCL SLIM 275VAC 20KA.

4.6.20 Sistema de puesta a tierra. Toda instalación eléctrica objeto del RETIE, excepto donde se indique expresamente lo contrario, tiene que disponer de un sistema de puesta a tierra (SPOT), para evitar que personas en contacto con la misma, tanto en el interior como en el exterior de la edificación, queden sometidas a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano, cuando se presente una falla. La exigencia de puestas a tierra para instalaciones eléctricas cubre el sistema eléctrico como tal y los apoyos o estructuras metálicas que, ante una sobretensión temporal, puedan desencadenar una falla permanente a frecuencia industrial, entre la estructura puesta a tierra y la red (RETIE, s,f).

Para el sistema fotovoltaico se debe instalar un pararrayo tipo franklin puesto a tierra mediante cable y una varilla de cobre enterrada, dejando a tierra los paneles, el tablero eléctrico y toda la instalación. Se consideró un sistema de puesta a tierra básico el cual tiene una caja de 30x30 con una varilla de puesta a tierra de (5/8)*2.40m, ubicada en el tablero eléctrico colocando la instalación a tierra y una caja de 30x30 para los paneles con el fin de aterrizar toda la estructura metálica.

4.6.21 Esquema de conexiones sistema Off gris. En la figura 35 se muestran las diferentes conexiones entre los componentes principales del sistema fotovoltaico Off grid.

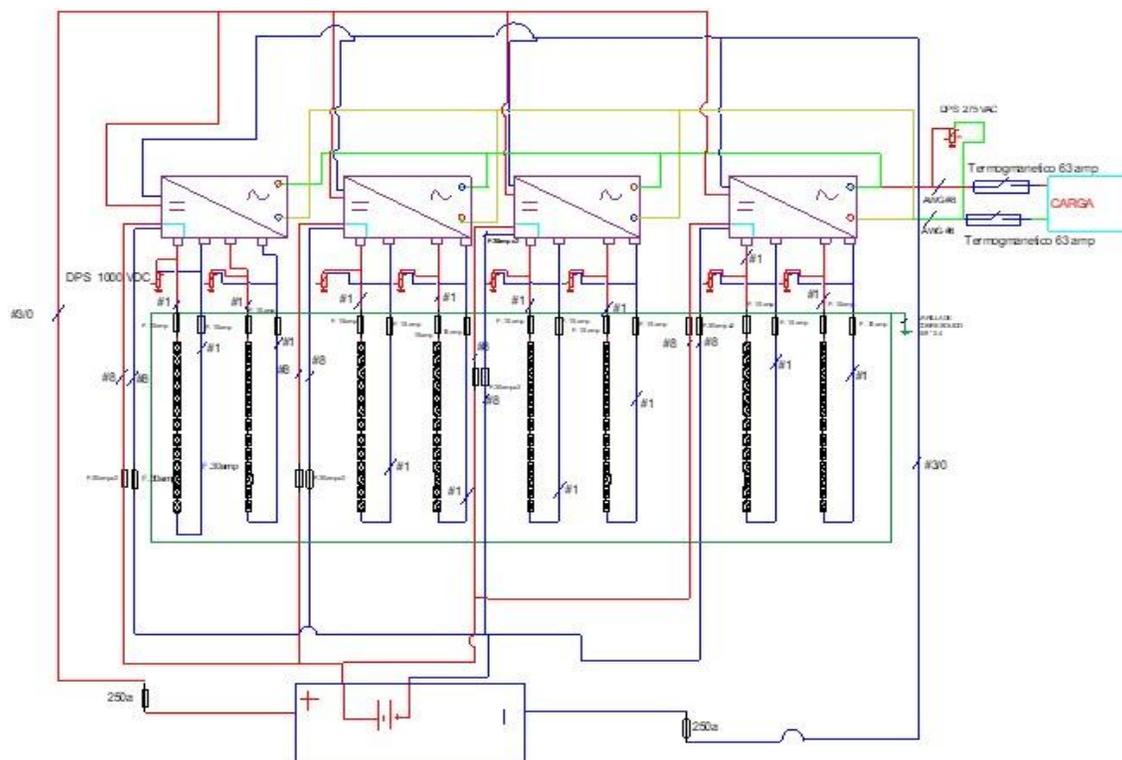


Figura 35. Conexión de componentes para sistema fotovoltaico aislado

4.6.22 Diagrama unifilar sistema Off gris. En la figura 36 se muestra una representación gráfica integral y sencilla de las conexiones eléctricas entre componentes del sistema fotovoltaico Off grid.

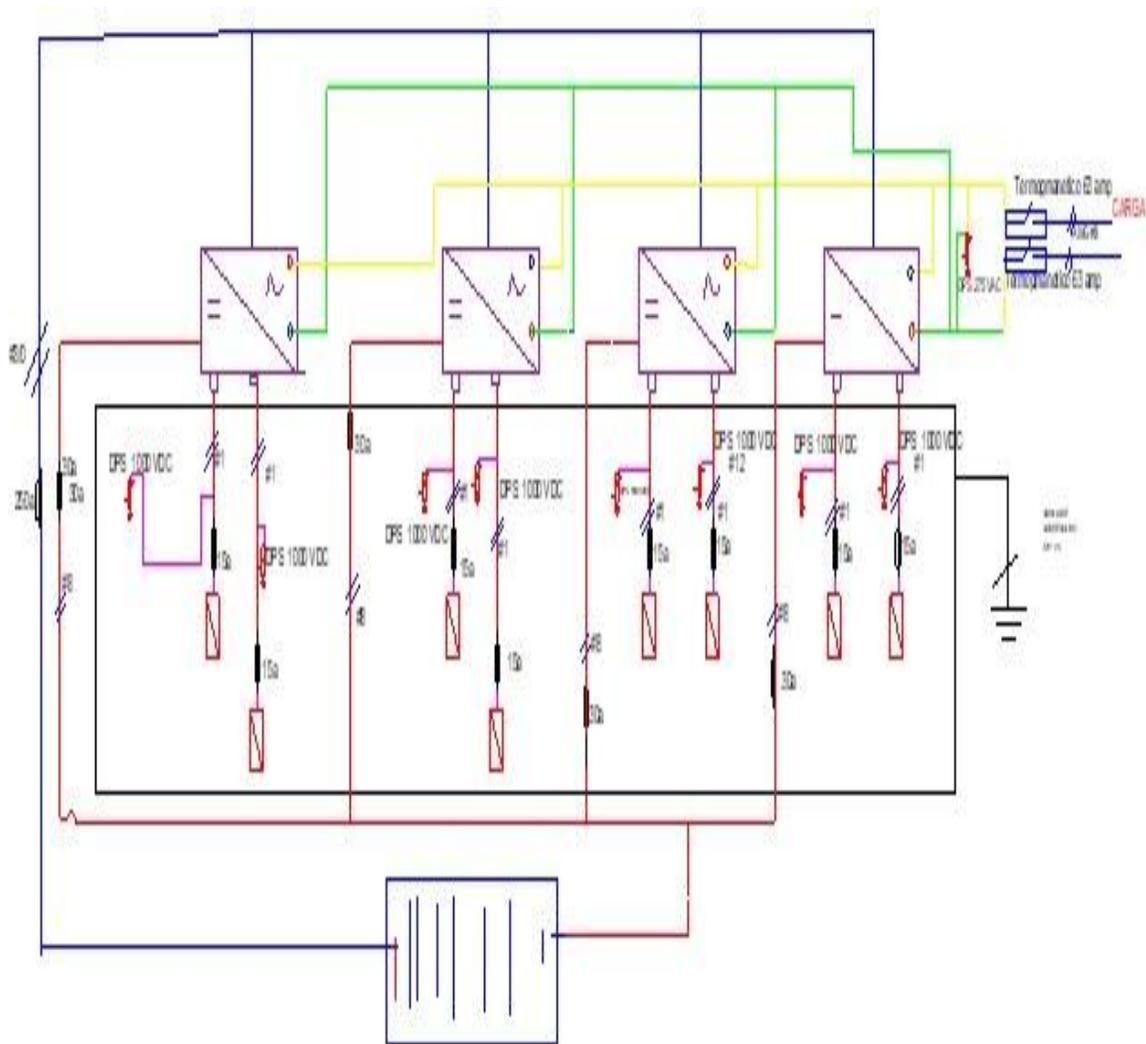


Figura 36. Diagrama simplificado de sistema fotovoltaico aislado

4.7 Distancia Entre Paneles

Para evitar el mal funcionamiento de los paneles por sombreado entre paneles se cálculo una distancia mínima de panel a panel según la figura 37.

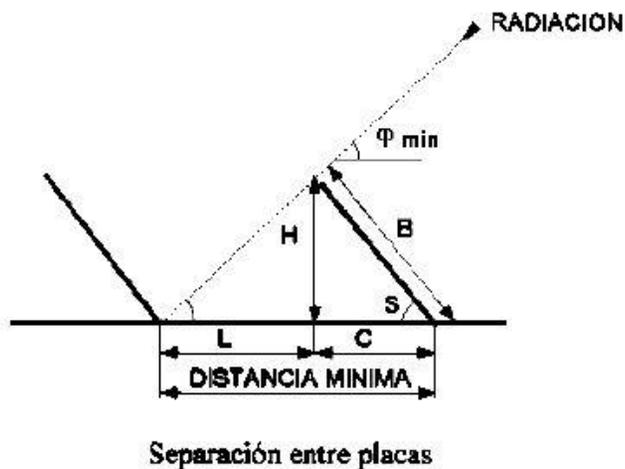


Figura 37. Separación de placas (Espitia, 2017)

Fuente: Energía Solar, 2020.

Se calcularon las variables de la figura anteriormente mencionada con el fin de obtener la distancia mínima utilizando las siguientes ecuaciones.

$$C = \text{Cos}(S) * B \quad \text{Ecuación (15)}$$

$$H = \text{Sen}(S) * B \quad \text{Ecuación (16)}$$

$$\varphi \text{ min} = (90 - l) - 23 \quad \text{Ecuación (17)}$$

$$\text{Tan}(\varphi \text{ min}) = H/L = \text{Sen}(S) * B / (\text{Dist_min} - \text{Cos}(S) * B) \quad \text{Ecuación (18)}$$

Dónde:

S = Inclinación del panel (°)

B = Longitud del panel (m)

L = latitud del lugar de estudio (°)

Dist_min = Distancia mínima de panel a panel (m)

De la ecuación 17,

$$\varphi_{\min} = (90 - 7.875) - 23 = 59.12^\circ$$

De la ecuación 18,

$$\text{Dist}_{\min} = \frac{\text{Sen}(S) \cdot B + \text{Cos}(S) \cdot B}{\text{Tan}(\varphi_{\min})}$$

$$\text{Dist}_{\min} = \frac{\text{Cos}(7^\circ) \cdot (2.09\text{m}) + \text{Sen}(7^\circ) \cdot (2.09\text{m})}{\text{Tan}(59.12^\circ)} = 2.227\text{m}$$

4.7.1 Ubicación de paneles. Mediante la visita realizada a la institución se pudo observar la infraestructura, zonas verdes y ubicación de las diferentes áreas. Se tomó en cuenta que la institución está en harás de ampliar su infraestructura en cuanto a la creación de nuevas aulas de clases en la parte donde se ubica la cancha del plantel educativo teniendo en cuenta que el área disponible es de 400m².

Utilizando el software Sketchup se realizó un modelaje en 3D de la ubicación de la institución en la actualidad como se muestra en la figura 38.



Figura 38. Colegio Nuestra Señora de Belén en 3D

Haciendo uso del software PVsol version gratuita se establecio el area que cubre las zonas verdes de la institucion como se muestra en la figura 39.

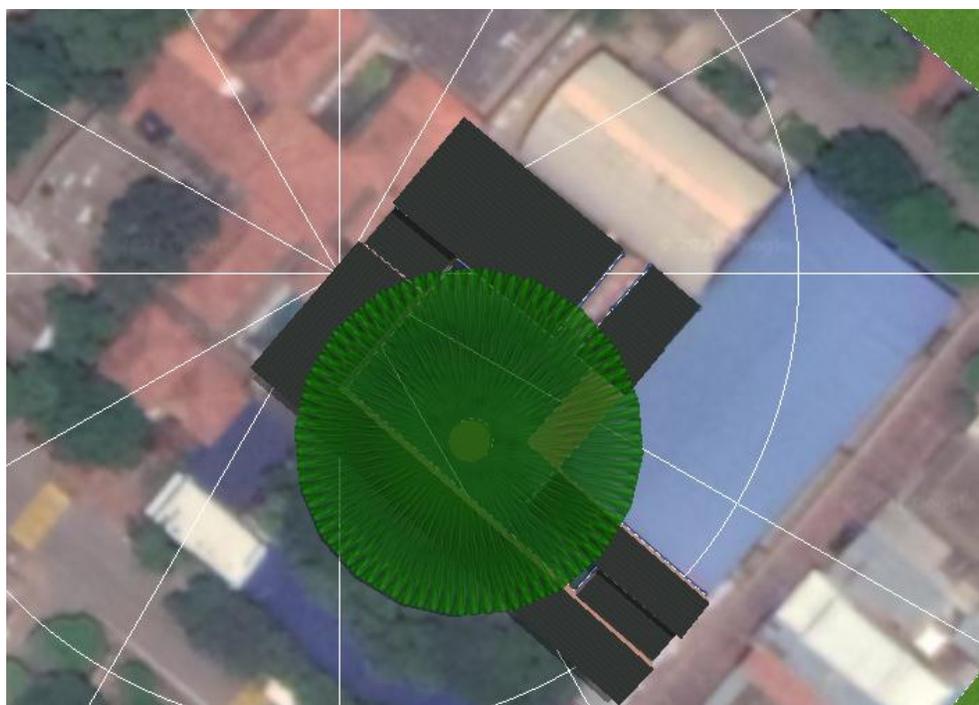


Figura 39. Visualización zonas verdes Colegio Nuestra Señora de Belén

Con relación a la figura 38 y teniendo en cuenta que para el correcto funcionamiento de los paneles, se deben instalar en zonas donde no haya presencia de sobras, zonas verdes u otros objetos que puedan proporcionar sombra a los paneles, se estableció que el lugar más óptimo para la instalación de los paneles es el área de 400m² donde se ampliara la infraestructura con las nuevas aulas figura 40.

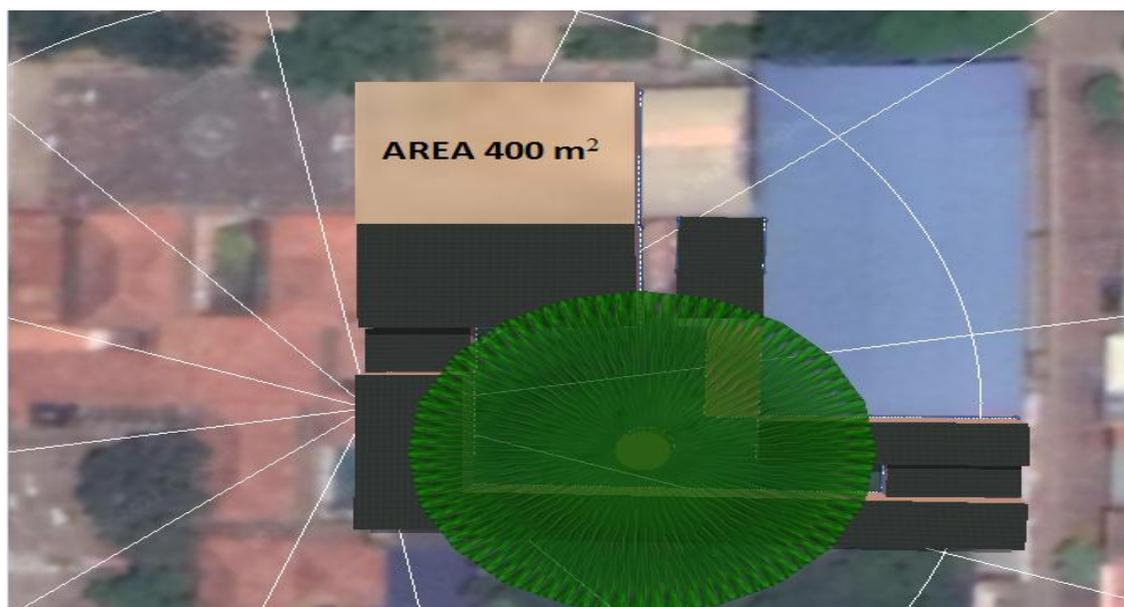


Figura 40. Ubicación del área seleccionada para los paneles

Haciendo uso de la aplicación ruta del sol 3D se visualizó la trayectoria del sol a diferentes horas durante el día con respecto a la ubicación de la institución como se muestra en las figuras 41, 42 y 43.

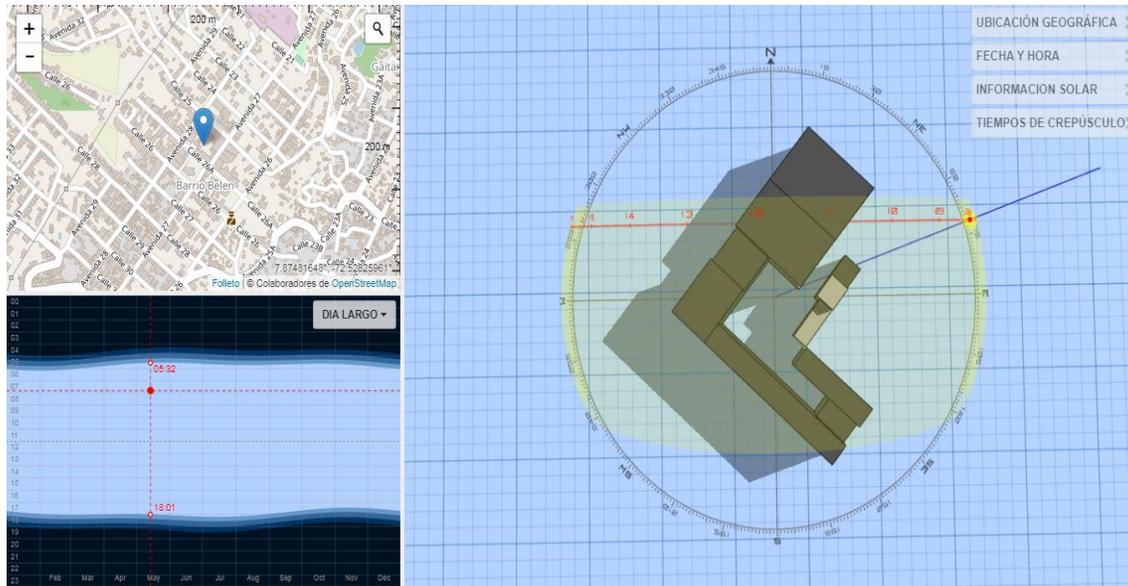


Figura 41. Trayectoria del sol 06:00 am

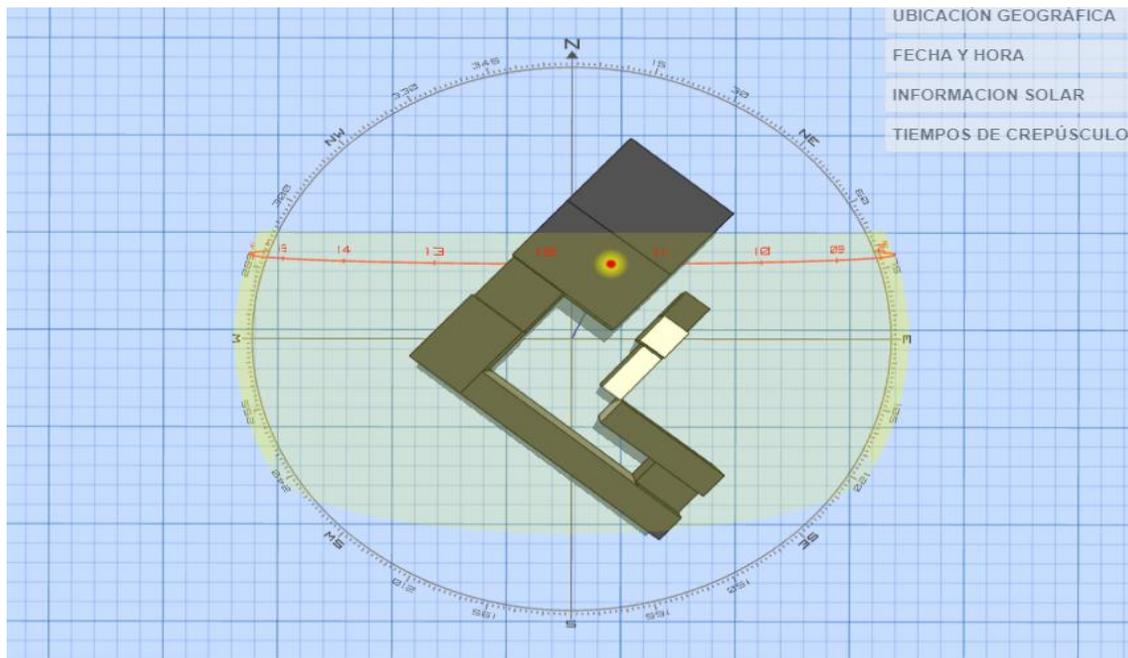


Figura 42. Trayectoria del sol 11:30 am

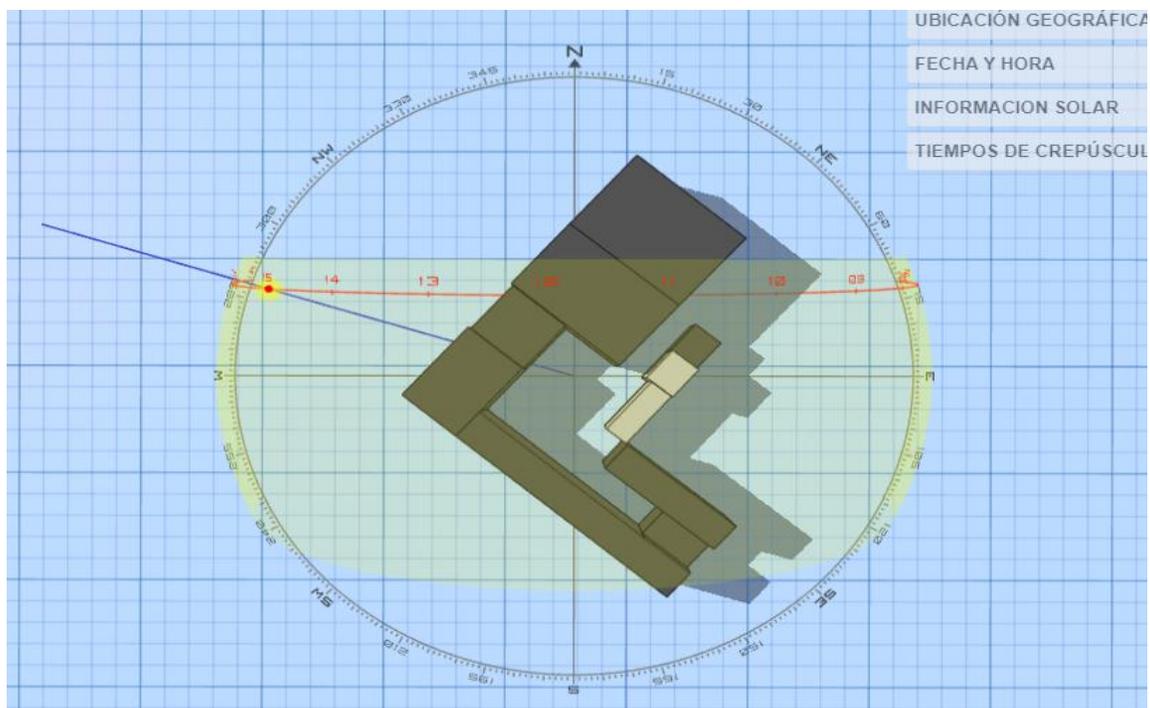


Figura 43. Trayectoria del sol 03:00 pm

Fuente: Sunearthtools, 2021.

Por ultimo mediante el software PVsol se realizó el esquemático de la ubicación de los paneles en los 400m² figura 44 de área disponible, la inclinación de los paneles la cual se tomó de 7° del software Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA) y orientación de los paneles debido a la trayectoria del sol que sale por el ESTE haciendo un recorrido hasta el OESTE.

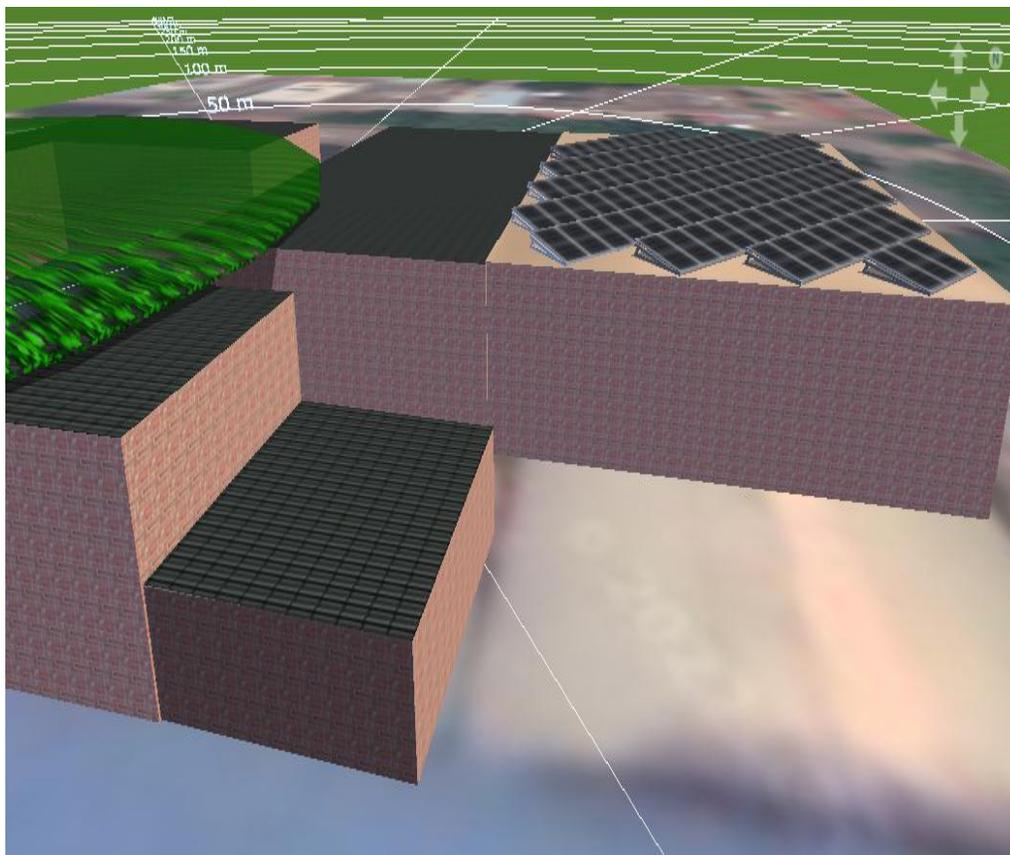


Figura 44. Ubicación de paneles solares

4.8 Factibilidad Económica

4.8.1 Valor presente neto. El Valor Presente Neto (VPN) es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El Valor Presente Neto permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: MAXIMIZAR la inversión.

El cálculo del VPN se realiza utilizando la ecuación 19. La interpretación del VPN se estima de la siguiente manera; si el valor del $VPN < 0$, es decir si es negativo significará que no se justifica la inversión en este proyecto, si el $VPN > 0$, es decir si es positivo será viable dicha inversión. Si el resultado del $VPN = 0$, la empresa no modificará el monto de su valor (Bu, 1995).

$$\text{VPN} = \text{Inversión inicial} - \sum_{n=1}^T \frac{\text{FNn}}{(1+r)^n} \quad \text{Ecuación (19)}$$

Dónde:

FN = Flujo neto de cada periodo

r = Tasa de descuento

n = Numero de periodos

4.8.2 Tasa interna de retorno (TIR). Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. La TIR da una medida relativa de la rentabilidad del proyecto. Se calcula conociendo el valor actual neto (VAN) y se calcula de la siguiente ecuación.

$$\text{VAN} = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+\text{TIR})^t} \quad \text{Ecuación (20)}$$

Dónde:

Ft = Flujo de dinero en cada periodo

I₀ = Inversión inicial

n = Es el número de periodos de tiempo

VAN = Valor actual neto

4.8.3 Depreciación. Se propone utilizar el método de la suma de los dígitos del año, este es un método de depreciación acelerada que busca determinar una mayor proporcionalidad de depreciación en los primeros años de vida útil del activo, en la ley 1715 de 2014 se estipula la posibilidad de depreciar aceleradamente los activos del proyecto con una tasa anual de depreciación.

Para realizar este método se hace uso de la tabla 12 (Espitia, 2017).

Tabla 12 Depreciación

Año	Inverso	Factor de depreciación	Depreciación anual	Valor residual	Depreciación acumulada
0		0	0	Valor inicial	0
1	N = vida útil				
2	2	Año/inverso	Valor inicial*FD		
N = vida útil	1				

Dónde:

Año = Se enumeraron los años de vida útil y se suman al final sus dígitos

Inverso = Se enumeró los años de vida útil al inverso

Factor de depreciación (FD) = Se dividió cada dígito de la columna inverso por el resultado de la suma de los años de vida útil.

Depreciación anual = Multiplicado FD por el valor inicial de la inversión

Valor residual = valor residual anterior menos la depreciación del año

Depreciación acumulada = Se sumó la depreciación de cada año

4.8.3.1 Beneficio real. El beneficio real es la capacidad que tiene una empresa para cubrir sus deudas. Se calcula la diferencia correspondiente al beneficio de cada periodo considerando que el ahorro representa la ganancia y los costos operacionales representan un gasto.

4.9 Análisis Económico

Para la realización del análisis económico se tomó en cuenta el porcentaje anual de crecimiento económico del KW-h en base a un análisis previo del historial de los años 2019, 2020 y 2021 obtenidos de la página Centrales de Norte de Santander (CENS) la cual es la empresa comercializadora de energía eléctrica de la región.

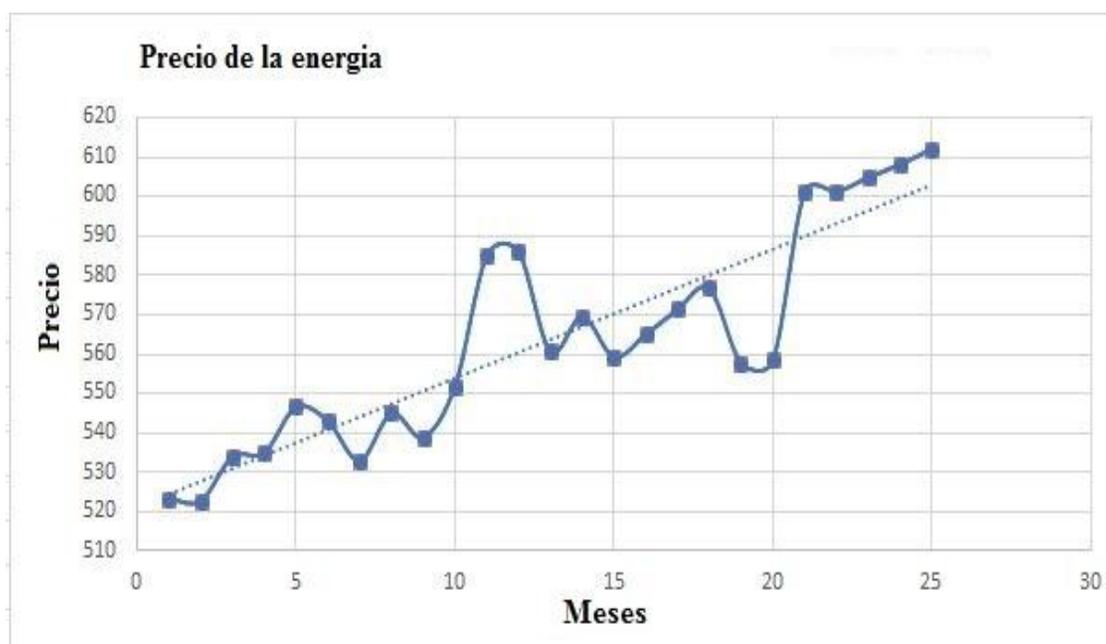
Como no se obtuvo el historial de las facturas de energía eléctrica de la institución se optó por calcular dicha tasa de crecimiento la cual corresponde al 7.5% anual.

4.9.1 Costo del kilovatio hora (\$/KW-h). El costo del kilovatio hora tiende a aumentar anualmente dependiendo de la inflación u otros aspectos económicos que afecten directamente la generación y comercialización por parte de la electrificadora. La tabla 13 nos da a conocer el precio del KW-h mes a mes durante los últimos tres años.

Tabla 13. Historial del costo de la energía CENS

Mes	Tarifa 2019 KW-h (\$)	Tarifa 2020 KW-h (\$)	Tarifa 2021 KW-h (\$)
Enero	550,9	538,9	601,2
Febrero	545,3	551,8	601,2
Marzo	542,0	585,0	604,9
Abril	519,6	586,0	608,2
Mayo	529,4	560,7	612,1
Junio	522,8	569,6	
Julio	534,0	559,3	
Agosto	535,0	565,0	
Septiembre	546,6	571,4	
Octubre	543,0	576,7	
Noviembre	533,0	557,8	
Diciembre	545,0	558,4	
Promedio	536,7	565,0	605,516

El consumo diario del área seleccionada para realizar el sistema fotovoltaico es de 153.9 KW-h obteniendo un consumo anual de 42476.4 KW-h

**Figura 45. Variación del costo de KW-h (Mayo 2019-Mayo 2021)**

En relación con la figura 45 anteriormente mencionada se observa que la variación del KW-h tiende a ser lineal por lo tanto se calcula el costo para los próximos 25 años del proyecto según la vida útil de los componentes con una tasa de interés simple, con base en la ecuación.

$$VF = Vp*(1+in) \quad \text{Ecuación (21)}$$

Dónde:

VF = Es el valor futuro, para este caso el valor del mes 25 del KW-h

Vp = Es el valor presente el cual para una mayor cobertura se tomó como el valor de mayo del 2019

i = Tasa con la que aumenta el KW-h, es el valor que se presente hallar

n = Años para llegar al valor futuro para este caso son 25 meses

Con el propósito de despejar la única incógnita que se tiene en la ecuación 21 se calcula la siguiente ecuación

$$i = \frac{\frac{VF}{Vp} - 1}{n} \quad \text{Ecuación (22)}$$

Reemplazando los valores se obtuvo,

$$i = \frac{\frac{612.1}{529.4} - 1}{2.08} * 100\% = 7.5\%$$

Para calcular el precio de la energía para los próximos 25 años se utilizó la ecuación 21 teniendo en cuenta la tasa de interés calculada anteriormente, en este caso el valor presente se tomó como el precio de energía para el mes de mayo de 2021. Con la tasa de incremento se calcula un valor futuro hasta el año 2045 como se observa en la tabla 14.

Tabla 14. Proyección del costo del KW-h con el 7.5% de incremento

Periodo	Año	Precio (\$)
0	2021	612,1
1	2022	658,01
2	2023	707,36
3	2024	760,41
4	2025	817,44
5	2026	878,75
6	2027	944,65
7	2028	1015,50
8	2029	1091,67
9	2030	1173,54
10	2031	1261,56
11	2032	1356,17
12	2033	1457,89
13	2034	1567,23
14	2035	1684,77
15	2036	1811,13
16	2037	1946,96
17	2038	2092,99
18	2039	2249,96
19	2040	2418,71
20	2041	2600,11
21	2042	2795,12
22	2043	3004,75
23	2044	3230,11
24	2045	3472,37

4.9.2 Costo final del proyecto. En el ítem de presupuesto se detalló el costo de casa uno de los componentes necesarios para cada tipo de instalación fotovoltaica. Con relación a esto se presenta el costo final en la tabla 15 de los respectivos sistemas fotovoltaicos diseñados.

Tabla 15. Presupuesto final del sistema fotovoltaico

Tipo de sistema	Costo (\$)
Sistema On grid	91.355.432
Sistema Off grid	322.019.113

4.9.3 Ingresos. Se realizó un cálculo teniendo en cuenta el crecimiento anual porcentual correspondiente al 7.5% obtenido de la ecuación 22 y tomando en cuenta las siguientes ecuaciones.

$$\text{Ahorro mensual} = \$KW\text{-h(sistema)} * \text{Días del mes} \quad \text{Ecuación (23)}$$

$$\text{Ahorro anual} = \text{Ahorro mensual} * \text{Meses del año} \quad \text{Ecuación (24)}$$

El resumen de los ahorros anuales se presenta en la tabla 16 correspondientes a los sistemas On grid y Off grid respectivamente.

Tabla 16. Ahorro sistema On grid y Sistema Off grid

Año	Ahorro anual (\$)	Ahorro acumulado (\$)
1	25.999.804	25.999.804
2	27.949.790	53.949.594
3	30.046.024	83.995.618
4	32.299.476	116.295.094
5	34.721.936	151.017.031
6	37.326.082	188.343.112
7	40.125.538	228.468.650
8	43.134.953	271.603.603
9	46.370.075	317.973.678
10	49.847.830	367.821.508
11	53.586.418	421.407.926
12	57.605.399	479.013.325
13	61.925.804	540.939.129
14	66.570.239	607.509.368
15	71.563.007	679.072.375
16	76.930.233	756.002.607
17	82.700.000	838.702.607

Año	Ahorro anual (\$)	Ahorro acumulado (\$)
18	88.902.500	927.605.107
19	95.570.187	1.023.175.295
20	102.737.952	1.125.913.246
21	110.443.298	1.236.356.544
22	118.726.545	1.355.083.089
23	127.631.036	1.482.714.125
24	137.203.364	1.619.917.489
25	147.493.616	1.767.411.105

4.9.4 Costos de operación y mantenimiento. Los costos de operación y mantenimiento anual para las instalaciones fotovoltaicas se estimó en un 3% del costo inicial de la inversión para cada uno de los sistemas mencionados anteriormente como se muestra en la tabla 17 (Espitia, 2017).

Tabla 17. Costo operación y mantenimiento del 3%

Concepto	Costo (\$)
Inversión On grid	91.355.432
Inversión Off grid	322.019.113
Sistema On grid O y M	2.740.663
Sistema Off grid O y M	9.960.573

4.9.5 Depreciación. Según el método de la sumatoria de los dígitos se obtuvo el valor de la depreciación del sistema para cada periodo de la vida útil teniendo en cuenta el valor nuevo correspondiente al valor inicial. Basado en la ley 1715 de 2014 se puede lograr un aprovechamiento del 80% de los componentes del sistema al final de su vida útil. Los resultados de la depreciación en 25 años de vida útil se presentan en la tabla 18 y 19.

Tabla 18. Depreciación sistema On grid

Periodo (Año)	Inverso (Año)	FD	Depreciación anual (\$)	Valor residual (\$)	Depreciación Acumulada (\$)
				91.355.432	
1	25	0,08	7.027.341	84.328.091	7.027.341
2	24	0,07	6.746.247	77.581.844	13.773.588
3	23	0,07	6.465.154	71.116.690	20.238.742
4	22	0,07	6.184.060	64.932.630	26.422.802
5	21	0,06	5.902.966	59.029.664	32.325.768
6	20	0,06	5.621.873	53.407.791	37.947.641
7	19	0,06	5.340.779	48.067.012	43.288.420
8	18	0,06	5.059.685	43.007.326	48.348.106
9	17	0,05	4.778.592	38.228.735	53.126.697
10	16	0,05	4.497.498	33.731.236	57.624.196
11	15	0,05	4.216.405	29.514.832	61.840.600
12	14	0,04	3.935.311	25.579.521	65.775.911
13	13	0,04	3.654.217	21.925.304	69.430.128
14	12	0,04	3.373.124	18.552.180	72.803.252
15	11	0,03	3.092.030	15.460.150	75.895.282
16	10	0,03	2.810.936	12.649.214	78.706.218
17	9	0,03	2.529.843	10.119.371	81.236.061
18	8	0,02	2.248.749	7.870.622	83.484.810
19	7	0,02	1.967.655	5.902.966	85.452.466
20	6	0,02	1.686.562	4.216.405	87.139.027
21	5	0,02	1.405.468	2.810.936	88.544.496
22	4	0,01	1.124.375	1.686.562	89.668.870
23	3	0,01	843.281	843.281	90.512.151
24	2	0,01	562.187	281.094	91.074.338
25	1	0,00	281.094	-0	91.355.432
325					

Tabla 19. Depreciación sistema Off grid

Periodo (Año9	Inverso (Año)	FD	Depreciación anual (\$)	Valor residual (\$)	Depreciación acumulada (\$)
				332.019.113	
1	25	0,08	25.539.932	306.479.181	25.539.932
2	24	0,07	24.518.334	281.960.847	50.058.266
3	23	0,07	23.496.737	258.464.110	73.555.003
4	22	0,07	22.475.140	235.988.970	96.030.143
5	21	0,06	21.453.543	214.535.427	117.483.686
6	20	0,06	20.431.945	194.103.481	137.915.632
7	19	0,06	19.410.348	174.693.133	157.325.980
8	18	0,06	18.388.751	156.304.382	175.714.731
9	17	0,05	17.367.154	138.937.229	193.081.884
10	16	0,05	16.345.556	122.591.672	209.427.441
11	15	0,05	15.323.959	107.267.713	224.751.400
12	14	0,04	14.302.362	92.965.352	239.053.761
13	13	0,04	13.280.765	79.684.587	252.334.526
14	12	0,04	12.259.167	67.425.420	264.593.693
15	11	0,03	11.237.570	56.187.850	275.831.263
16	10	0,03	10.215.973	45.971.877	286.047.236
17	9	0,03	9.194.375	36.777.502	295.241.611
18	8	0,02	8.172.778	28.604.724	303.414.389
19	7	0,02	7.151.181	21.453.543	310.565.570
20	6	0,02	6.129.584	15.323.959	316.695.154
21	5	0,02	5.107.986	10.215.973	321.803.140
22	4	0,01	4.086.389	6.129.584	325.889.529
23	3	0,01	3.064.792	3.064.792	328.954.321
24	2	0,01	2.043.195	1.021.597	330.997.516
25	1	0,00	1.021.597	-0	332.019.113
325					

4.9.6 Beneficio real. Se cálculo la diferencia correspondiente al valor del ahorro neto de cada periodo para cada sistema fotovoltaico correspondiente a la tabla 20, 21.

Tabla 20. Beneficio real sistema On grid

Gastos y costos anuales (\$)			Ahorro bruto (\$)	Ahorro neto (\$)
Depreciación On grid	Operación y Mantenimiento	Total		
7.027.341	2.740.663	9.768.004	25.999.804	16.231.801
6.746.247	2.740.663	9.486.910	27.949.790	18.462.880
6.465.154	2.740.663	9.205.817	30.046.024	20.840.207
6.184.060	2.740.663	8.924.723	32.299.476	23.374.753
5.902.966	2.740.663	8.643.629	34.721.936	26.078.307
5.621.873	2.740.663	8.362.536	37.326.082	28.963.546
5.340.779	2.740.663	8.081.442	40.125.538	32.044.096
5.059.685	2.740.663	7.800.348	43.134.953	35.334.605
4.778.592	2.740.663	7.519.255	46.370.075	38.850.820
4.497.498	2.740.663	7.238.161	49.847.830	42.609.669
4.216.405	2.740.663	6.957.068	53.586.418	46.629.350
3.935.311	2.740.663	6.675.974	57.605.399	50.929.425
3.654.217	2.740.663	6.394.880	61.925.804	55.530.924
3.373.124	2.740.663	6.113.787	66.570.239	60.456.452
3.092.030	2.740.663	5.832.693	71.563.007	65.730.314
2.810.936	2.740.663	5.551.599	76.930.233	71.378.633
2.529.843	2.740.663	5.270.506	82.700.000	77.429.494
2.248.749	2.740.663	4.989.412	88.902.500	83.913.088
1.967.655	2.740.663	4.708.318	95.570.187	90.861.869
1.686.562	2.740.663	4.427.225	102.737.952	98.310.727
1.405.468	2.740.663	4.146.131	110.443.298	106.297.167
1.124.375	2.740.663	3.865.038	118.726.545	114.861.508
843.281	2.740.663	3.583.944	127.631.036	124.047.092
562.187	2.740.663	3.302.850	137.203.364	133.900.514
281.094	2.740.663	3.021.757	147.493.616	144.471.860

Tabla 21. Beneficio real sistema Off grid

Gastos y costos anuales (\$)			Ahorro bruto (\$)	Ahorro neto (\$)
Depreciación Off grid	Operación y Mantenimiento	Total		
25.539.932	9.960.573	35.500.505	25.999.804	-9.500.700
24.518.334	9.960.573	34.478.907	27.949.790	-6.529.118
23.496.737	9.960.573	33.457.310	30.046.024	-3.411.286
22.475.140	9.960.573	32.435.713	32.299.476	-136.237
21.453.543	9.960.573	31.414.116	34.721.936	3.307.821
20.431.945	9.960.573	30.392.518	37.326.082	6.933.563
19.410.348	9.960.573	29.370.921	40.125.538	10.754.617
18.388.751	9.960.573	28.349.324	43.134.953	14.785.629
17.367.154	9.960.573	27.327.727	46.370.075	19.042.348
16.345.556	9.960.573	26.306.129	49.847.830	23.541.701
15.323.959	9.960.573	25.284.532	53.586.418	28.301.885
14.302.362	9.960.573	24.262.935	57.605.399	33.342.464
13.280.765	9.960.573	23.241.338	61.925.804	38.684.466
12.259.167	9.960.573	22.219.740	66.570.239	44.350.499
11.237.570	9.960.573	21.198.143	71.563.007	50.364.864
10.215.973	9.960.573	20.176.546	76.930.233	56.753.687
9.194.375	9.960.573	19.154.948	82.700.000	63.545.052
8.172.778	9.960.573	18.133.351	88.902.500	70.769.149
7.151.181	9.960.573	17.111.754	95.570.187	78.458.434
6.129.584	9.960.573	16.090.157	102.737.952	86.647.795
5.107.986	9.960.573	15.068.559	110.443.298	95.374.739
4.086.389	9.960.573	14.046.962	118.726.545	104.679.583
3.064.792	9.960.573	13.025.365	127.631.036	114.605.671
2.043.195	9.960.573	12.003.768	137.203.364	125.199.596
1.021.597	9.960.573	10.982.170	147.493.616	136.511.446

4.10 Evaluación de la Inversión

4.10.1 Análisis retorno de la inversión. A continuación se realizó el análisis del retorno de la inversión para tener una idea aproximada del tiempo que se tardará en recuperar el desembolso inicial dependiendo del sistema fotovoltaico a implementar. El retorno de la inversión es una herramienta útil para la decisión de aceptar proyectos o inversiones en función del plazo de recuperación de la inversión inicial.

Según se observa la tabla 20, después del año 5, los ahorros dados por el costo de la electricidad alcanzan para recuperar la inversión inicial.

Tabla 22. Retorno de inversión sistema On grid

Periodo	Año	Ahorro neto (\$)	Saldo (\$)
0	2021	91.355.432	
1	2022	16.231.801	75.123.631,44
2	2023	18.462.880	56.660.751,92
3	2024	20.840.207	35.820.544,52
4	2025	23.374.753	12.445.791,69
5	2026	26.078.307	-13.632.515,47
6	2027	28.963.546	-42.596.061,50
7	2028	32.044.096	-74.640.157,30
8	2029	35.334.605	-109.974.762,07
9	2030	38.850.820	-148.825.581,97
10	2031	42.609.669	-191.435.251,11
11	2032	46.629.350	-238.064.601,16
12	2033	50.929.425	-288.994.026,16
13	2034	55.530.924	-344.524.949,71
14	2035	60.456.452	-404.981.402,19
15	2036	65.730.314	-470.711.716,23
16	2037	71.378.633	-542.090.349,44
17	2038	77.429.494	-619.519.843,72
18	2039	83.913.088	-703.432.931,64
19	2040	90.861.869	-794.294.800,69
20	2041	98.310.727	-892.605.527,44
21	2042	106.297.167	-998.902.694,19
22	2043	114.861.508	-1.113.764.201,92
23	2044	124.047.092	-1.237.811.294,18
24	2045	133.900.514	-1.371.711.807,79
25	2046	144.471.860	-1.516.183.667,32

La tabla 22 muestra que efectivamente al 5to año se puede apreciar que los ingresos son mayores que los gastos por lo tanto a partir del 5to año se evidencian las ganancias del proyecto On grid.

Tabla 23. Retorno de inversión sistema Off grid

Periodo	Año	Ahorro neto (\$)	Saldo (\$)
0	2021	332.019.113	
1	2022	-9.500.700	341.519.813
2	2023	-6.529.118	348.048.931
3	2024	-3.411.286	351.460.217
4	2025	-136.237	351.596.454
5	2026	3.307.821	348.288.634
6	2027	6.933.563	341.355.070
7	2028	10.754.617	330.600.454
8	2029	14.785.629	315.814.824
9	2030	19.042.348	296.772.476
10	2031	23.541.701	273.230.775
11	2032	28.301.885	244.928.890
12	2033	33.342.464	211.586.426
13	2034	38.684.466	172.901.959
14	2035	44.350.499	128.551.461
15	2036	50.364.864	78.186.597
16	2037	56.753.687	21.432.910
17	2038	63.545.052	-42.112.142
18	2039	70.769.149	-112.881.291
19	2040	78.458.434	-191.339.724
20	2041	86.647.795	-277.987.519
21	2042	95.374.739	-373.362.258
22	2043	104.679.583	-478.041.841
23	2044	114.605.671	-592.647.512
24	2045	125.199.596	-717.847.108
25	2046	136.511.446	-854.358.554

La tabla 23 muestra que al cabo de 16 años se puede apreciar que los ingresos son mayores que los gastos por lo tanto después de 16 años se evidencian las ganancias del proyecto Off grid.

4.10.2 Valor presente neto (VPN) y Tasa interna de retorno (TIR). Teniendo en cuenta como referencia el programa de financiación que ofrece DAVIVIENDA, la línea verde energías renovables se puede estimar una tasa de interés del 6% anual (Davivienda, 2015).

En la tabla 24 y 25 se muestran los cálculos del VPN y la TIR para cada sistema fotovoltaico.

Tabla 24. VPN-TIR sistema On grid

Año	Ahorro neto (\$)	VPN por periodos (\$)
0	-91.355.432	-91.355.432,00
1	16.231.801	15.313.019,39
2	18.462.880	16.431.897,05
3	20.840.207	17.497.839,99
4	23.374.753	18.514.993,60
5	26.078.307	19.487.228,16
6	28.963.546	20.418.157,06
7	32.044.096	21.311.153,86
8	35.334.605	22.169.368,17
9	38.850.820	22.995.740,61
10	42.609.669	23.793.016,69
11	46.629.350	24.563.759,92
12	50.929.425	25.310.363,93
13	55.530.924	26.035.063,90
14	60.456.452	26.739.947,23
15	65.730.314	27.426.963,48
16	71.378.633	28.097.933,70
17	77.429.494	28.754.559,13
18	83.913.088	29.398.429,35
19	90.861.869	30.031.029,88
20	98.310.727	30.653.749,30
21	106.297.167	31.267.885,89
22	114.861.508	31.874.653,83
23	124.047.092	32.475.189,02
24	133.900.514	33.070.554,47
25	144.471.860	33.661.745,42
VPN total		545.938.811,05
TIR		29%

Tabla 25. VPN-TIR sistema Off grid

Año	Ahorro neto (\$)	VPN por periodos (\$)
0	-332.019.113	-332.019.113
1	-9.500.700,33	-8.962.924,84
2	-6.529.117,73	-5.810.891,53
3	-3.411.286,22	-2.864.181,69
4	-136.237,15	-107.912,58
5	3.307.820,81	2.471.796,13
6	6.933.563,31	4.887.888,54
7	10.754.616,71	7.152.434,35
8	14.785.629,32	9.276.686,76
9	19.042.348,08	11.271.136,57
10	23.541.700,96	13.145.562,85
11	28.301.885,50	14.909.080,23
12	33.342.464,09	16.570.183,16
13	38.684.466,27	18.136.787,34
14	44.350.498,83	19.616.268,40
15	50.364.864,03	21.015.498,05
16	56.753.686,83	22.340.877,91
17	63.545.051,54	23.598.371,12
18	70.769.148,81	24.793.531,89
19	78.458.433,58	25.931.533,08
20	86.647.794,91	27.017.192,03
21	95.374.738,54	28.054.994,63
22	104.679.583,16	29.049.117,87
23	114.605.671,32	30.003.450,87
24	125.199.596,30	30.921.614,55
25	136.511.445,86	31.806.979,93
	VPN total	62.205.962,60
	TIR	7%

Después del análisis realizado se obtuvo para el sistema On grid:

El VPN es de \$545.938.811

La TIR es 29%

Nótese que el VPN es positivo lo cual indica que el proyecto es capaz de generar suficiente dinero para recuperar lo invertido y además genera ganancia. Se consideró que toda inversión tiene un riesgo asociado, cuando se establece una tasa de descuento se está valorando que esa tasa le compensa ese riesgo mínimo. Al establecer esta tasa se definió que por debajo de esta no

conviene la ejecución de un proyecto, la TIR calculada para nuestro proyecto es mayor que la tasa de descuento, obteniendo una TIR del 29% con lo cual se confirma la rentabilidad del mismo.

Después del análisis realizado se obtuvo para el sistema Off grid:

El VPN es de \$ 62.205.962,60

La TIR es 7%

Nótese que el VPN es positivo sin embargo la tasa de inversión inicial supera el VPN, siendo así que el sistema generaría ganancias a partir del año 16 de su posible ejecución. Además la TIR está 1% por encima de tasa de interés haciendo el proyecto no genere la rentabilidad esperada.

4.11 Presupuesto

Tanto el sistema On grid y Off grid requieren un inventario detallado de cada componente a utilizar en su implementación los cuales se muestran en la tabla 26, 27.

Tabla 26. Lista de materiales sistema On grid

N°	Materiales	Unidad de medida	Precio Unitario (\$)	Cantidad (U)	Total (\$)
1	PANELES (LR4-72HPH LONGI)	U	660.000	104	68.640.000
2	INVERSOR (GROWATT MAX 50-80KTL3)	U	11.411.910	1	11.411.910
3	Cable centelsa PV calibre # 12AWG de panel a inverter	m	6.423	20	128.460
4	Cable centelsa PV calibre # 6WG de inverter a tablero	m	15.150	60	909.000
5	Tubería conduit 12 mm de panel a inverter	m	3.000	20	60.000
6	Tubería conduit 40 mm de inverter a tablero	m	8.650	60	519.000
7	Fusible tipo riel con caja de 15A de panel a inverter	U	77.000	16	1.232.000
8	DPS tipo 1+2 880V DC / tipo 2 1000V DC(de inverter a tablero)	U	173.000	1	173.000
9	DPS VCL SLIM 275VAC 20KA	U	74.000	3	222.000
10	Interruptor Automático EasyPact CVS250B TMD 175-250 A 3P3D	U	672.300	1	672.300
11	Medidor bidireccional trifásico LY-SM300	U	1.061.000	1	1.061.000
12	Varilla cooper weld 5/8 x2.40m	U	182.000	1	182.000
13	Otros	%		7	6.143.762
Total			14.344.433	295	91.354.432

Tabla 27. Lista de materiales sistema Off grid

Nº	Materiales	Unidad de medida	Precio Unitario (\$)	Cantidad (U)	Total (\$)
1	Paneles LR4-72HPH LONGI	U	660.000	104	68.640.000
2	Inversor Híbrido 10KW 48V 80A Infinisolar	U	15.465.240	4	61.860.960
3	Baterías GEL 6V 500Ah Tensite	U	1.817.630	96	174.492.480
4	Cable centelsa PV calibre 1AWG panel a inversor	m	21.050	20	421.000
5	Cable centelsa PV calibre # 8AWG inversor a batería	m	4.500	6	27.000
6	Cable centelsa PV calibre # 3/0AWG batería a inversor	m	22.180	6	133.080
7	Cable centelsa PV calibre # 6AWG inversor a tablero	m	6.245	60	374.700
8	Tubería conduit 32mm panel a batería	m	9.000	20	180.000
9	Tubería conduit 20mm inversor a batería	m	3.000	6	18.000
10	Tubería conduit 50mm batería a inversor	m	9.000	6	54.000
11	Tubería conduit 25mm inversor a tablero	m	3.000	60	180.000
12	Fusible tipo riel con caja de 15A panel a inversor	U	77.000	16	1.232.000
13	DPS tipo 1+2 880V DC / tipo 2 1000V DC de inversor a tablero	U	173.000	1	173.000
14	Fusible tipo riel con caja de 30A inversor a baterías	U	82.467	2	164.934
15	Fusibles 250A - 1000V batería a inversor	U	501.292	2	1.002.584
16	DPS VCL SLIM 275VAC 20KA	U	74.000	3	222.000
17	Interruptor termo magnético	U	20.150	3	60.450
18	Pararrayo tipo franklin	U	129.059	1	129.059
19	Caja de 30x30	U	143.000	1	143.000
20	Varilla cooper weld 5/8 x2.40m	U	182.000	1	182.000
21	Otros	%		7	22.328.866
Total			19.402.813	425	332.019.113

5. Conclusiones

Las nuevas tecnologías de paneles en el mercado apuntan a mejorar el rendimiento debido a la pérdida de potencia por temperaturas superiores a las condiciones de prueba estándar (STC).

En referente a la zona dispuesta para la implementación se tuvo en cuenta la altura de los arboles alrededor de la misma de modo de que no obstruyera la captación de irradiación solar. En el inciso 8.7.1 se observó mediante el software PVsolar, Sketchup y la aplicación de ruta solar para simular la ubicación de los paneles y en base a esto se determinó el área para garantizar un mayor uso del recurso energético sin periodos de interrupción por causas de sombras por zonas verdes o edificaciones.

De acuerdo al presupuesto realizado para el sistema off grid, el costo mayoritario se ve reflejado en la cantidad de baterías necesarias para su implementación, ya que estas ocupan el 56% del costo final del proyecto y teniendo en cuenta la vida útil de las baterías es de 10 años, nuestro sistema solar generara ingresos después del año 16. Se concluye que no es viable la implementación del sistema off grid.

El sistema fotovoltaico On grid es la alternativa más acertada con relación al sistema Off grid. Lo anterior se relaciona en base a costos, beneficio, inversión inicial, la TIR y VPN, datos obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

Realizar un análisis estructural más detallado para la ubicación y orientación de los paneles solares considerando su dimensionamiento y su peso.

Para una posible implementación a futuro de un sistema fotovoltaico, su mano de obra deberá ser por parte de una empresa o personal calificado para este tipo de instalaciones.

El cableado de la instalación fotovoltaica para los tramos entre componentes debe ser de forma subterránea debido a que genera un alto riesgo para la integridad humana.

De acuerdo a la proyección del precio del KW-h realizada en base al historial de los precios aportados por la empresa distribuidora de energía eléctrica de la región CENS y tomando en cuenta que su crecimiento fue lineal y no se puede observar una proyección más a fondo se recomienda ampliar la investigación en base a la proyección, en cuanto al precio de la energía eléctrica para Norte de Santander estimada por XM empresa colombiana especializada en la gestión de sistemas de tiempo real, la administración del mercado de energía mayorista y el desarrollo de soluciones y servicios de energía e información.

Referencias Bibliográficas

Sunearthtools. (2021). Coordinates latlong sunpath map. Recuperado de:

<https://www.sunearthtools.com/es/tools/coordinates-latlong-sunpath-map.php>

Cceea. (2021). *Ubicación Colegio Nuestra Señora de Belén*. Recuperado de: <https://cceea.mx/>

Informa Colombia. (2021). *Energie Colombia S A S*. Recuperado de:

<https://www.informacolombia.com/directorio-empresas/informacion-empresa/energie-colombia-sas>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2021). *Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia* Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>

Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Resolución 90708 de 2013. Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE*. Bogota: Diario Oficial No. 48.904

Google Earth. (2021). *Vista aérea de la institución educativa colegio Nuestra Señora de Belén*

Recuperado de:

<https://www.google.es/maps/place/Colegio+Nuestra+Se%C3%B1ora+de+Belen/@7.8749976,-72.5285862,194m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e664f6446a0c167:0x7791dc0864cb40f3!8m2!3d7.8749923!4d-72.528039>

Ecofener. (2020). *¿Cómo saber qué capacidad y qué tipo de baterías es el que más conviene en cada caso?*. Recuperado de: <https://ecofener.com/blog/saber-capacidad-tipo-baterias-mas-conviene-caso/>

Ecovatio. (2020). *¿Por qué contratar la luz con ecovatio?*. Recuperado de:

<https://ecovatio.com/>

Diario Renovables. (2017). *¿Cómo funciona un panel solar híbrido? Uniendo la energía solar fotovoltaica y térmica en un solo panel*. Recuperado de:

<https://www.diariorenovables.com/2017/08/como-funciona-un-panel-solar-hibrido.html>

Sfe-Solar. (2021). *Panel convencional vs Panel de SunPower*. Recuperado de:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpowersteindf.mx%2Fblog%2Fpaneles-comerciales-sunpower-serie-p%2F&psig=AOvVaw0e8UFYCOu8pqyc321Vwhvl&ust=1633699695459000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCOCQiu2zuPMCFQAAAAAdAAAAABAD>

Alabamafasr410. (2021). *Panasonic solar panels*. Recuperado de:

<https://alabamafasr410.weebly.com/panasonic-solar-panels.html>

Lg. (2021). *Neon-2*. Recuperado de: <https://www.lg.com/co/business/neon-2>

Padrón, L., Gutiérrez, L., Hidalgo, R. & De la Incera, C. (2020). Uso de paneles bifaciales en

sistemas fotovoltaicos de ángulo fijo y de seguimiento horizontal de un eje. *Ingeniería*

Energética, 41(3), 30-70. Recuperado de:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012020000300008&lng=es&tlng=es.

Tecnosolab. (2021). *Tecnología perc y half cell en paneles solares*. Recuperado de:

<https://tecnosolab.com/noticias/tecnologia-perc-y-half-cell-en-paneles-solares/>

Refacsol. (2020). *¿Qué es la tecnología PERC?*. Recuperado de: <https://refacsol.com/que-es-la-tecnologia-perc/>

Ecoticias. (2021). *Energías renovables*. Recuperado de: <https://www.ecoticias.com/energias-renovables/196137/quieres-instalar-placas-fotovoltaicas-todo-panel-solar-monocristalino-policristalino>

Acero, J. & Puentes, H. (2019). *Guía metodológica para la implementación y selección de paneles solares fotovoltaicos para edificios y viviendas en la ciudad de Bogotá*. Tesis de grado. Universidad la Gran Colombia.

Alcaldía mayor de Bogotá. (2001). *Ley 697 de 2001 Nivel Nacional*. Recuperado de: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449>

AutoSolar. (2019). *Jinko anuncia eficiencia de 24,2% para una célula del tipo N*. Recuperado de: <https://autosolar.es/blog/eficiencia-energetica/jinko-anuncia-eficiencia-de-242-para-una-celula-del-tipo-n>

Autosolar. (2021). *Batería GEL 6V 500Ah Tensite*. Recuperado de: <https://autosolar.co/baterias-gel-12v/bateria-gel-6v-500ah-tensite>

Bu, C. (1995). *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. México: Limusa, S.A.

Callejon, A. & Santamaria, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Bogotá: Amazon

Cambio Energético. (2019). *¿Cuál es la última tecnología en módulos fotovoltaicos?*

Recuperado de: <https://www.cambioenergetico.com/blog/ultima-tecnologia-placas-solares/>

Centelsa. (2021). *Cables de energía y telecomunicaciones S.A.* Recuperado de:

<https://www.centelsa.com/productos/>

Click Renovables. (2015). *Como calcular una instalación solar fotovoltaica en 5 pasos.*

Recuperado de: <https://clickrenovables.com/blog/como-calcular-una-instalacion-solar-fotovoltaica-en-5-pasos/>

Cuadros, G. & Villada, J. (2017). *Diagnostico de las instalaciones eléctricas en la institución educativa colegio nuestra señora de belén sede principal.* Tesis de grado. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

Cuadros, G., Villada, J. & Ferreira, J. (2017). *Diagnostico de las instalaciones eléctricas en la institución educativa colegio nuestra señora de belén sede principal.* Tesis de grado. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

Davivienda. (2015). *Camara de comercio.* Recuperado de:

<https://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/13667>

Energía Fotovoltaica. (2014). *Energía solar.* Recuperado de:

<http://energyvoltaica.blogspot.com/2014/10/energia-solar-es-una-fuente-de-energia.html>

Energía Solar. (2020). *Tipos de paneles fotovoltaicos.* Recuperado de: [https://solar-](https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/tipos-de-paneles-fotovoltaicos)

[energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/tipos-de-paneles-fotovoltaicos](https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/tipos-de-paneles-fotovoltaicos)

Energía Solar Colombiana. (2004). *Mapa de radiación solar en Colombia.* Recuperado de:

<https://energiasolarcolombia.co/mapa-radiacion-solar-colombia/>

Energía Solar. (2015). *Que son las baterías*. Recuperado de: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/baterias-solares>

Energía Solar. (2016). *Que es un inversor de corriente*. Recuperado de: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/convertidores-corriente>

Espitia, C. (2017). *Guía metodológica para la implementación de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala en Colombia*. Tesis de grado. Universidad de Santander. Bucaramanga, Colombia.

Gana Energía. (2019). *Los beneficios de la energía sola*. Recuperado de: <https://ganaenergia.com/blog/los-beneficios-de-la-energia-solar/>

García, J. (2016). *Estudio de factibilidad técnico-económico para reducir el consumo de energía eléctrica representado en la iluminación de la planta de tratamiento el pórtico de la empresa aguas Kpital Cúcuta S.A. E.S.P.* Tesis de grado. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

González, G., Zambrano, J. & Estrada, E. (2014). *Estudio diseño e implementación de un sistema de energía solar en la comuna puerto roma de la isla mondragon del golfo de Guayaquil, provincia de guayas*. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil, Ecuador.

Guevara, C. & Pérez, M. (2015). *Análisis de viabilidad del suministro de energía eléctrica a la granja la fortaleza ubicada en Melgar-Tolima mediante la implementación de un sistema solar fotovoltaico*. Tesis de grado. Universidad Libre. Bogotá, Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2004). *Norma tecnica colombiana NTC 114*. Recuperado de: <https://www.icontec.org/rules/guia-de-especificaciones-de-sistemas-fotovoltaicos-para-suministro-de-energia-rural-dispersa-en-colombia/>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). *Radiación solar*. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>

Isabel Burgos Costalago. (2014). *Energías Renovables*. Recuperado de: <https://www.yumpu.com/es/document/view/61996336/tecnologias-para-la-generacion-de-energia-electrica-a-partir-de-radiacion-solar>

Mheducation. (2020). *Componentes de una instalacion solar fotovoltaica*. Recuperado de: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

Mora, B., Pineda, G. & Sepúlveda, C. (2018). Análisis estadístico de la radiación solar en la ciudad de Cúcuta. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(23), 16-22. <https://doi.org/10.31908/19098367.3698>

Muñoz, A. (2020). *Tecnologías y tipologías de paneles fotovoltaicos*. Recuperado de: <https://solarfam.com/tecnologias-y-tipologias-de-paneles-fotovoltaicos/#:~:text=Existen%20m%C3%A1s%20tecnolog%C3%ADas%20de%20paneles,c%C3%A9lulas%20PERC%2C%20la%20MBB%20y>

PAVCO. (s.f.). *Tubería Conduit - Conduflex Eléctrico*. Recuperado de: <https://pavcowavin.com.co/tuberia-conduit-electrico-pavco>

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. (2013). *Página principal*. Bogotá: RETIE.

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. (s.f.). *Reglamento técnico de productos para instalaciones eléctricas*. Bogotá: RETIE.

Slideshare. (2015). *Capítulo III. Metodología de la investigación*. Recuperado de:

<https://es.slideshare.net/juliolara7/capitulo-iii-metodologia-de-investigacin-ejemplo-pdf>

SunFields Europe. (2007). *Usos, aplicaciones y tipos de Placas Solares*. Recuperado de:

<https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/>

SunPower. (s.f.). *Maxeon Solar Technologies, L.* Recuperado de:

<https://sunpower.maxeon.com/es/productos-de-paneles-solares/paneles-solares-sunpower-maxeon>

Tabascar, R. (2016). *Proyecto de Instalación Solar*. Recuperado de:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75816/PONS%20-%20PROYECTO%20DE%20INSTALACION%20SOLAR%20FOTOVOLTAICA%20PARA%20BLOQUE%20DE%20VIVIENDAS.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Tamala, O. (2016). *Tipos de investigación*. Recuperado de:

<https://sites.google.com/site/misitioweboswaldotomala2016/tipos-de-investigacion>

Unidad de Planeación Minero Energética. (2014). *Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014*. Recuperado de:

https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética. (s.f.). *Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014*. Recuperado de:

https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf

Universidad de Alcalá. (2020). *Que es la investigación cuantitativa*. Recuperado de:

<https://www.master-finanzas-cuantitativas.com/que-es-investigacion-cuantitativa/#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20es%20una,y%20matem%C3%A1ticas%20para%20obtener%20resultados>.

ANEXOS

Anexo 1. Consumo del auditorio

N o	Equipo	Cantidad de equipos	Potencia nominal (W)	Tiempo de uso (H/día)	Tiempo de uso (H/mes)	Potencia (Wh/día)	Carga máxima (W)
1	Aire acondicionad o	2	8228	4	40	65824	16456
2	Ventilador	9	80	4	180	2880	720
3	Luminaria fluorescente	24	75	4	480	7200	1800
	Total	35	8383	12	700	75904	18976

Consumo de la biblioteca:

N o	Equipo	Cantidad de equipos	Potencia nominal (W)	Tiempo de uso (H/día)	Tiempo de uso (H/mes)	Potencia (Wh/día)	Carga máxima (W)
1	Aire acondicionad o	2	5610	8	320	89760	11220
2	Ventilador	2	80	8	320	1280	160
3	Luminaria fluorescente	36	75	8	5760	21600	2700
	Total	40	5765	24	6400	112640	14080

Anexo 2. Ficha técnica panel solar



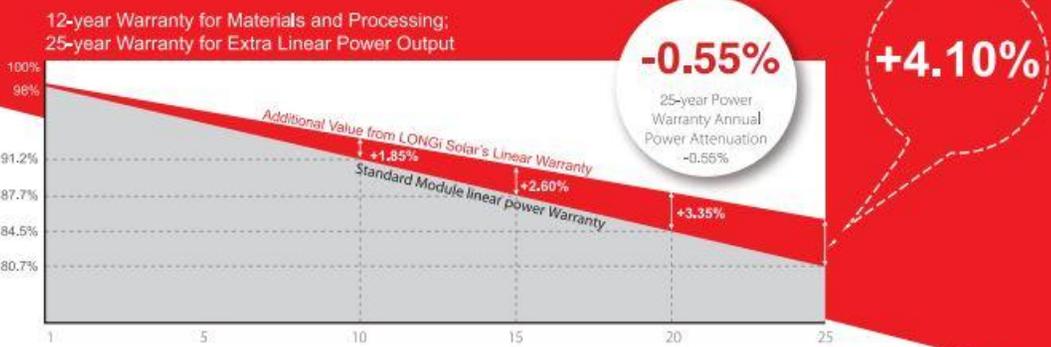
*Both 6BB & 9BB are available

LR4-72HPH 425~455M

**High Efficiency
Low LID Mono PERC with
Half-cut Technology**



12-year Warranty for Materials and Processing;
25-year Warranty for Extra Linear Power Output



Complete System and Product Certifications

IEC 61215, IEC 61730, UL 61730
 ISO 9001:2008: ISO Quality Management System
 ISO 14001: 2004: ISO Environment Management System
 TS62941: Guideline for module design qualification and type approval
 OHSAS 18001: 2007 Occupational Health and Safety



* Specifications subject to technical changes and tests.
 LONGI Solar reserves the right of interpretation.

Positive power tolerance (0 ~ +5W) guaranteed

High module conversion efficiency (up to 20.9%)

Slower power degradation enabled by Low LID Mono PERC technology: first year <2%, 0.55% year 2-25

Solid PID resistance ensured by solar cell process optimization and careful module BOM selection

Reduced resistive loss with lower operating current

Higher energy yield with lower operating temperature

Reduced hot spot risk with optimized electrical design and lower operating current

LR4-72HPH 425~455M

Design (mm)	Mechanical Parameters	Operating Parameters
	<p>Cell Orientation: 144 (6x24)</p> <p>Junction Box: IP68, three diodes</p> <p>Output Cable: 4mm², 300mm in length; length can be customized</p> <p>Glass: Single glass 3.2mm coated tempered glass</p> <p>Frame: Anodized aluminum alloy frame</p> <p>Weight: 23.5kg</p> <p>Dimension: 2094x1038x35mm</p> <p>Packaging: 30pcs per pallet 150pcs per 20'GP 660pcs per 40'HC</p> <p>Units: mm(inch)</p> <p>Tolerance: Length: ±0.1mm Width: ±0.1mm Height: ±0.1mm Pitch: ±0.1mm</p>	<p>Operational Temperature: -40°C ~ +85°C</p> <p>Power Output Tolerance: 0 ~ +5 W</p> <p>Voc and Isc Tolerance: ±3%</p> <p>Maximum System Voltage: DC1500V (IEC/UL)</p> <p>Maximum Series Fuse Rating: 20A</p> <p>Nominal Operating Cell Temperature: 45±2°C</p> <p>Safety Class: Class II</p> <p>Fire Rating: UL type 1 or 2</p>

Electrical Characteristics		Test uncertainty for Pmax: ±3%													
Model Number	LR4-72HPH-425M		LR4-72HPH-430M		LR4-72HPH-435M		LR4-72HPH-440M		LR4-72HPH-445M		LR4-72HPH-450M		LR4-72HPH-455M		
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	
Maximum Power (Pmax/W)	425	317.4	430	321.1	435	324.9	440	328.6	445	332.3	450	336.1	455	339.8	
Open Circuit Voltage (Voc/V)	48.3	45.3	48.5	45.5	48.7	45.7	48.9	45.8	49.1	46.0	49.3	46.2	49.5	46.4	
Short Circuit Current (Isc/A)	11.23	9.08	11.31	9.15	11.39	9.21	11.46	9.27	11.53	9.33	11.60	9.38	11.66	9.43	
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	40.5	37.7	40.7	37.9	40.9	38.1	41.1	38.3	41.3	38.5	41.5	38.6	41.7	38.8	
Current at Maximum Power (Imp/A)	10.50	8.42	10.57	8.47	10.64	8.53	10.71	8.59	10.78	8.64	10.85	8.70	10.92	8.75	
Module Efficiency(%)	19.6		19.8		20.0		20.2		20.5		20.7		20.9		

STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Spectra at AM1.5

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/s

Temperature Ratings (STC)		Mechanical Loading	
Temperature Coefficient of Isc	+0.048%/°C	Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Temperature Coefficient of Voc	-0.270%/°C	Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Temperature Coefficient of Pmax	-0.350%/°C	Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

Ficha técnica inversor On grid

MAX 50~80KTL3 LV

- 6 / 7 MPPTs
- Smart diagnosis
- High efficiency up to 99%
- Local WIFI connection
- String monitoring
- AC&DC type II SPD
- AFCI protection
- Data storage up to 25 years
- DC side 2 in 1 connection enabled



P O W E R
- I N G O
T O M O -
R R O W O

Growatt

Datasheet	MAX 50KTL3 LV	MAX 60KTL3 LV	MAX 70KTL3 LV	MAX 80KTL3 LV
Input Data				
Max.DC power	65000W	78000W	91000W	104000W
Max.DC voltage	1100V	1100V	1100V	1100V
Start voltage	250V	250V	250V	250V
MPPT voltage range	200V-1000V	200V-1000V	200V-1000V	200V-1000V
Nominal voltage	585V	585V	600V	600V
Max. input current per MPPT	25A	25A	25A	25A
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	6/2	6/2	7/2	7/2
Output (AC)				
Rated AC output power	50000W	60000W	70000W	80000W
Max. AC apparent power	55500VA	66600VA	77700VA	88800VA
Max. output current	80.5A	96.6A	112.7A	128.8A
AC nominal voltage	230V/400V	230V/400V	230V/400V	230V/400V
AC grid frequency	50Hz/60Hz	50Hz/60Hz	50Hz/60Hz	50Hz/60Hz
Power factor	0.8leading ...0.8lagging	0.8leading ...0.8lagging	0.8leading ...0.8lagging	0.8leading ...0.8lagging
THDI	<3%	<3%	<3%	<3%
AC grid connection type	3W+N+PE	3W+N+PE	3W+N+PE	3W+N+PE
Efficiency				
Max. efficiency	98.8%	98.8%	99%	99%
Euro - eta	98.4%	98.4%	98.5%	98.5%
MPPT efficiency	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%
Protection Devices				
DC reverse polarity protection	yes	yes	yes	yes
DC switch	yes	yes	yes	yes
DC surge protection	Type II	Type II	Type II	Type II
Ground fault monitoring	yes	yes	yes	yes
Output short circuit protection	yes	yes	yes	yes
AC surge protection	Type II	Type II	Type II	Type II
String fault monitoring	yes	yes	yes	yes
Anti-PID protection	opt	opt	opt	opt
AFCI	opt	opt	opt	opt
General Data				
Dimensions (W / H / D) in mm	860/600/300	860/600/300	860/600/300	860/600/300
Weight	82kg	82kg	86kg	86kg
Operating temperature range	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C
Noise emission (typical)	≤60dB(A)	≤60dB(A)	≤60dB(A)	≤60dB(A)
Self-consumption	< 1W	< 1W	< 1W	< 1W
Topology	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless
Cooling concept	Smart cooling	Smart cooling	Smart cooling	Smart cooling
Environmental protection rating	IP65	IP65	IP65	IP65
Altitude	4000m	4000m	4000m	4000m
Relative humidity	0-100%	0-100%	0-100%	0-100%

Ficha técnica inverter Off grid

InfiniSolar: On-Grid Inverter with Energy Storage

Innovative and Cost-effective Power Solution



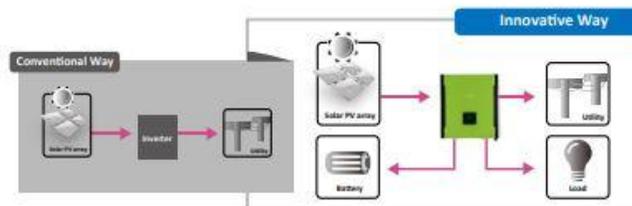
- Self-consumption and feed-in to the grid
- Programmable supply priority for PV, Battery or Grid
- User-adjustable battery charging current suits different types of batteries
- Programmable multiple operations modes: Grid tie, Off grid, and grid-tie with backup
- Built-in Timer for various mode of on/off operation
- Multiple communication for USB, RS-232, Modbus and SNMP
- Monitoring software for real time status display and control
- Custom-made firmware by ODM contract
- Parallel operation up to 6 units for 5KW and 10KW

InfiniSolar is a flexible and intelligent hybrid inverter which utilizes solar power, AC utility, and battery power source to supply continuous power. It's a simple and smart solar power storage system for home users to either store energy into a battery for night-time usage or use for self-consumption first depending on demands. Priority for power source is programmable through smart software. During night time or power failure, it will automatically consume reserved power from the battery. In this way, it will reduce dependence on the utility.



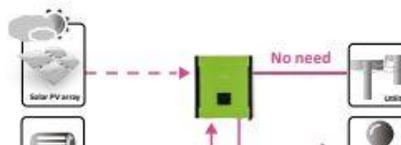
Feed-in is not the only choice

In comparison with conventional grid-tie inverter, InfiniSolar can not only feed-in power to the grid but also store solar power to the battery for future usage and directly power to the loads.



Save money by discharging battery for self-consumption first

InfiniSolar can save money by using battery energy first when PV energy is low. Until



InfiniSolar On-grid Inverter with Energy Storage Selection Guide

MODEL	InfiniSolar 2KW	InfiniSolar Plus 3KW	InfiniSolar Pro 3KW	InfiniSolar Plus 5KW	InfiniSolar 3P 10KW
PHASE	1-phase in / 1-phase out				3-phase in / 3-phase out
MAXIMUM PV INPUT POWER	2250 W	4500 W	4500 W	10000 W	14850 W
RATED OUTPUT POWER	2000 W	3000 W	3000 W	5000 W	10000 W
MAXIMUM CHARGING POWER	1200 W		1200 W	4800 W	9600 W
GRID-TIE OPERATION					
PV INPUT (DC)					
Nominal DC Voltage / Maximum DC Voltage	300 VDC / 350 VDC	360 VDC / 500 VDC	360 VDC / 500 VDC	720 VDC / 900 VDC	720 VDC / 900 VDC
Start-up Voltage / Initial Feeding Voltage	80 VDC / 120 VDC	116 VDC / 150 VDC	116 VDC / 150 VDC	225 VDC / 250 VDC	320 VDC / 350 VDC
MPP Voltage Range	120 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers / Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10 A	2 / 2 x 18.6A
GRID OUTPUT (AC)					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	208/220/230/240 VAC			230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Voltage Range	88 - 127 VAC*	184 - 265 VAC*			184 - 265 VAC* per phase
Nominal Output Current	18 A	13 A	13 A	21 A	14.5A per phase
Power Factor	> 0.99				
EFFICIENCY					
Maximum Conversion Efficiency (DC/AC)	95%				96%
European Efficiency@ Vnominal	94%				95%
OFF-GRID OPERATION					
AC INPUT					
AC Start-up Voltage/Auto Restart Voltage	60 - 70 VAC / 85 VAC	120 - 140 VAC / 180 VAC			120 - 140 VAC per phase / 180 VAC per phase
Acceptable Input Voltage Range	80 - 130 VAC	170 - 280 VAC			170 - 280 VAC per phase
Maximum AC Input Current	30 A			40 A	
PV INPUT (DC)					
Maximum DC Voltage	350 VDC	500 VDC	500 VDC	900 VDC	900 VDC
MPP Voltage Range	150 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers/Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10A	2 / 2 x 18.6A
BATTERY MODE OUTPUT (AC)					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Waveform	Pure Sinewave				
Efficiency (DC to AC)	90%	93%			91%
HYBRID OPERATION					
PV INPUT (DC)					
Nominal DC Voltage / Maximum DC Voltage	300 VDC / 350 VDC	360 VDC / 500 VDC	360 VDC / 500 VDC	720 VDC / 900 VDC	720 VDC / 900 VDC
Start-up Voltage / Initial Feeding Voltage	80 VDC / 120 VDC	116 VDC / 150 VDC	116 VDC / 150 VDC	225 VDC / 250 VDC	320 VDC / 350 VDC
MPP Voltage Range	150 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers/Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10A	2 / 2 x 18.6A
GRID OUTPUT (AC)					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Voltage Range	88-127 VAC*	184 - 264.5 VAC*			184 - 264.5 VAC* per phase
Nominal Output Current	18 A	13 A	13 A	21 A	14.5 A per phase
AC INPUT					
AC Start-up Voltage / Auto Restart Voltage	60 - 70 VAC / 85 VAC	120 - 140 VAC / 180 VAC			120 - 140 VAC per phase / 180 VAC per phase
Acceptable Input Voltage Range	80 - 130 VAC	170 - 280 VAC			170 - 280 VAC per phase
Maximum AC Input Current	30 A			40 A	
BATTERY MODE OUTPUT (AC)					
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Efficiency (DC to AC)	90%	93%			91%
BATTERY & CHARGER					
Nominal DC Voltage	48 VDC				
Maximum Charging Current	Default 25A, 5A - 25A (Adjustable)		Default 25 A, 5A - 60A (Adjustable)	Default 60A, 5A - 100A (Adjustable)	Default 60A, 10A - 200A (Adjustable)
GENERAL					

Ficha técnica batería

Tensite

FLOODED BATTERY 6-500

DEEP CYCLE FLOODED BATTERY 6V 500AH



DEEP CYCLE SERIES BATTERY

The Tensite deep cycle gel battery adopts the advanced nano gel electrolyte with super-C additive plus heavy duty plates design inside. It has a longer service life even deep cycle discharge use and can provide optimum and reliable service under extreme condition such as high temperature and frequent power failure, thus it is highly suited for tropical area in outdoor applications such as Telecom BTS stations and Off-grid PV system.

APPLICATION

- BTS Stations
- Solar and Wind energy system
- UPS system
- Telecom systems

GENERAL FEATURES

- Able to operate at 40-60°C
- Integrated design to ensure the best uniformity and reliability
- Longer life and higher stability under high temperature environment (no air-con needed)
- Super-C additives: Deep discharge recovery capability, 1600cycles @50%DOD

TECHNICAL SPECIFICATIONS

BATTERY MODEL	Nominal voltage		6V	
	Rated capacity (120 hour rate)		510Ah	
	Cells Per battery		6	
DIMENSION	Length	Width	Height	Total Height
	295 mm	178 mm	404 mm	424 mm
APPROX. WEIGHT	57.0 kg ± 3%			
CAPACITY @ 25°C	10 hour rate (37.8A, 5.8V)	5 hour rate (66.8A, 5.25V)	1 hour rate (233.3A, 4.8V)	
	378 Ah	334 Ah	233.3 Ah	
MAX. DISCHARGE CURRENT	1260 A (5 sec.)			
INTERNAL RESISTANCE	Full charged Vat 25°C: Approx. 1.5mΩ			
CAPACITY AFFECTED BY TEMP. (10 HR)	40°C	25°C	0°C	-15°C
	108%	100%	90%	70%
SELF DISCHARGE @25°C	3% per month			
CHARGE METHOD @25°C	Standby Use		Cycle Use	
	6.8-6.9V (Initial charging current less than 84A)		7.2-7.45V	

BATTERY DISCHARGE TABLE

CONSTANT CURRENT (AMP) AND CONSTANT POWER (WATT) DISCHARGE TABLE AT 25 °C												
F.V / TIME		15 min	30 min	45 min	30 min	2 hr	3 hr	4 hr	5 hr	8 hr	10 hr	20 hr
1.60	A	540.5	344.2	254.1	233.3	148.1	104.0	70.7	46.7	41.6	22.6	5.03
	W	1040.5	662.6	489.1	449.1	285.0	200.1	136.1	89.8	80.0	43.7	9.69
1.65	A	530.7	337.9	249.5	229.1	145.4	102.1	69.4	45.8	40.8	22.2	4.94
	W	1021.6	650.5	480.2	441.0	279.9	196.5	133.6	88.2	78.6	42.9	9.51
1.70	A	520.9	331.7	244.9	224.8	142.7	100.2	68.1	45.0	40.1	21.8	4.85
	W	1002.7	638.5	471.4	432.8	274.7	192.8	131.1	86.6	77.1	42.0	9.33
1.75	A	511.1	325.4	240.2	220.6	140.0	98.3	66.8	44.1	39.3	21.4	4.76
	W	983.8	626.4	462.5	424.6	269.5	189.2	128.6	84.9	75.7	41.2	9.15
1.80	A	491.4	312.9	231.0	212.1	134.6	94.5	64.3	42.4	37.8	21.0	4.66
	W	945.9	602.3	444.7	408.3	259.1	181.9	123.7	81.7	72.8	40.4	8.97

Ficha técnica medidor bidireccional

SISTEMA AMI | ENERGÍA



Medidores de Infraestructura de Medición Avanzada con módulo GPRS

El sistema AMI de Linyang es una solución altamente integrada que permite medir, recopilar, almacenar y analizar el uso de la energía eléctrica, por los usuarios.

El componente principal del sistema permite integrar la tecnología de comunicaciones bidireccional con la medición de energía, el control remoto y la recopilación de datos de consumo, calidad de energía, detección de manipulación del medidor (funciones antifraude), instrumentación (voltaje por fase, corriente por fase, potencia, factor de potencia, ángulo de fase, frecuencia), programación remota y actualización.

-  Medida en 4 cuadrantes
-  Conexión Directa
-  Grado de Protección
-  Perfil de Carga
-  Medida Bidireccional (Sistema Fotovoltáico)
-  Registro de Eventos
-  Multitarifa
-  Puerto Óptico
-  M-Bus
-  RS485
-  Registro de Alarmas
-  Reloj en tiempo real
-  Protocolo DLMS - COSEM
-  Precisión CL1, CL2
-  Módulo GPRS integrado

 **solarartex**
ENERGÍA PARA COLOMBIA



Medidores de Infraestructura de Medición Avanzada con módulo GPRS

Funciones de medición

- Medición y grabación de energía activa y reactiva importada y exportada, 4 cuadrantes
- Medición, grabación y despliegue de voltaje, corriente, factor de potencia, frecuencia y potencia por fases
- Medición absoluta de energía activa, reactiva y potencia
- Medición y grabación de demanda máxima
- Grabación de datos diarios y mensuales para facturación previamente programados

Funciones de tarifas

- TOU (Time Of Use)
- Medición de energía hasta 8 tarifas, 4 estaciones, programación de semana, etc.

Perfil de carga

- Dos canales para perfiles de carga horaria de energía e instrumentación
- Perfiles separados para Sub-metering (M-Bus)

Comunicaciones

- Versión completa de DLMS – COSEM
- IEC 1107
- Módulo GPRS ó PLC integrado al medidor
- 3 puertos de comunicaciones independientes:
- Puerto óptico
- M-Bus
- RS485

Pantalla

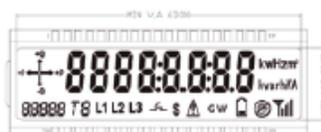
- Pantalla retroiluminada de larga duración
- Despliegue de datos de energía activa y reactiva
- Indicaciones con iconos para funciones antifraudes
- Indicadores de fases
- Despliegue de datos de instrumentación (voltaje, corriente, factor de potencia, frecuencia)
- Despliegue automático o manual de los datos de la pantalla

Especificaciones

- Grabación de varios eventos antifraudes como apertura de tapa principal y/o tapa bornera, presencia de campos magnéticos, etc.
- Respaldo de batería para desplegar datos en la pantalla en situaciones de ausencia de tensión
- Grabación de datos para calidad de energía
- Dispositivo de corte y reconexión interno
- Actualización de firmware de forma remota
- Reloj en tiempo real

Este medidor forma parte de una solución AMI (Advanced Metering Infrastructure)

Display



Especificaciones Técnicas

	LY-SM100	LY-SM200	LY-SM300-DC	LY-SM300-CT
Cumple estándares	IEC62053-21/IEC62052-11/IEC62053-23 /IEC62056			
Tipo de conexión	1 Fase 2 Hilos	2 Fase 3 Hilos	3 Fase 4 Hilos	3 Fase 4 Hilos
Voltaje nominal	120V	2x120/208V	3x120/208V	3x120/208V
Rango de voltaje	60% - 130% Un	60% - 130% Un	60% - 130% Un	60% - 130% Un
Corrientes	5(80)A	10(100)A	5(100)A	1.5(6)A
Frecuencia	60Hz	60Hz	60Hz	60Hz
Clase (Activa / Reactiva)	1.0 / 2.0	1.0 / 2.0	1.0 / 2.0	1.0 0.5S / 2.0
Constante	3200 Imp/kWh	2400 Imp/kWh	2400 Imp/kWh	6400 Imp/kWh
Relay Interno	SI	SI	SI	NO
Protocolo de comunicación	DLMS/COSEM			
Grado protección	IP54			
Módulo de Comunicación	GPRS			
Puertos de Comunicación	RS485 M.Bus Puerto Óptico			
Temperaturas	Operación: -25°C - +60°C Limite: -45°C - +70°C			